



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (YAMK)  
Teknologiaosaamisen johtaminen

# Testauksen mittausepävarmuuksien huomioiminen testausstrategiassa

Mikko Noropirtti

Opinnäytetyö, lokakuu 2023

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**heinäkuu 2023**  
**Teknologiaosaamisen johtamisen koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU

Tekijä(t)  
Mikko Noropirtti

Nimeke  
Testauksen mittausepävarmuuksien huomioiminen testausstrategiassa

Toimeksiantaja  
Abloy Oy

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli löytää Abloyn tuotetestauksen toimintaan soveltuva menetelmä mittausepävarmuuksien määrittämiseen. Opinnäytetyössä tutkittiin eri mittausepävarmuuden määrittämisen menetelmiä. Työssä etsittiin sopivaa menetelmää mittausepävarmuuden määrittämiseen mittauksissa, jotka ovat toistettavissa, eivätkä riko tai muuta mittatavan tuotteen ominaisuuksia. Lisäksi haettiin menetelmää mittausepävarmuuden määrittämiseen mittauksissa, jotka ovat tuotetta rikkovia ja eivät tästä syystä ole toistettavissa samalle tuoteyksilölle.

Teoriatutkimuksen pohjalta, työssä päädyttiin käyttämään Gage R&R- ja GUM-menetelmiä mittausepävarmuuksien määrittämiseen. Gage R&R-menetelmä soveltuu parhaiten toistettaville mittauksille, kun taas GUM-menetelmä puolestaan soveltuu testeille, jotka ovat testattavaa tuotetta rikkovia, eivätkä näin ollen ole enää toistettavissa samalle yksilölle. Lisäksi työssä tehtiin käytännön mittausepävarmuuden määrittämiä käyttäen hyväksi sekä Gage R&R- että GUM-menetelmää.

Molemmilla menetelmillä saatuja tuloksia analysoitiin huolellisesti. Näiden analysointien löydöksistä koottiin ehdotuksia, jotka voidaan ottaa käytäntöön Abloyn testausstrategiassa, kuten testausmenetelmien luokittelu niiden tarkkuuden mukaan ja mittausepävarmuuden huomioiminen testaus- ja mittaustuloksia tarkasteltaessa.

Kieli  
suomi

Sivuja 70  
Liitteet 1  
Liitesivumäärä 1

Asiasanat  
mittausepävarmuus, GAGE R&R, GUM



**THESIS**  
**July 2023**  
**Degree Programme in Technology Competence Management**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND

Author (s)  
Mikko Noropirtti

Title  
Consideration of Measurement Uncertainty in Testing Strategy

Commissioned by  
Abloy  
Product testing department

#### Abstract

In this thesis different ways to define uncertainty in measurements were investigated. One purpose was to find a suitable method for defining uncertainty in measurements which are repeatable and do not affect or change any characteristics of the part under measurement. Another goal was also to find a method for measurements which do affect or the break parts under measurement and thus are not repeatable for the same part.

It was decided to use the Gage R&R and GUM to define uncertainty in measurements. Gage R&R was selected as the most suitable method to be used in tests and measurements where measurement does not have any impact on test object. Whereas GUM was selected to be used in tests and measurements where objects under test will be broke or its characteristics will change due the measurement. After type of analyses were selected, both types were used for the actual analysing of uncertainty in measurements.

These results received from GUM and Gage R&R analyses were evaluated closely. The findings of these analyses were used to compile suggestions that can be put into practise in Abloy's testing strategy.

Language  
Finnish

Pages 70  
Appendices 1  
Pages of Appendices 1

Keywords  
uncertainty in measurement, Gage R&R, GUM

# Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	Mittausepävarmuus ja sen määrittäminen .....	7
2.1	Mittausepävarmuus .....	7
2.2	Mittausepävarmuuden määrittäminen Gage R&R -menetelmällä .....	9
2.2.1	Gage R&R-menetelmä kappaletta rikkovassa mittauksessa .....	12
2.2.2	Gage R&R -mittaustulosten käsittely .....	13
2.3	Mittausepävarmuuden määrittäminen GUM-menetelmällä .....	18
2.3.1	GUM-laskentamenetelmät poikkeaman laskentaan .....	20
2.3.2	GUM-laskentamenetelmä tulosten luotettavuuden määrittämiseen .....	22
3	Valitut menetelmät mittausepävarmuuden ja tulosten luotettavuuden määrittämiseen .....	24
4	Testien analysointi ja mittausepävarmuuksien määrittäminen .....	27
4.1	Testien analysointi .....	27
4.1.1	Kaluste- ja huonekalulukkojen testaus .....	28
4.1.2	Ovisylinterituotteiden testaus .....	29
4.1.3	Riippulukkojen testaus .....	31
4.1.4	Saranoiden testaus .....	32
4.1.5	Painikkeiden testaus .....	33
4.1.6	Mekaanisestitoimivien lukkorunkojen testaus .....	35
4.1.7	Sähkötoimisten lukkorunkojen testaus .....	38
4.1.8	Poistumistieovituotteiden testaus .....	40
4.1.9	Ovijärjestelmätuotteiden testaus .....	42
4.2	Testien Gage R&R -analysoinnit .....	43
4.2.1	Mekaanisestitoimivien lukkorunkojen testauksen Gage R&R .....	44
4.3	Testien GUM-analysoinnit .....	51
4.3.1	Kalustelukkojen GUM-tulokset .....	52
4.3.2	Riippulukkojen GUM-tulokset .....	52
5	Määritettyjen mittausepävarmuuksien analysointi .....	53
5.1	Gage R&R-tulosten analysointi .....	53
5.2	GUM-esimerkkilaskenta .....	55
5.3	GUM-tulosten analysointi .....	56
6	Mittausepävarmuuksien huomioiminen testausstrategiassa .....	60
6.1	Gage R&R -analysoinnit testausstrategiassa .....	60
6.2	GUM-analysoinnit testausstrategiassa .....	61
6.3	Testien luokittelu ja luotettavuus .....	63
7	Yhteenveto .....	67
	Lähteet .....	68

## Liitteet

Liite 1      Gage R&R laskennassa käytettävän vakion d2 arvot

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin eri menetelmiä määrittää mittausepävarmuutta Abloyn tuotetestauksessa tehtävissä testeissä. Abloylla on useita eri lukituksen tuoteryhmiä kuten ovisylintereitä, riippulukkoja, lukkorunkoja ja painikkeita. Lisäksi lähes kaikista tuoteryhmistä löytyy erikseen mekaanisesti ja sähköisesti toimivat tuoteversiot. Lähes kaikille tuoteryhmille on olemassa omat EU-standardinsa, jotka määrittelevät tietyt vähimmäisominaisuudet tuoteryhmäntuotteille. Osa standardeista on ei-harmonisoituja. Tällaisten standardien vaatimuksia ei ole pakko täyttää tuotteita markkinoille tuodessa, mutta useasti lukitus tuotteiden osalta asiakkaat kuitenkin vaativat näiden vaatimusten täyttämistä. Harmonisoituja standardeja ovat esimerkiksi standardit, jotka määrittelevät palosulkuovissa käytettävien komponenttien vaatimukset tai hätäpoistumistieovissa käytettävien komponenttien vaatimukset. Harmonisoitujen standardien vaatimukset on pakko täyttää, jos myy tuotteita tällaisiin kohteisiin. Vaatimusten täyttäminen todistetaan ulkopuoliselta toimijalta saatavalla sertifikaatilla.

Harmonisoitujen standardien ja sertifikaattien seurauksena Abloylla on velvollisuus vuosittain testata tuotteitaan, jotta voidaan todentaa niiden täyttävän asetetut vaatimukset jatkuvasti. Eri tuoteryhmien tuotteille tehdään paljon erilaisia testejä, joilla valvotaan vaatimusten täyttymistä. Näillä testeillä ja niissä tehtävissä mittauksissa on eri tekijöistä johtuvaa mittausepävarmuutta, joka vaikuttaa saatujen tulosten luotettavuuteen. Tämän työn tarkoituksena oli kartoittaa eri menetelmiä mittausepävarmuuksien määrittämiseksi. Iso osa testeistä ovat luonteeltaan tuotteita rikkovia, joten niille mittauksille ei voida määrittää mittausepävarmuutta esimerkiksi laajalti käytössä olevalla Gage R&R-menetelmällä. Tässä työssä tällaisten testien mittausepävarmuuden määrittämisen työkaluksi valittiin ISO 98 -standardin GUM-menetelmä.

Abloyn tuotetestausosastolla ei ole tällä hetkellä tietoa tehtävien testien mittausepävarmuuksista, jotka syntyvät testilaitteistosta, testin suoritustavasta tai testaajasta. Tämän itse testeistä syntyvän epävarmuuden lisäksi tulosten epävarmuutta lisää testattavien kappaleiden pieni määrä. Pelkästään yksittäisiä

kappaleita testaamalla ei pystytä toteamaan kappaleiden välistä vaihtelua, mikä lisää mittausepävarmuutta. Tämä tulee esille varsinkin tuotekehitysvaiheessa olevien tuotteiden testaamisessa. Tämä mittausepävarmuus vaikeuttaa uusien sertifiointien hakemista, koska sisäisten testien mittausepävarmuutta ei tunneta, niin tällöin ei voida tietää, millä varmuudella tuotteet täyttävät virallisissa testeissä standardien vaatimukset.

Tämän työn tuloksien perusteella pystytään tarkentamaan Abloyn testausstrategiaa. Kun tunnetaan testaustuloksissa oleva mittausepävarmuus, pystytään testituloksiin luottamaan eikä varsinkaan tuotekehitysvaiheessa olevissa projekteissa tule epämiellyttäviä yllätyksiä vastaan. Tämä mittausepävarmuuden suuruuden tuntemattomuus on myös johtanut ylitestaukseen, kun hyväksyntärajoja on jouduttu nostamaan varmuuden vuoksi. Toisaalta asia voidaan nähdä myös kääntäen siten, että testeihin, joissa tämän työn perusteella näyttää olevan paljon mittausepävarmuutta voidaan testien hyväksyntärajoihin lisätä suojarajat kompensoimaan tätä. Lisäksi osana tätä työtä on myös arvioitu testien tulosten paikkaansa pitävyyttä verrattuna testattujen kappaleiden määrään. Ennen tätä opinnäytetyötä tulosten tilastollista luotettavuutta ei arvioitu aktiivisesti. Tämän työn pohjalta voidaan tehdä tarkentavia määrittämiä testausstrategiaan testattavien kappaleiden lukumäärän osalta.

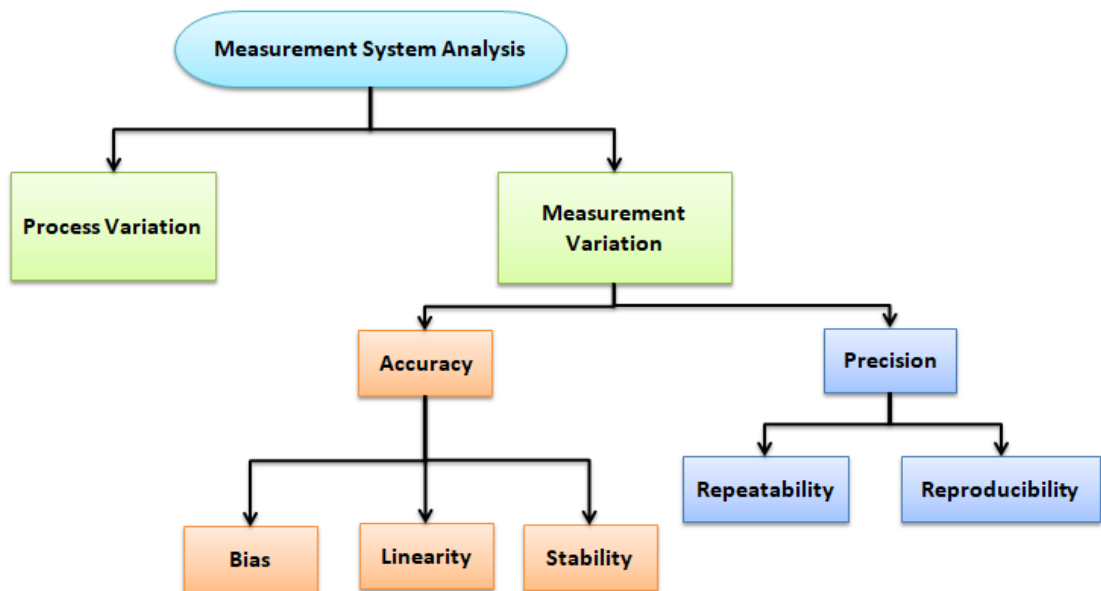
## 2 Mittausepävarmuus ja sen määrittäminen

### 2.1 Mittausepävarmuus

Mittausepävarmuudella yleisesti tarkoitetaan itse mittaustapahtumasta syntyviä vaihteluita, jotka vaikuttavat lopulliseen mittaustulokseen. Mittausepävarmuus pitää sisällään sekä itse mittalaitteesta johtuvat tarkkuusvaihtelut että mittaajasta johtuvat vaihtelut. Mittalaitteesta johtuvasta vaihtelusta käytetään yleensä termiä toistuvuus (engl. repeatability) ja mittaajasta aiheutuvasta vaihtelusta käytetään termiä toistettavuus (engl. reproducibility) (Tikka & Andersson 1997, 100). Toistuvuus on siis seurausta mittalaitteen kyvykkyydestä ja tarkkuudesta, resoluutiosta johtuvaa vaihtelua mittatuloksissa. Toistettavuus taas puolestaan on seurausta eri mittaajien välillä syntyvistä eroista, mahdollisista vaihteluista kappaleen asemoinnissa tai vaihteluista ympäristöolosuhteissa. Näistä syntyy vaihtelua mittatuloksiin, joiden suuruuden tunteminen suhteessa mitattavan suureen toleranssiin on erittäin tärkeää. Ilman tätä tietoa mitattuja arvoja saatetaan tulkita väärin, varsinkin jos mittausepävarmuus on suuri verrattuna mitattuun arvoon. Esimerkiksi teollisuudessa laaduntarkkailussa saatetaan hylätä hyviä mittoillaan olevia kappaleita, jos mittausepävarmuuden takia saadut tulokset ovatkin toleranssialueen ulkopuolella. Vastaavasti taas saatetaan hyväksyä toleranssialueen ulkopuolella olevia kappaleita, jos mittausepävarmuuden takia saadut tulokset ovatkin toleranssialueen sisällä.

Välttääkseen yllä mainittuja ongelmia onkin tärkeää tehdä huolellinen analyysi koko mittaustapahtumasta, jossa selvitetään mittauksen kyvykkyys verrattuna käytettävissä olevaan toleranssialueeseen. Ilman mittausjärjestelmän analyysiä mittaustuloksista on vaikea erottaa mittausepävarmuudesta johtuva vaihtelu ja valmistusprosessin aiheuttama vaihtelu kappaleissa toisistaan. Jos yrityksessä ei tunneta mittausten kyvykkyyttä, tällöin ei myöskään voida tuntea valmistusprosessien kyvykkyyttä, koska ei tiedetä mittauksista saatujen tulosten luotettavuutta. Tämän takia mittausjärjestelmänanalyysi on erittäin tärkeä yritysten toiminnan kannalta. Yleisesti kirjallisuudessa tästä analyysistä käytetään termiä Measurement System Analysis (MSA), jonka rakenne on esitetty kuvassa 1.

Mittausepävarmuuden tulisi olla alle 10 %:a toleranssialueesta, jotta mittaustapa voidaan pitää vaatimukset täyttävänä. Joissakin tapauksissa voidaan hyväksyä taso, jossa mittausepävarmuus on 10–30 %:a toleranssialueesta. Tämä voi tulla kyseeseen mittauksissa, jotka eivät ole kriittisiä kappaleen toiminnallisuudelle. Yli 30 %:n mittausepävarmuutta ei pidetä hyväksyttävänä missään teollisessa- tai tutkimuksellisessa mittaamisessa (Cepova, Kovacikova, Cep, Klaput & Mizera 2018, 23).



Kuva 1. Mittausjärjestelmän analyysin osa-alueet. (Hessing T. Gage Repeatability and reproducibility (R&R))

Mittausepävarmuutta voidaan määrittää kahdella eri tavalla. Käyttämällä kokeellisia menetelmiä, joiden tuloksia sitten arvioidaan tilastolaskennallisinmenetelmin. Toinen tapa mittausepävarmuuden määrittämiseen on käyttää pelkästään tilastollisia laskentamenetelmiä. Toistuvuutta ja toistettavuutta molempia käsitellään tilastolaskennassa normaalisti jakautuneina (Tikka & Andersson 1997, 100). Seuraavassa on esiteltyä yksi laajalti käytössä oleva kokeellinen menetelmä Gage R&R ja pelkästään tilastolliseen laskentaa pohjaava menetelmä GUM (Guide to the expression of uncertainty in measurement).

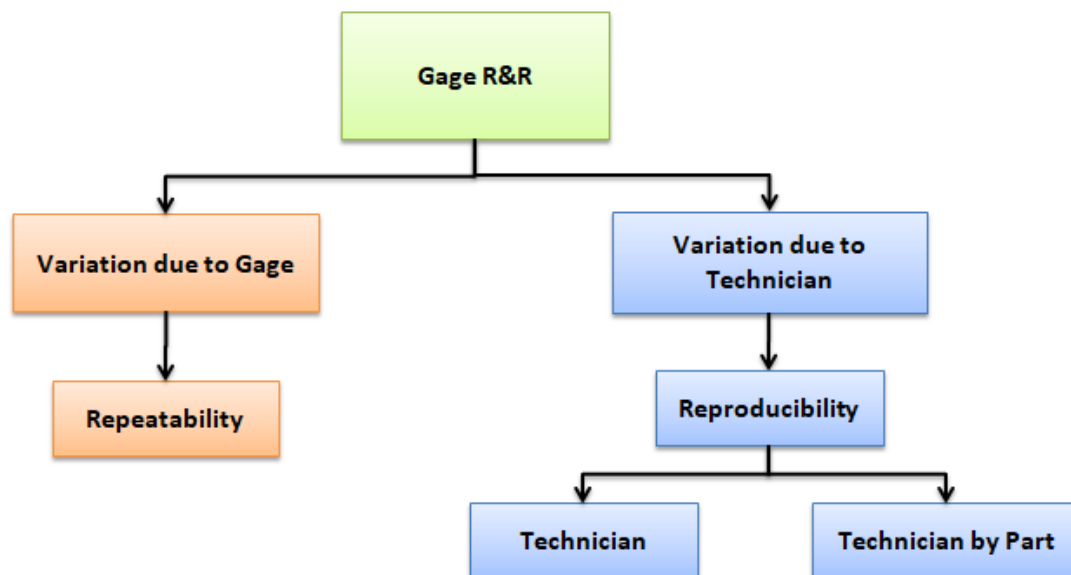
## 2.2 Mittausepävarmuuden määrittäminen Gage R&R -menetelmällä

Autoteollisuudesta liikkeelle lähtenyt ja sieltä muuallekin teollisuuteen levinnyt menetelmä mittausepävarmuuden määrittämiseen on Gauge Repeatability and Reproducibility eli Gage R&R -menetelmä (Tikka & Andersson 1997, 100). Tätä menetelmää käytetään laajasti laadunparantamisessa osana Six Sigma -filosofiaa.

Gage R&R on menetelmä, jossa systemaattisesti lähdetään keräämään dataa mittausjärjestelmänkyvykkyydestä. Datan keräämisen jälkeen siitä saadaan tilastollisilla laskentakaavoilla selville se, kuinka paljon kappaleiden mittavaihteluista johtuukin mittausmenetelmästä ja -tavasta. Laskennasta saadaan tuloksena mittaepävarmuuden kokonaissuuruus. Tämän lisäksi laskennalla pystytään määrittämään erikseen sekä mittauslaitteesta johtuva, että mitaajasta johtuva vaihtelu.

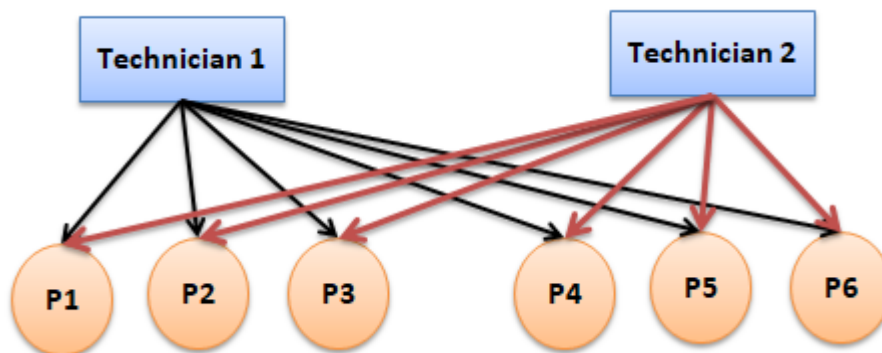
Gage R&R -mittaukset voidaan tehdä eri laajuisina. Laajuus riippuu lopputuloksen halutusta tarkkuudesta. Laajimmillaan Gage R&R -tutkimuksessa tehdään 90 mittausta. Mittauksissa käytetään kolmea eri mittausoperaattoria, jotka kukin mittaavat kolme kertaa kymmenen eri kappaletta (3x3x10) (Sharma M, Sahni S & Sharma S 2019, 40). Tällöin mittaustuloksia kertyy riittävästi, jotta niistä saadaan mahdollisimman luotettava tulos, kun lasketaan mittausepävarmuuden suuruutta tilastolaskennalla. Mittausten ja operaattorien määrä ovat yleisesti ottaen vapaasti valittavissa. Esimerkiksi Minitab-laskentaohjelmaan voi valita molempien määrän vapaasti. Mitattavien kappaleiden ja mittauskertojen määrään vaikuttaa se, kuinka tarkasti mittausepävarmuus halutaan selvittää ja kuinka kriittiseksi mittaus koetaan yrityksen toiminnassa. Lisäksi mittausten määrään vaikuttavat käytännöstä tulevat mahdolliset rajoitukset, kuten esimerkiksi mitattavien kappaleiden hinta, saatavuus ja mittaustapahtuman monimutkaisuus tai sen vaatimat resurssit suhteessa saatavaan hyötyyn.

Sillä, että sama operaattori mittaa saman kappaleen useampaan kertaan haetaan mittauksen toistuvuudesta johtuvaa epävarmuutta. Toistettavuutta puolestaan tutkitaan sillä, että eri operaattori mittaa samat kappaleet uudelleen. Näin saadaan selville operaattoreiden välisistä eroista johtuva mittausepävarmuus. Kaaviokuva Gage R&R -menetelmän jakautumisesta toistettavuuteen ja toistuvuuteen on esitelty kuvassa 2.



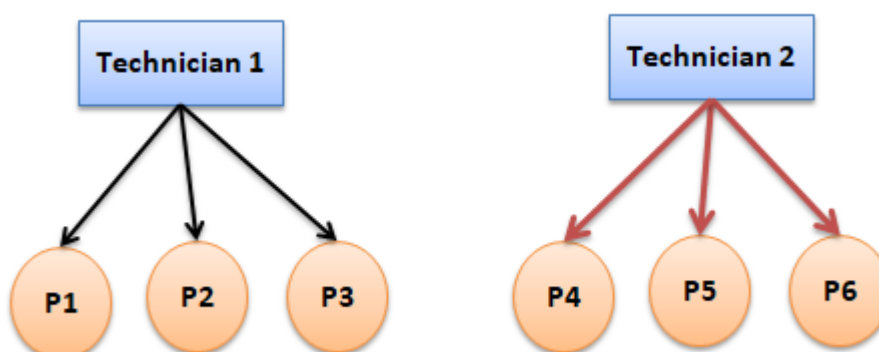
Kuva 2. Gage R&R menetelmän osa-alueet. (Hessing T. Gage Repeatability and reproducibility (R&R))

Gage R&R:ssä on kaksi erilaista perustoteutustapaa, ristikkäinen (engl. crossed) ja sisäkkäinen (engl. nested) (Sharma M, Sahni S & Sharma S 2019, 37). Ristikkäisessä menetelmässä operaattorit mittaavat samoja kappaleita ristiin. Tätä menetelmää käytetään yleensä silloin, kun tehtävät mittaukset eivät ole kappaletta rikkovia ja näin ollen mittaustapahtuma on toistettavissa samalle kappaleelle uudelleen. Ristikkäinen mittautapa on esitetty kaaviokuvassa 3.



Kuva 3. Gage R&R ristikkäisen menetelmän kaaviokuva. (Hessing T. Gage Repeatability and reproducibility (R&R))

Toinen Gage R&R -menetelmä on sisäkkäinen. Tätä menetelmää käytetään yleensä silloin, kun mittaukset ovat kappaletta rikkovia ja tästä syystä ei ole mahdollista toistaa mittauksia uudelleen samalla kappaleella. Tässä menetelmässä jokaisessa mittauksessa on siis käytössä eri mitattavakappale. Kuvassa 4 oleva kaavio selventämään tätä menetelmää.



Kuva 4. Gage R&R nested menetelmän kaaviokuva. (Hessing T. Gage Repeatability and reproducibility (R&R))

### 2.2.1 Gage R&R-menetelmä kappaletta rikkovassa mittauksessa

Kappaletta rikkovissa testeissä Gage R&R ei ole parhaimmillaan, koska mitattavat kappaleet ovat aina eri yksilöitä jokaisessa mittauksessa. Tällöin jää aina enemmän epävarmuustekijöitä, koska ei voida olla varmoja johtuvatko mittaus tulosten erot oikeasti kappaleiden eroista vai mittausepävarmuudesta. Tätä yritetään kompensoida esimerkiksi sillä, että mittauksissa käytetään kappaleita jotka ovat valmistettu peräkkäin. Näin on tehty esimerkiksi Mithun Sharma ym:n tutkimuksessa, jossa määriteltiin ultraäänihitsattujen muovisten suihkunostien paineenkestonmittauksen mittausepävarmuutta. Tällöin voidaan hiukan varmemmin olettaa, että kappaleet ovat mahdollisimman lähellä toisiaan, kun peilaetaan niitä suhteessa tarkasteltaviin ominaisuuksiin (Hamada M. 2021, 3).

Jos useita peräkkäin valmistettuja kappaleita ei ole käytettävissä, niin toinen tapa olettaa mitattavien kappaleiden olevan lähes idettisiä, on käyttää kahta peräkkäin valmistettua kappaletta ja olettaa, että tämä pari on keskenään identtisiä. Näitä kappalepareja voidaan taas kerätä useampia toisistaan riippumattomasti. Mittauksiin saadaan lisää varianssia, kun saman parin eri kappaleet mitataan eri operaattori. Alla olevissa taulukoissa 1 ja 2 on esiteltynä kolmella ja viidellä operaattorilla tehtävät mittaukset. (Hamada M. 2021, 4-5.) Taulukoissa yksi sarake tarkoittaa yhtä kappaleparia ja numerot eri operaattoreita.

1	1	2
2	3	3

Taulukko 1. Kolmella operaattorilla suoritettu kappaleparien mittaus.  
(Hamada M. 2021, 4).

1	1	1	1	2	2	2	3	3	4
2	3	4	5	3	4	5	4	5	5

Taulukko 2. Viidellä operaattorilla suoritettu kappaleparien mittaus.  
(Hamada M. 2021, 4).

Kappaleparien mittauksia voidaan vielä sekoittaa lisää niin, että jokainen operaattori mittaa sekä kappaleparien ensimmäistä että toista kappaletta. Tällainen mittaus on esitelty alla taulukossa 3.

1	1	4	5	2	4	2	3	3	5
2	3	1	1	3	2	5	4	5	4

Taulukko 3. Viidellä operaattorilla suoritettu sekoitettu kappaleparien mittaus.

(Hamada M. 2021, 5).

### 2.2.2 Gage R&R -mittaustulosten käsittely

Gage R&R -testeissä saatuja mittaustuloksia voidaan käsitellä muutamalla eri menetelmällä. Yksi niistä on keskiarvo- ja hajontaperusteinen menetelmä. Tämä on laajalti käytetty menetelmä ja yksi sen suosion syistä on se, että tämän menetelmän avulla ei pelkästään saada selville mittausepävarmuuden kokonaisuutta, vaan saadaan se jaettua erillisiin komponentteihin mittalaitteesta johtuvan toistuvuuden ja operaattoreiden välillä syntyvän toistettavuuden mukaan. Lisäksi tämä menetelmä on suhteellisen helppo ja yksikertainen laskea. Jotta voidaan käyttää keskiarvo- ja hajontamenetelmää tulosten arvioimiseen, niin tulokset tulee kerätä käyttäen ristikkäistä menetelmää. Tällöin eri operaattorit mittaavat ristiin samoja kappaleita useaan kertaan.

Mittalaitteesta johtuvaa mittausepävarmuutta merkitään laskennoissa tunnuksella EV (equipment variation) ja operaattorista aiheutuvaa mittausepävarmuutta tunnuksella AV (appraiser variation) (Cepova, Kovacikova, Cep, Klapat & Mizera 2018, 22). Taulukossa 4 on esitetty esimerkki siitä, kuinka mittaustuloksia käsitellään ja lasketaan.

Ope- raattori	Kap- pale	Mit- taus 1	Mit- taus 2	Mit- taus 3	Ha- jonta	Keski- arvo	Hajon- nan ka.	ka. ka.
A	X	0,22	0,24	0,26	0,04	0,24	0,03	0,23
A	Y	0,21	0,23	0,23	0,02	0,22		
A	Z	0,20	0,23	0,24	0,04	0,22		
B	X	0,25	0,26	0,23	0,02	0,25	0,03	0,24
B	Y	0,26	0,26	0,24	0,02	0,25		
B	Z	0,23	0,23	0,24	0,01	0,23		
C	X	0,24	0,23	0,25	0,02	0,24	0,03	0,23
C	Y	0,22	0,21	0,20	0,02	0,21		
C	Z	0,26	0,24	0,21	0,05	0,24		

Taulukko 4. Keskiarvo ja hajonta laskennan esimerkki.

Taulukossa 4 on ensimmäisessä sarakkeessa operaattorit A, B ja C ja toisessa sarakkeessa on mitattavat kappaleet X, Y ja Z. Tämän jälkeen kolmessa seuraavassa sarakkeessa ovat mittaustulokset siitä, kun kaikki operaattorit ovat mitanneet kunkin kappaleen kolme kertaa. Mittausten jälkeen sarakkeeseen hajonta on laskettu kunkin mittaajan mittatulosten hajonta kullekin kappaleelle ja keskiarvo sarakkeeseen yksittäisen operaattorin yksittäiselle kappaleelle tekemien mittausten keskiarvo. Tämän jälkeen on laskettu operaattori kohtaisesti mittaustulosten hajontojen keskiarvo ja mittaustulosten keskiarvojen keskiarvo. Mittausten toistettavuus saadaan laskettua kaavalla 1.

$$EV = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Kaava 1. Mittalaitteesta johtuvan vaihtelun laskentakaava. (Cepova, Kovacicova, Cep, Klapat & Mizera 2018, 22).

Yllä olevassa kaavassa  $\bar{R}$  on kaikkien operaattoreiden kaikkien mittausten hajonnan keskiarvo ja  $d_2$  korjauskerroin, joka saadaan liitteen 1 taulukosta 28 (Cepova, Kovacicova, Cep, Klapat & Mizera 2018, 22). Taulukossa sarake valitaan operaattoreiden määrän mukaan, mikä on tässä esimerkissä 3. Rivi puolestaan saadaan kertomalla operaattorien määrä mitattujen kappaleiden

lukumäärällä, eli  $3 \times 3 = 9$ . Korjauskertoimen arvo on siis tällöin 1,718. Eli tällöin tässä esimerkkilaskennassa toistuvuusarvo on

$$EV = \frac{(0,03+0,03+0,03)/3}{1,718} = 0,017.$$

Tämä jälkeen saadaan laskettua AV-arvo alla olevalla kaavalla 2.

$$AV = \sqrt{\left(\frac{\bar{R}_{DIFF}}{d_2}\right)^2 - \frac{EV^2}{r \cdot n}}$$

Kaava 2. Mittaajasta johtuvan vaihtelun laskentakaava. (Cepova, Kovacikova, Cep, Klaput & Mizera 2018, 22).

Kaavassa 2  $\bar{R}_{DIFF}$  on operaattoreittain laskettujen keskiarvojen hajonta ja r on yhden operaattorin tekemien mittausten määrä yhdelle kappaleelle, eli tässä esimerkissä 3 ja n on operaattorien määrä eli myös 3.

$$\bar{R}_{DIFF} = 0,24 - 0,23 = 0,01, \text{ jolloin saadaan}$$

$$AV = \sqrt{\left(\frac{0,01}{1,912}\right)^2 - \frac{0,017^2}{3 \cdot 3}} = 0,058. 0,002$$

Kaavalla 3 saadaan laskettua mittalaitteesta ja mittaajasta johtuvien vaihtelujen yhteisvaikutus RR.

$$RR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

Kaava 3. Mittalaitteesta ja mittaajasta aiheutuvan vaihtelunyhteis vaikutuksen laskenta. (Cepova, Kovacikova, Cep, Klaput & Mizera 2018, 22).

Eli esimerkkilaskelmassa  $\sqrt{(0,017)^2 + (0,058)^2} = 0,02$ . Tämä RR-arvo ei vielä ole lopullinen mittausepävarmuuden osoittava tulos, vaan tämä tulos täytyy vielä jakaa prosessinvaihtelulla.

Prosessinvaihtelu TV (prosess variability) saadaan kaavasta 4 (Cepova, Kovacikova, Cep, Klaput & Mizera 2018, 22).

$$TV = \sqrt{RR^2 + PV^2}$$

Kaava 4. Prosessivaihtelun suuruus. (Cepova, Kovacikova, Cep, Klaput & Mizera 2018, 22).

Kaavassa 4 oleva PV (part variability) on mitattavien kappaleiden välisen vaihtelun lukuarvo, joka saadaan laskettua kaavalla 5.

$$PV = \frac{R_p}{d_2}$$

Kaava 5. Mitattavien kappaleiden välinen vaihtelu. (Cepova, Kovacikova, Cep, Klaput & Mizera 2018, 22).

Kaavassa 5 oleva  $R_p$  on jokaisen mitatun kappaleen mittausten keskiarvojen vaihteluväli. Eli jokaiselle kappaleelle lasketaan oma keskiarvo kaikkien operaattoreiden mittauksista. Saaduista keskiarvoista suurimmasta vähennetään pienin keskiarvo, jolloin saadaan niiden vaihteluväli. Muuttujan  $d_2$  arvo saadaan jälleen liitteen 1 taulukosta 28. Esimerkkilaskelman taulukosta 4 kerätyt mittaus tulokset on ryhmitelty uudelleen taulukkoon 5, jossa jokaiselle kappaleelle on laskettu kaikkien operaattoreiden mittauksista keskiarvot.

Kappale	Mittaja 1			Mittaja 2			Mittaja 3			ka
X	0,22	0,24	0,26	0,25	0,26	0,23	0,24	0,23	0,25	0,24
Y	0,21	0,23	0,23	0,25	0,26	0,23	0,22	0,21	0,20	0,23
Z	0,20	0,23	0,24	0,23	0,23	0,24	0,26	0,24	0,21	0,23

Taulukko 5. Keskiarvo ja hajonta laskennan esimerkki.

Taulukon 5 viimeisen sarakkeen keskiarvojen hajonta on  $R_p$  arvo on 0,24-0,23=0,01 ja  $d_2$  arvo otetaan liitteen 1 taulukosta 28 ensimmäiseltä riviltä ja sarakkeen määrittää mitattujen kappaleiden lukumäärä, eli tässä esimerkissä  $d_2$  on 1,912. Tällöin PV:n arvo on  $PV = \frac{0,01}{1,912} = 0,005$  ja tästä saadaan TV:n arvoksi

$$TV = \sqrt{0,02^2 + 0,005^2} = 0,063.$$

Tämän jälkeen voidaan määrittää lopulliset prosenttiarvot kokonaisuudessaan mittaustavalle RR%, sekä erikseen toistuvuudelle EV% ja toistettavuudelle AV% alla olevilla kaavoilla 6–8. (Cepova, Kovacikova, Cep, Klaput & Mizera 2018, 22.) Lisäksi kaavalla 9 voidaan laskea mitattavien kappaleiden välisen vaihtelun suhteellinen arvo.

$$RR\% = 100 * \frac{RR}{TV}$$

Kaava 6. Mittaustavan Gage R&R -prosentin laskenta. (Cepova, Kovacikova, Cep, Klaput & Mizera 2018, 22).

$$EV\% = 100 * \frac{EV}{TV}$$

Kaava 7. Mittaustavan toistuvuudenprosentin laskenta. (Cepova, Kovacikova, Cep, Klaput & Mizera 2018, 22).

$$AV\% = 100 * \frac{AV}{TV}$$

Kaava 8. Mittaustavan toistettavuudenprosentin laskenta. (Cepova, Kovacikova, Cep, Klaput & Mizera 2018, 23).

$$PV\% = 100 * \frac{PV}{TV}$$

Kaava 9. Mitattujen kappaleiden välisen vaihtelunprosentin laskenta. (Cepova, Kovacikova, Cep, Klaput & Mizera 2018, 23).

Edellä esitellyillä kaavoilla laskettuna laskentaesimerkin mittausepävarmuuden arvot ovat:

$$RR\% = 100 * \frac{0,02}{0,063} = 31,7 \%$$

$$EV\% = 100 * \frac{0,017}{0,063} = 27 \%$$

$$AV\% = 100 * \frac{0,058}{0,063} = 92 \%$$

$$PV\% = 100 * \frac{0,005}{0,063} = 7,9 \%$$

Näistä tuloksista voidaan nähdä, että mittaustapa ei ole riittävän kyvykäs, koska RR% arvo on yli 30 %:a, joka oli rajana tapauskohtaisesti hyväksyttävälle mittaustavalle. Tavoiteltava taso mittauksille olisi, että RR% olisi alle 10 %:a. Tuloksista nähdään myös, että suurin osa vaihtelusta tuloksissa johtuu mittaustavasta. Tämä näkyy siinä, että PV% on huomattavasti muita alhaisempi. Ideaali tapauksessa PV% tulisi olla huomattavasti muita suurempi. Tämä kertoisi siitä, että tulosten vaihtelu johtuu kappaleiden välisistä eroista eikä mittaustavasta. EV% ja AV%:a vertaillen nähdään, että tässä tapauksessa suurempi osuus mittaustulosten vaihtelusta johtuu eri operaattoreista eikä mittauslaitteistosta. EV%:han kertoi mittauslaitteistosta johtuvan vaihtelun suuruutta ja AV% mittaoperaattoreista johtuvasta vaihtelusta. EV%:n ollessa suuri voitaisiin päätellä, että mittalaite ei ole soveltuva käytettäväksi kyseisessä mittauksessa. Esimerkiksi laitteen tarkkuus ei olisi riittävä. Suuri AV% puolestaan kertoo siitä, että mittaustapahtumassa on liika tekijöitä, jotka voivat vaihdella eri mittaoperaattoreiden välillä. Näitä tekijöitä voivat olla esimerkiksi mittakappaleen kiinnitys mittauksen aikana, itse mittalaitteen käyttö tai vaikkapa mitta-arvon lukeminen laitteelta.

Tulkitsemalla Gage R&R -tutkimuksen tuloksia huolellisesti saadaan mittaustapahtumasta paljon hyödyllistä tietoa. Tulokset eivät rajoitu pelkästään siihen, että saadaan selville mittaustapahtuman kyvykkyys, vaan tuloksista voidaan jo suoraan nähdä millä osa-alueella on eniten parantamisen mahdollisuuksia.

### **2.3 Mittausepävarmuuden määrittäminen GUM-menetelmällä**

Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) menetelmä on Joint Committee for Guides in Metrology:n (JCGM) kokoama ohjeistus mittausepävarmuuden määrittämiseen ja laskentaan. Ohje on koottu nimellä JCGM 100 ensimmäisen kerran vuonna 1995. Tuorein painos on vuodelta 2008. Tämä ohje on myös otettu ISO-standardiksi numero 98.

JCGM 100 pitää sisällään menetelmät kahteen erityyppiseen mittausepävarmuuden määrittämiseen. Ensimmäisestä käytetään nimitystä tyyppin A määrittely ja toisesta tyyppin B määrittely. A-tyypin määrittelyssä mittaustulokset ovat ideaalitulanteessa kerätty peräkkäisillä mittauksilla vakio olosuhteissa, jonka jälkeen niistä saadaan laskettua mittaustulosten hajonta, mediaani ja keskiarvo. Tyyppin B määrittelyssä puolestaan mittaustulokset on kerätty jollain muulla tavalla, kuin peräkkäisiä mittauksia tekemällä. Näitä tapoja voivat olla esimerkiksi:

- aikaisemmat mittaustulokset
- kokemuspohjainen tai yleinen tietämys materiaalien tai instrumenttien käyttäytymisestä
- valmistajan antamat tiedot
- kalibroitiraporttien tai sertifikaattien antamat tiedot
- muista oppaista saatu referenssitieto kyseiselle mittatiedolle. (JCGM 100 2008, 11.)

JCGM 100 -opas sisältää kappaleessa 4 useita laskentamenetelmiä eri tilanteisiin riippuen siitä, kuinka käsiteltävät tulokset on kerätty. Sieltä löytyy laskenta-kaavat mittaamalla kerätyille tuloksille, eli lähinnä A-tyypin epävarmuuden määrittämiseen. Lisäksi sieltä löytyy työkalut siihen, kuinka tulosten epävarmuutta voidaan laskea ja arvioida, jos mittauksiin vaikuttavat epävarmuustiedot ovat saatu mittalaitteen kalibrointitiedoista tai muista valmistajan antamista dokumenteista. Oppaassa on myös laskentakaavat sellaisille tilanteille, joissa itse tulosten ja niiden hajonnan todennäköisyyksien arvioimisen sijasta onkin järkevämpää määrittää pelkästään raja-arvot, joiden välillä tulokset vaihtelevat.

Toinen tämän työn kannalta tärkeä menetelmä tulostenkäsittelyyn oppaassa on laskenta, jolla voidaan arvioida tulosten tilastollista paikkaansa pitävyyttä verrattuna mittausten otoksen kokoon. Tästä käytetään yleensä nimitystä luottamusarviointi. Seuraavassa luvussa on esitelty JCGM 100-oppaan laskentamenetelmä mittaamalla kerättyjen tulosten epävarmuuden käsittelyyn ja tulosten luotettavuuden arviointiin. Kalibrointi- ja valmistajan dokumenteista saatujen epävarmuuksien kautta tulosten analysointi jätetään tämän työn ulkopuolella, koska ne eivät ole sovellettavissa tässä työssä.

### 2.3.1 GUM-laskentamenetelmät poikkeaman laskentaan

Laskenta lähtee liikkeelle siitä olettamuksesta, että yksittäiset mittaustulokset vaihtelevat satunnaisesti normaalijakauman mukaisesti. Tällöin paras arvio tulevasta mittaustuloksista on, jo tehtyjen mittausten keskiarvo (JCGM 100 2008, 10). Mittaustulosten epävarmuuden arviointi lähteekin liikkeelle siitä, että määritetään saatujen tulosten keskiarvo alle olevalla kaavalla.

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k$$

Kaava 10. Keskiarvon laskenta (JCGM 100 2008, 10).

Kaavassa  $n$  on yksittäisten mittaustulosten lukumäärä ja  $q_k$  kuvaa yksittäisiä mittaustulosten lukuarvoja.

Tämän jälkeen lähdetään laskemaan mitattujen tulosten varianssi. Alla olevassa kaavassa 11  $s^2(q_k)$  on kokeellisesti saatujen mittaustulosten varianssi, jota käytetään arvioidessa kaikkien mahdollisten mittaustulosten varianssia, josta käytetään tunnusta  $\sigma$ . Kaavassa  $q_k$  arvot ovat niitä samoja yksittäisiä mittaustuloksia, kuin edellisessäkin kaavassa,  $\bar{q}$  on yllä laskettujen mittaustulosten keskiarvo ja  $n$  yksittäisten mittaustulosten lukumäärä. Tämä varianssi  $s^2(q_k)$  kuvaa mittatulojen vaihtelua suhteessa niiden keskiarvoon. (JCGM 100 2008, 10.)

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2$$

Kaava 11. Kokeellisten mittaustulosten varianssin laskenta (JCGM 100 2008, 10).

Mittaustulosten varianssin määrittämisen jälkeen lasketaan varianssi keskiarvon suhteen kaavalla 3. Lopuksi määritetään tulosten keskiarvon keskihajonta  $s(\bar{q})$ , jonka neliö varianssi  $s^2(\bar{q})$  on. Keskihajonta saadaan laskettua kaavalla 4. Tätä keskihajonnan arvoa voidaan käyttää ilmoittamaan mittaustuloksissa esiintyvän epävarmuuden lukuarvoa. (JCGM 100 2008, 10)

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n}$$

Kaava 12. Keskiarvonvarianssin laskenta (JCGM 100 2008, 10).

$$s(\bar{q}) = \sqrt{s^2(\bar{q})}$$

Kaava 13. Poikkeaman laskenta (JCGM 100 2008, 10).

Alla on esimerkkilaskelma selventämään yllä esiteltyä laskentatapaa. Tähän esimerkkiin on yksinkertaisuuden vuoksi otettu vain kolme eri mittaustulosta. Annetaan näille tuloksille arvot 8 mm, 12 mm ja 11 mm. Näiden keskiarvo  $\bar{q}$  saadaan kaavalla 10.

$$\bar{q} = \frac{1}{3} * (8mm + 12mm + 11mm) = 10,33mm$$

Keskiarvon avulla voidaan määrittää tulostenvarianssi  $s^2(q_k)$  kaavalla 11.

$$\begin{aligned} s^2(q_k) &= \frac{1}{3-1} * [(8mm - 10,33mm)^2 + (12mm - 10,33mm)^2 + (11 - 10,33mm)^2] \\ &= 4,33335mm^2 \end{aligned}$$

Keskiarvonvarianssi saadaan kaavalla 12.

$$s^2(\bar{q}) = \frac{4,33335mm^2}{3} = 1,44445mm^2$$

Lopullinen epävarmuuden lukuarvo saadaan ottamalla keskiarvon varianssista neliöjuuri.

$$s(\bar{q}) = \sqrt{1,44445mm^2} = 1,2mm.$$

### 2.3.2 GUM-laskentamenetelmä tulosten luotettavuuden määrittämiseen

Tulosten luotettavuuden ymmärtäminen testauksessa ja mittauksessa on erittäin tärkeää. Tähän luotettavuuteen vaikuttaa olennaisesti tehtyjen mittausten / testien määrä. JCM 100-oppaassa on oma laskentamallinsa myös tulosten luotettavuuden määrittämiseen.

Tulosten luotettavuuden määrittäminen lähtee liikkeelle siitä oletuksesta, että saadut mittaustulokset, joita merkitään tunnuksella  $q$ , noudattavat normaali-jakaumaa. Tällöin on voimassa hypoteesi, että edellisessä luvussa laskettu poikkeama  $s(\bar{q})$  vastaa todellista poikkeamaa, jonka tunnus oppaassa on  $\sigma(\bar{q})$ . Näin saadaan laskettua prosentuaalinen todennäköisyys kaavalla 13 sille, etteivät tulevat mittaustulokset osu lasketun epävarmuuden sisään. Eli mitä pienempi prosentti saadaan kaavasta 14, sitä luotettavampi laskettu epävarmuus arvo on. (JCGM 100 2008, 12.)

$$[2(n - 1)]^{-\frac{1}{2}}$$

Kaava 14. Tulostenluotettavuuden laskenta (JCGM 100 2008, 12).

Esimerkiksi, jos mittaustuloksia on kymmenen kappaletta, eli  $n=10$ , niin tulevat mittaustulokset osuvat lasketun epävarmuuden sisään vain 24 %:n todennäköisyydellä (ks. esimerkki laskenta alla).

$$[2(10 - 1)]^{-\frac{1}{2}} = 0,24$$

Mittaustulosten määrän nuostessa 50:een, niin tällöin virheen todennäköisyys putoaa jo 10 %:iin (JCGM 100, 4.3.2 sivu 12).

$$[2(50 - 1)]^{-\frac{1}{2}} = 0,1$$

Taulukossa 6 on esitelty lisää luottamustasoja, jotka saavutetaan eri otanta määrillä. Se mikä on riittävä luottamustaso tulosten epävarmuudelle, on tapauskohtaista. Mittausten kriittisyys yrityksen / tuotteen toiminnalle vaikuttaa siihen, mikä on soveltuva luottamustaso.

Number of observations $n$	$\sigma[s(\bar{q})]/\sigma(\bar{q})$ (percent)
2	76
3	52
4	42
5	36
10	24
20	16
30	13
50	10

(a) The values given have been calculated from the exact expression for  $\sigma[s(\bar{q})]/\sigma(\bar{q})$ , not the approximate expression  $[2(n-1)]^{-1/2}$ .

(b) In the expression  $\sigma[s(\bar{q})]/\sigma(\bar{q})$ , the denominator  $\sigma(\bar{q})$  is the expectation  $E[S/\sqrt{n}]$  and the numerator  $\sigma[s(\bar{q})]$  is the square root of the variance  $V[S/\sqrt{n}]$ , where  $S$  denotes a random variable equal to the standard deviation of  $n$  independent random variables  $X_1, \dots, X_n$ , each having a normal distribution with mean value  $\mu$  and variance  $\sigma^2$ :

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

The expectation and variance of  $S$  are given by:

$$E[S] = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \frac{\Gamma(n/2)}{\Gamma[(n-1)/2]} \sigma, \quad V[S] = \sigma^2 - E[S]^2,$$

where  $\Gamma(x)$  is the gamma function. Note that  $E[S] < \sigma$  for a finite number  $n$ .

Taulukko 6. Saadun poikkeaman tuloksen luotettavuuden arviointi (JCGM 100 2008, 59).

### **3 Valitut menetelmät mittausepävarmuuden ja tulosten luotettavuuden määrittämiseen**

Useille Abloyn tuotteille on olemassa kasainvälisiä standardeja, jotka määrittävät tuotteiden ominaisuuksia. Osa standardeista ovat EU:ssa harmonisoituja, eli ne velvoittavat täyttämään niissä määritetyt kriteerit, jotta tuotteita saa myydä ja käyttää EU:n alueella. Lisäksi joillakin alueilla kuten Pohjois-Amerikassa ja Iso-Britanniassa ovat omat velvoittavat standardinsa. Harmonisoiduista standardeista esimerkkinä EN 179 ja EN 1125, mitkä määrittävät hätäpoistumisovien painikkeille ja lukkorungoille kelpoisuusvaatimukset. Toiset standardeista eivät ole harmonisoituja, eli tuotteiden ei ole pakko täyttää niiden vaatimuksia. Usein kuitenkin tällaiset standardit ovat laajalti toimialalla käytössä ja asiakkaat vaativat tuotteilta näiden standardien vaatimusten täyttämistä. Tällaisia ei-harmonisoituja standardeja, jotka ovat kuitenkin laajasti käytössä ovat esimerkiksi mekaanistenovisylintereiden EN 1303 ja mekatronistenovisylintereiden EN 15684.

Harmonisoitujen standardien täyttämistä seuraavat ulkopuoliset sertifiointilaitokset. Usein valvonta tehdään auditoinneilla ja vuosittain tehtävillä testeillä, joilla todetaan, että tuotteet täyttävät poikkeuksetta standardien vaatimukset. Lisäksi Abloy tekee paljon standardien mukaista testausta myös ei-harmonisoitujen standardien piirissä oleville tuotteille. Seuraavan sivun taulukossa 7 on lueteluna tuoteperheittäin niitä koskevat standardit. Lisäksi taulukosta näkee mitkä standardeista ovat harmonisoituja ja mitkä ei-harmonisoituja.

Tuoteperhe	Standardi	Harmonisointi
Mekaaniset ovisyylinterit	EN 1303	Ei-harmonisoitu
Mekatroniset ovisyylinterit	EN 15684	Ei-harmonisoitu
Mekaaniset riippulukot	EN 12320	Ei-harmonisoitu
Mekatroniset riippulukot	EN 16864	Ei-harmonisoitu
Saranat, palo- ja hätäpoistumistieovissa	EN 1935	Harmonisoitu
Painikkeet	EN 1906	Ei-harmonisoitu
Mekaaniset lukkorungot	EN 12209	Harmonisoitu
Sähkötoimiset lukkorungot	EN 14846	Harmonisoitu
Painikkeella ja työntölevyllä avattavat poistumisovien poistumislaitteet	EN 179	Harmonisoitu
Avauspuomilla avattavat poistumisovien lukkolaitteet	EN 1125	Harmonisoitu
Säädettävät ovensulkimet	EN 1154	Harmonisoitu
Sähköisesti ohjatut aukipitolaitteet	EN 1155	Harmonisoitu
Pariovi tahdistuksen sisältävät laitteet	EN 1158	Harmonisoitu

Taulukko 7. Tuoteperheitä koskevat standardit ja niiden harmonisointi.

Tämän opinnäytetyön kohteeksi valittiin nimenomaan nämä standardien mukaisesti tehtävät testaukset, eikä esimerkiksi tuotekehitystestit. Tämä siksi, että testien suorittaminen on kuvattu standardeissa tarkasti ja niitä tehdään toistuvasti ja ne olisi tarkoitus tehdä toistettavasti. Lisäksi Abloyille on strategisesti tärkeää tunnistaa näiden testien tuloksissa mahdollisesti piilevät mittausepävarmuudet. Suuret mittausepävarmuudesta johtuvat poikkeamat näissä standardien mukaisissa testeissä voivat johtaa ongelmiin tuloksia vertailtaessa virallisiin hyväksyntälaitosten tekemiin vastaaviin testeihin. Lisäksi mittausepävarmuuksia määriteltäessä on painotettu velvoittavien standardien testejä, koska niiden tekemistä ja tuloksia seuraavat ulkopuoliset sertifiointilaitokset.

Mittausepävarmuuden määrittämiseen mukaan valitaan vain sellaiset testit, joiden lopullinen tulos on sellainen, että siinä on vaihtelua. Monissa testeissä tulos on vain kaksi portainen hyväksytyt/hylätty. Tällaisia testejä ovat esimerkiksi kaikki olosuhde- ja kulutustestit, sekä sellaiset voimatestit, joissa testataan tuotteen toimivuutta tietyn kuormituksen jälkeen. Tällaisista tuloksista ei pystytä

laskemaan keskiarvoa ja -hajontaa ja näin ollen tuloksesta on mahdotonta määrittää mittausepävarmuutta. Näissä tämän tyypisissä testeissä on yleensä kuitenkin osana testiä voiman- tai momenttimittauksia, joissa olisi mahdollista hyödyntää esimerkiksi Gage R&R -menetelmää. Tässä työssä ne ovat kuitenkin rajattu pois tarkastelun piiristä. Tässä työssä arvioidaan vain sellaisia testejä, joiden lopputuloksesta voidaan määrittää mittausepävarmuutta. Muuten olisi riskinä, että työ paisuisi liian laajaksi ja vaikeasti hallittavaksi. Tästä syystä osatesien epävarmuuksien määrittäminen on rajattu pois.

Seuraavissa kappaleissa on käyty läpi testausohjeista eri tuoteryhmille tehtävät vuosittaiset testit, sekä analysoitu kumpaa mittausepävarmuuden määrittämis menetelmää niihin voitaisiin soveltaa. Sellaisiin testeihin joissa tuotetta ei rikota testausta tai mittauksia tehtäessä voidaan soveltaa Gage R&R -menetelmää, koska tällöin mittaukset ovat helppo toistaa samalle tuoteyksilölle useaan kertaan eri testaaajien toimesta. Sellaisille testeille, jotka tehdään tuotteita rikkovasti ja tästä syystä niitä ei voida enää toistaa uudelleen samalle yksilölle, niin tällöin on järkevämpää käyttää GUM-menetelmää mittaasepävarmuuden määrittämiseen.

GUM-menetelmällä tehdyissä arvioinneissa hyödynnetään aikaisempia testituloksia, joita on kertynyt vuositesteistä tehdessä. Abloyn tuotteiden elinkaari on suhteellisen pitkä. Sama tuote on markkinoilla useita vuosia, varsinkin patentoituilla tuotteilla, jotka voivat olla markkinoilla yli kymmenenkin vuotta. Lisäksi tuotteiden elinikä käytössä on pitkä. Tuotteet ovat suunniteltu kestäväksi satojatuhansia käyttökertoja. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotteet pysyvät muuttumattomina kohtalaisen pitkään. Näin ollen voidaan riittävällä varmuudella olettaa, että tuoteyksilöt vastaavat kaikilta ominaisuuksiltaan toisiaan koko elinkaaren aikana. Lisäksi aikaisempien testitulosten hyödyntämistä puoltavat myös se, että osa tuotteista ovat kalliita, jolloin useiden kappaleiden valmistaminen pelkästään näitä mittauksia varten ei olisi taloudellisesti järkevää. Toisekseen osalla tuotteista on pitkätkin toimitusajat, jolloin mittausten tekeminen venyisi tämän työn kannalta liian pitkälle aikavälille. Gage R&R -menetelmään taas ei oikein sovi vanhojen mittaustulosten soveltaminen, joten niitä mittauksia varten käytetään erikseen tätä varten hankittuja tuotteita.

Mittausepävarmuuden selvittämisen lisäksi tarkastellaan kunkin arvioinnin yhteydessä myös tulostenluotettavuutta näytekoon perusteella. Luotettavuuden arvioinnissa käytetään apuna GUM-laskentaa, sekä vertailuna Minitab-ohjelmaa, jossa on oma laskentansa myös tähän tarkoitukseen.

## **4 Testien analysointi ja mittausepävarmuuksien määrittäminen**

### **4.1 Testien analysointi**

Seuraavissa luvuissa on käyty Abloyn sisäisiä testausohjeita ja standardeja hyväksi käyttäen lävitse eri tuoteperheille tehtäviä vuositestejä. Kaluste- ja huonekalulukoille ei ole omaa standardi, joten tehtävät testit on kerätty pelkästään testausohjeesta. Muille tuoteperheille, joille löytyy omat standardinsa, testit on kerätty käyttäen apuna sekä standardeja että sisäisiä testausohjeita. Standardeista on mukaan analysointeihin kerätty sellaiset testit, jotka löytyvät myös testausohjeista, koska standardit sisältävät myös sellaisia testejä, joita tuotteille tehdään harvemmin. Tämän työn puitteissa on analysoitu sellaiset testit, joita tehdään vähintään vuosittain.

Testit on luokiteltu taulukoihin luvussa 3 esitettyjen perusteiden mukaan. Kunkin testin lopputulos on analysoitu siten, että soveltuuko se mittausepävarmuuden määrittämiseen jommallakummalla tässä työssä käytössä olevalla menetelmällä. Työssä on käyty läpi kaikki tuoteperheet, vaikka niiden testejä ei tämän työn piirissä käsiteltäisikään. Täten ne ovat hyödynnettävissä myöhemmin.

Analysoinnin jälkeen valituille tuoteryhmille on tehty määritelmät käyttäen sekä Gage R&R-, että GUM-menetelmiä. GUM-analyyseissä on käytetty hyväksi aikaisempien testien tuloksia vuodesta 2018 eteenpäin.

#### 4.1.1 Kaluste- ja huonekalulukkojen testaus

Kalustelukoille ei ole omaa standardia, vaan niihin sovelletaan usein sylinteris-tandardeja. Abloylla on kuitenkin niille oma soveltava vuositestausohjelma, jolla seurataan tuotteiden laatua. Taulukon 8 testit ovat kerätty ohjeesta Abloy – Metallikalustelukkojen testausohjeet. Kaikille kalustelukoille tehdään vuosittain korroosiotesti, sekä kaksi voimatestiä. Lisäksi teräksisille kalustelukoille tehdään poraustesti ja kovuudenmittaus.

Testi	Tulos [yksikkö]	Analysointi
Avainpesän kiinnityslujuus	Voima [kN]	GUM
Sylinterin kiinnityslujuus	Voima [kN]	GUM
Korroosiotesti	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Poraustesti	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Kovuudenmittaus	Kovuus [HRC]	GUM / Gage R&R

Taulukko 8. Kalustelukkojen vuositestit.

Kalustelukkojen testeistä GUM-menetelmällä voidaan määrittää voimatestien ja kovuudenmittauksen mittausepävarmuutta. Periaatteessa kovuudenmittauksen mittausepävarmuus voitaisiin määrittää myös Gage R&R -menetelmällä, mutta kovuudenmittaus prosessina ei kuulu testaukselle, vaan laatuorganisaatiolle. Tästä syystä sitä ei voida käsitellä tämän työn yhteydessä.

Kalustelukkojen tuoterepertuaari on todella laaja ja monipuolinen. Tästä syystä kalustelukoista täytyy valita muutama yleisin malli, joille löytyy testihistoriasta riittävästä testituloksia. Tuotteista valitaan 1–2 messinkisiä ja saman verran teräksisiä tuotteita. Samalla voidaan myös arvioida sitä, vaikuttaako tuotteiden materiaali mittausepävarmuuden suuruuteen.

Samaan kategoriaan kalustelukkojen kanssa Abloyn tuotteista voidaan laskea myös huonekalulukkojen tuoteperhe. Näillekään tuotteille ei ole olemassa omaa standardia, vaan niiden testaaminen pohjautuu tarpeeseen varmistua siitä, että tuotteiden laatu pysyy korkeana. Huonekalulukoille tehdään taulukon 9

mukaiset testit. Testit on kerätty niiden testausohjeesta Huonekalulukkojen testausohje DOC05670.

Testi	Tulos [yksikkö]	Analysointi
Tuurnalla murto	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Vetolujuuskoe	Voima [kN]	GUM
Teljen lujuuskoe - sivuttaisvoima	Voima [kN]	GUM
Teljen lujuuskoe - päätyvoima	Voima [kN]	GUM

Taulukko 9. Huonekalulukkojen vuositestit.

Huonekalulukkojen testeistä teljen lujuustestien tulokset, sekä vetolujuuskoe soveltuvat mittausepävarmuuden määrittämiseen GUM-menetelmää käyttäen.

#### 4.1.2 Ovisylinterituotteiden testaus

Mekaanisille ovisylintereille, sekä mekatronisille ovisylintereille on olemassa omat standardinsa. Mekaanisten sylintereiden standardi on EN 1303 ja mekatronisten EN 15684. Sisällöltään standardit ovat testausten osalta hyvin lähellä toisiaan, joten ne voidaan käsitellä tässä soveltuvin osin yhdessä. Lähteenä on käytetty edellä mainittuja standardeja ja Abloyn testausohjeita EN 1303 CY-vuositestausohje ja EN 15684 CYL-vuositestausohje. Ovisylinterituotteille tehdään taulukon 10 mukaiset testaukset vuosittain. Taulukossa lisäksi nähtävissä kappaleet EN 1303 standardista, joista löytyy testien tarkka kuvaus.

Testi	Standardin EN 1303 kap- pale	Tulos [yksikkö]	Analysointi
Kulutustesti	6.3	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Korkea lämpötila- testi	6.7.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Matala lämpötila- testi	6.7.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Korroosiotesti	6.7.1	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Poraustesti	6.9.1	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Talttahyökkäys	6.9.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Ruuvilla vetotesti	6.9.4	Voima [kN]	Ei sovellu
Helan vääntötesti	6.9.3	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Avainkanavan vään- tötesti	6.9.5	Vääntömomentti [Nm]	Ei sovellu

Taulukko 10. Mekaanisten ja mekatronisten ovisylintereiden vuositestit.

Kaikki ovisylintereiden testit ovat tyypiltään sellaisia, että ne eivät sovellu mittausepävarmuuden määrittämiseen kovinkaan hyvin. Testeistä olosuhdetestit sekä kulutustesti ja hyökkäystesteistä poraus-, taltta ja helan vääntötestit ovat tulokseltaan hyväksytty/hylätty testejä. Talttahyökkäys ja helan vääntötesteissä voisi vaihtoehtoisesti laskea myös iskujen ja vääntöjen määriä, jotka tuotteet kestävät. Ongelmaksi näiden testien kohdalla kuitenkin nousee se, että testejä ei ole tehty tuotteiden rikkoutumiseen asti, vaan ne on lopetettu standardin määrittämien suorituskertojen jälkeen ja todettu testitulos hyväksytyksi. Ruuvilla vetotestissä ja avainkanavan vääntötestissä mitattava yksikkö mahdollistaisi mittausepävarmuuden määrittämisen, mutta käytännössä näin ei kuitenkaan ole. Avainkanavan vääntötestissä poikkeuksetta aina ensimmäiseksi rikkoutuu avaintuurna, jolla vääntö tehdään. Tällöin tuloksista voitaisiin vain arvioida tuurinan kestävyuden vaihtelua, eikä varsinaisesti itse testitapahtuman tai testattavan tuotteen vaihtelua. Ruuvilla veto testissä tilanne on hiukan samankaltainen. Testissä ovisylinterin avainkanavaan porataan ruuvi, josta vetämällä ovisylinteri koitetaan saada rikkoutumaan ja aukeamaan. Tuotteen pitää kestää standardin määrittämä voima rikkoutumatta. Tuote on kuitenkin suunniteltu siten, että ruuvi

on hyvin vaikea saada jäämään kunnolla kiinni vetoa varten. Vaihtelut testituloksissa johtuvatkin enemmän ruuvauksen onnistumisesta kuin mistään muusta. Tästä syystä tästäkään testistä ei voida lähteä määrittämään epävarmuustekijöitä.

#### 4.1.3 Riippulukkojen testaus

Riippulukkotuotteissa on hyvin samankaltainen tilanne kuin ovisylitereissäkin. Mekaanisille ja mekatronisille riippulukoille on omat standardinsa. Mekaanisille EN 12320 ja mekatronisille EN 16864, mutta niiden sisältämät testaukset ovat keskenään hyvin pitkälti samanlaiset. Tästä syystä molemmat tuoteryhmät ja niille tehtävät standardin mukaiset vuosittain suoritettavat testit voidaan käsitellä ja analysoida yhtä aikaa. Riippulukkojen testit löytyvät taulukosta 11. Taulukon testit ovat kerätty riippulukkojen standardeista, sekä Abloyn ohjeesta Riippulukkojen testausohje. Taulukkoon on myös listattuna standardin EN 12320 kappaleet, joissa testien tarkat kuvaukset.

Testi	Standardin EN 12320 kappale	Tulos [yksikkö]	Analysointi
Vetolujuus	5.5.6	Voima [kN]	GUM
Iskutesti kylmässä	5.5.9	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Sangan vääntölujuus	5.5.7	Vääntömomentti [Nm]	GUM
Sangan leikkausvoima	5.5.8	Voima [kN]	GUM
Lukkopesän vääntölujuus	5.5.5	Vääntömomentti [Nm]	GUM
Lukkosylinterin kuormituskoe	5.5.4	Voima [kN]	Ei sovellu
Sahaustesti	5.5.11	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Korroosiotesti	5.4	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Kulutustesti	5.3	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu

Taulukko 11. Mekaanisten ja mekatronisten riippulukkojen vuositestit.

Riippulukkojen vuositesteistä kulutus-, korroosio, sahaus- ja iskutesti kylmässä ovat suoritustavoiltaan ja tuloksiltaan sellaisia, että niihin ei voida soveltaa kumpaakaan tässä työssä käytettyä mittausepävarmuuden määrittämenetelmää. Lukkosylinterin kuormituskoe on vastaava testi kuin yllä oli ovisylintereiden ruuvilla vetotesti. Myöskään riippulukoissa tästä testistä ei ole kertynyt sellaisia tuloksia, jotka kertoisivat tuotteen tai testaustavan vaihteluista, joten tästä syystä sitä ei voida käsitellä. Sama tilanne on myös lukkopesän vääntölujuustestissä, joka vastaa ovisylintereiden avainkanavan vääntötestiä. Riippulukoilla testiä ei ole tehty rikkoutumiseen asti tai sitten avaintuurnan on katkennut ennen tuotteen rikkoutumista. Näin ollen tästäkin testistä ei ole satavilla sellaisia tuloksia, joiden avulla voitaisiin määrittää testitulosten mittausepävarmuutta. Sen sijaan vetolujuuden, sangan vääntölujuuden ja leikkausvoiman testien tuloksista voidaan analysoida epävarmuustekijöitä GUM-menetelmää käyttäen.

#### 4.1.4 Saranoiden testaus

Saranoille, jotka ovat hyväksytyt käytettäväksi palo- ja hätäpoistumistieovissa, on olemassa oma harmonisoitu standardi EN 1935. Abloyn ohjeessa EN 1935 Vuositestauksen testausohje Sample 1–4 on neljä testiä edellä mainitusta standardista ja ne löytyvät alta taulukosta 12 viitauksineen kyseiseen standardiin. Testit ovat staattinen kuormitus-, leikkausvoima-, kulutus- ja korroosiotesti.

Testi	Standardin EN 1935 kappale	Tulos [yksikkö]	Analysointi
Staattinen kuormitustesti	7.1.2	Vällys [mm]	Gage R&R
Leikkausvoimatesti	7.1.3	Vällys [mm]	Gage R&R
Kulutustesti	7.1.4	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Korroosiotesti	7.1.5	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu

Taulukko 12. Saranoiden vuositestit.

Staattisessa kuormitustestissä saranat laitetaan kiinni testioveen, jota sitten kuormitetaan standardin mukaisella voimalla. Leikkausvoimatestissä saranoita kuormitetaan leikkaavalla voimalla esim. voimanmittauskoneessa. Voimat vaihtelevat molemmissa testeissä saranan luokituksen mukaisesti. Testeissä mitataan millimetreissä saranoihin syntyvää välystä kuormituksen seurauksena. Nämä testit eivät ole tuotetta rikkovia, joten ne voidaan toistaa useita kertoja eri operaattoreiden toimesta. Näin ollen ne soveltuvat hyvin Gage R&R- tutkimukseen. Niin kuin muidenkin tuoteryhmien kohdalla kulutus- ja korroosiotestit eivät sellaisinaan sovellu mittausepävarmuuksien määrittämiseen.

#### **4.1.5 Painikkeiden testaus**

Oven avauspainikkeille tai -nupeille on olemassa oma standardinsa EN 1906. Standardissa on erikseen vaatimukset jousettomille painikkeille ja nupeille, sekä jousipalautteisille ja jousiavusteisille painikkeille ja nupeille. Abloyn testausohjeista, jotka sisältävät tuoteperhettä koskevan standardin mukaisia testejä, on kerätty taulukkoon 13 niille tehtävät testit. Testit ovat kerätty seuraavista testausohjeista:

- Painikekestotestin suoritus ja käyttöohje
- Painikestandardin EN 1906 vaatimukset
- Painiketesti EN 1906 mukaisesti.

Taulukosta nähtävissä kappaleet, joista valitut testit löytyvät tarkasti kuvattuina.

Testi	Standardin EN 1906 kappale	Tulos [yksikkö]	Analysointi
Vääntölujuus	7.3.2	Muodonmuutos [mm]	Gage R&R
Vetolujuus	7.3.3	Muodonmuutos [mm]	Gage R&R
Aksiaalinen välys 0°	7.3.4	Vällys [mm]	Gage R&R
Aksiaalinen välys 60°	7.3.4	Vällys [mm]	Gage R&R
Vääntövälyys	7.3.5	Vällys [mm]	Gage R&R
Palautusmomentti, jouseton painike	7.3.6	Momentti [Nm]	Gage R&R
Palautusmomentti, jouseton nuppi	7.3.6	Momentti [Nm]	Gage R&R
Kääntömomentti, jousipalautteiset painikkeet ja nupit	7.3.6	Momentti [Nm]	Gage R&R
Palautusmomentti, jousiavusteinen painike	7.3.6	Momentti [Nm]	Gage R&R
Kääntömomentti, jousiavusteinen painike	7.3.6	Momentti [Nm]	Gage R&R
Kulutustesti	7.3.7	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Turvahelan vetolujuus	7.3.12	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Korroosiotesti	7.4	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu

Taulukko 13. Painikkeiden vuositestit.

Painikkeille tehdään useita ei rikkovia testejä, joiden mittausepävarmuuden määrittämiseen voidaan soveltaa Gage R&R -menetelmää. Kuten yllä olevasta taulukosta näkee, niin painikkeille tehdään erilaisia välyksen- ja momentinmittauksia. Vaikka mittauksissa on mukana painikkeiden kuormittaminen erilaisilla ja suuntaisilla voimilla, niin voimat eivät ole kuitenkaan tuotteita rikkovia. Lisäksi mittaukset tehdään tuotteille vasta kuormitusten jälkeen. Näin ollen mittaukset voidaan toistaa eri operaattorien toimesta kerran kuormitetuille painikkeille ja kuormitusten aiheuttamat yksilölliset muutokset tuotteissa saadaan suljettua pois mittausepävarmuuden määrittämisestä.

Kulutus- ja korroosiotesti noudattavat samaa kaavaa kuin kaikissa muissakin tuoteryhmissä ja ne eivät sovellu tämän työn mittausepävarmuuden määrittämisen piiriin. Turvahelan vetolujuustestissä tarkastellaan visuaalisesti tuotteen kuntoa kuormituksen jälkeen. Testissä ei tehdä tarkistusmittauksia, joiden mittausepävarmuutta voitaisiin lähteä määrittämään.

#### **4.1.6 Mekaanisestitoimivien lukkorunkojen testaus**

Erityyppisille lukkorungoille on useita eri standardeja, joita sovelletaan lukkorunkojen rakenteen tai käyttötarkoituksen mukaan. Mekaanisestitoimiville lukkorungoille on oma standardi EN 12209 ja sähkötoimisille lukkorungoille EN 14846. Näiden lisäksi on vielä olemassa standardit EN 179 ja EN 1125, joita sovelletaan hätäpoistumisovissa käytettäviin tuotekokonaisuuksiin, joissa on mukana myös lukkoruko. Toisin kuin ovisylitereiden ja riippulukkojen kohdalla, lukkorunkostandardien testit eroavat toisistaan sen verran, että ne täytyy käsitellä erikseen. Tässä luvussa käydään läpi mekaanisestitoimivien lukkorunkojen testaukset. Taulukoon 14 on kerätty mekaanisten lukkorunkojen vuositestit. Taulukon testit on kerätty käyttäen lähteenä seuraavia Abloyn testausohjeita:

- EN 12209 testausohje Sample A-H
- EN 12209 testausohje Sample C-K
- EN 12209 testausohje Sample D-L
- EN 12209 testausohje Sample E-M
- EN 12209 testausohje Sample G.

Taulukkoon on myös merkitty standardin EN 12209 kappaleet, joista testien tarkat kuvaukset löytyvät.

<b>Testi</b>	<b>Standardin EN 12209 kappale</b>	<b>Tulos [yksikkö]</b>	<b>Analysointi</b>
Takalukitusteljen käyttömomentti	6.2.2	Momentti [Nm]	Gage R&R
Painikkeen palautusmomentti	6.11.3	Momentti [Nm]	Gage R&R
Lämpötilatesti +80°C	6.7.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Lämpötilatesti -20°C	6.7.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Kulutustesti	6.3.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Takalukitusteljen sivuttaislujuus	6.8.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Takalukitusteljen sivuttaislujuus porauksen kanssa	6.8.2.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Takalukitusteljen ulkonema	5.11.4	Etäisyys [mm]	Gage R&R
Teljen käyttömekanismin lujuus	6.2.3	Momentti [Nm]	Gage R&R
Takalukituksen kestävyys	6.8.4.1	Etäisyys [mm]	Gage R&R
Teljen palautusvoima	6.1.2	Voima [N]	Gage R&R
Teljen sisäänvetomomentti painikkeen vääntiöstä	6.10.3	Momentti [Nm]	Gage R&R
Sulkeutumisvoima	6.4.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Vinoteljen kulutustesti	6.3.1.1	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Snibin kulutustesti	6.3.3	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Vinoteljen sivuttaisvoima	6.2.1	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Takalukitusmekanismin lujuus	6.11.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Telkitoiminnon lujuus	6.11.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Hakateljen vetotesti	6.8.5	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Hakateljen takalukitusvoima	6.8.6	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Korroosiotesti	6.7	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu

Taulukko 14. Mekaanisestitoimivien lukkorunkojen vuositestit.

Kuten yllä olevasta taulukosta voi nähdä, niin lukkorungoille tehdään paljon erilaisia ja tyyppisiä testejä. Monet näistä testeistä ovat sen tyyppisiä, että ne ovat toistettavissa samalle testattavalle yksilölle ja soveltuvat näin ollen erin omaisesti Gage R&R -menetelmälle. Takateljen käyttömomentti, painikkeen palautusmomentti ja teljen sisään vetomomentti painikkeen vääntiöstä mittauksissa mitataan lukkorungon toimintamomentteja ilman ulkoista kuormitusta. Teljen käyttömekanismin lujuusmittauksessa puolestaan mitataan teljen liikuttamiseen tarvittavaa vääntömomenttia ulkoisen kuormituksen jälkeen. Myös korroosiotestin jälkeen tehtävät momenttimittaukset, joilla todennetaan tuotteen toiminta testin jälkeen. Kaikki momenttimittaukset lukkorungoille tehdään, joko avainaukosta, tai painikeaukosta. Standardissa SFS-EN 12209:2016 löytyy sivulta 11 kuva 4, jossa selvennetään avainaukosta tehtävää momenttimittausta ja saman standardin sivulla 12 olevassa kuvassa 5 on puolestaan esitelty painikeaukosta tehtävät mittaukset. Momentin mittausmenetelmä on aina sama riippumatta siitä, tehdäänkö mittaus ennen tai jälkeen jonkin toisen testin. Mittausmenetelmä pysyy myös samana riippumatta siitä, mikä lukkorunkomalli on kyseessä eikä siihen vaikuta myöskään se, onko tuotteessa suora- vai koukkutelki. Näin ollen näiden testien mittausepävarmuus riippuu täysin momentin mittausmenetelmän mittausepävarmuudesta. Tästä syystä momentinmittauksen mittausepävarmuuden määrittäminen tehdään yhdelle valitulle lukkorunkomallille ilman altistusta kuormittaville testeille. Näin saadaan varmistettua, ettei mitkään muut tekijät vaikuta mittaustuloksiin.

Momenttimittausten lisäksi myös takalukitusteljen ulkoneman mittaus ja takalukitusteljen kestävyystestin etäisyyden mittaukset soveltuvat hyvin Gage R&R -menetelmälle. Takateljen ulkoneman mittauksessa mitataan sitä, että tuleeko telki riittävästi ulos lukkorungon rintalevystä. Takalukitusteljen kestävyys testissä puolestaan mitataan samaa teljen ulostuloa siihen kohdistetun ulkoisen kuormituksen jälkeen. Suoratelkisillä lukkorungoilla etäisyyden mittaushetki on esitetty standardin SFS-EN 12209:2016 sivulla 17 olevassa kuvassa 9 ja koukkutelkisten lukkorunkojen teljen ulostulonmittauskohta löytyy kyseisen standardin sivulta 18 kuvasta 10. Etäisyyden mittaamisen menetelmään ei vaikuta se, onko tuote altistettu ulkoiselle kuormitukselle vai ei. Näin ollen mittausepävarmuuden määrittämiseen tehtävät mittaukset kannattaa toistaa vain

kuormittamattomille tuotteille, jottei tuloksiin tule vaihtelua muista tekijöistä. Sen sijaan teljen malli voi vaikuttaa mittaustuloksiin. Tästä syystä mittaukset tehdään yhdelle suoratelkiselle lukkorunkomallille ja yhdelle koukkutelkiselle lukkorunkomallille.

Momenti- ja etäisyysmittausten lisäksi mittausepävarmuus voidaan määrittää Gage R&R -menetelmällä myös teljen palautusvoiman mittaukselle. Periaatekuva teljen palautusvoiman mittaukselle löytyy standardin SFS-EN 12209:2016 sivulta 9 kuvasta 1. Tähänkään mittausmenetelmään ei vaikuta tuotemallit, joten voimamittauksen mittausepävarmuuden määrittäminen kannattaa tehdä yhdellä valitulla lukkorunkomallilla.

Vaikka vain harva lukkorunkojen voimatesteistä on tuotetta rikkova, ne ovat luonteeltaan sellaisia, että niissä tuotetta kuormitetaan tietyllä voimalla, jonka jälkeen todetaan tuotteen toimivuus. Tällaisen testin tuloksesta ei voida määrittää mittausepävarmuutta.

#### **4.1.7 Sähkötoimisten lukkorunkojen testaus**

Kuten alta löytyvästä taulukosta 15 voi nähdä, niin sähkötoimisille lukkorungoille tehdään hyvinkin erityyppinen vuositestaus verrattuna mekaanisestitoimiviin lukkorunkoihin. Käytännössä ainoat toisiaan vastaavat testit näissä tuoteryhmissä ovat osa olosuhdetesteistä sekä kulutustestit. Taulukon 15 testit ovat kerätty testausohjeista EN 14846 Puolivuositestausohje ja EN 14846 Vuositestausohje. Taulukon ensimmäisessä osassa on testit EN 14846 standardista ja viitaukset sen kappaleisiin ja jälkimmäisessä osassa lujuustestit ovat mekaanisten lukkorunkojen standardista EN 12209.

<b>Testi</b>	<b>Standardin EN 14846 kappale</b>	<b>Tulos [yksikkö]</b>	<b>Analysointi</b>
Lämpötilatesti -25°C	6.7.2.1	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Lämpötilatesti +70°C	6.7.2.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Syklinen kosteustesti	6.7.3	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Korroosiotesti	6.7.1	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Suoran teljen vääntömomentti	6.2.2	Momentti [Nm]	Gage R&R
Vinoteljen kestävyysmittaus	6.2.3	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Uudelleen salpautumistesti	6.4.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Suoran teljen kulutustesti	6.3.3.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Vinoteljen turvallisuustesti	6.2.1	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
RF – sietotesti	6.10.4	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
ESD yksittäispurkaus	6.10.5	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
ESD sarjapurkaus	6.10.6	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Jännitteen alenema	6.10.1	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
EFT ja surge	6.10.3	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Kaapelin manipulointisesti	6.10.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
<b>Testi</b>	<b>Standardin EN 12209 kappale</b>	<b>Tulos [yksikkö]</b>	<b>Analysointi</b>
Suoran teljen sivuttaislujuus	6.8.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Suoran teljen takalukituslujuus	6.8.4.1	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Hakateljen vetotesti	6.8.5	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Hakateljen takalukinnan poisto	6.8.6	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu

Taulukko 15. Sähkölukkorunkojen vuositestit.

Ainoa testi sähkötoimisille lukkorungoille, jolle voidaan määrittää mittausepävarmuus tämän työn puitteissa, on tuotteille tehtävä toiminnallinen testaus, jotka tehdään tuotteille olosuhdetestien jälkeen. Suoran teljen vääntömomenttisesti niimitäin sisältyy myös toiminnallisuuden testaukseen. Sähkötoimisten lukkorunkojen momenttimittaukset tehdään samalla tavalla ja täysin samalla menetelmällä, kuin mekaanisestikin toimiville lukkorungoille. Näin ollen sähkötoimisille lukkorungoille ei ole tarvetta toistaa momentin mittauksia, koska momentin mittausmenetelmän mittausepävarmuus tulee jo määritettyä mekaanisestitoimivien lukkorunkojen mittausten yhteydessä.

#### **4.1.8 Poistumistieovituotteiden testaus**

Poistumistieovituotteille on olemassa kaksi harmonisoitua standardia. Ne ovat EN 179, joka kattaa painikkeella tai työntölevyllä avattavat poistumisovien poistumislaitteet ja EN 1125 joka puolestaan kattaa avauspuomilla avattavat poistumisovien lukkolaitteet. Poiketen edellisistä lukkorunkojen standardeista nämä kaksi poistumistietuotteiden standardia käsittelee kokonaisuuksia, joihin kuuluu useampi tuote. EN 179 käsittelee kokonaisuutta, jossa on mukana lukkorunko ja painike tai työntölevy ja EN 1125 kokonaisuutta, jossa on lukkorungon lisäksi mukana avauspuomi. Testit molemmissa standardeissa ovat samanlaiset, mutta testattavat tuotekokonaisuudet erilaiset. Taulukkoon 16 on kerätty edellä mainittujen standardien testejä seuraavista Abloyn testausohjeista:

- EN 179 – EN 1125 – EN 179 Puolivuositestausohje
- EN 179 – EN 1125 – EN 179 Vuositestausohje
- EN 1125 – EN 179 – EN 1125 Puolivuositestausohje
- EN 1125 – EN 179 – EN 1125 Vuositestausohje

Standardit EN 179 ja EN 1125 ovat synkronoitu siten, että taulukon 16 viitaukset testeistä soveltuvat molemmille standardeille. Esimerkiksi kulutustestin kuvaus löytyy molemmista standardeista kappaleesta 6.3.4.

Testi	Standardin EN 1125 kapale	Tulos [yksikkö]	Analysointi
Lämpötilatesti +60°C	6.2.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Lämpötilatesti -20°C	6.2.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Korroosiotesti	6.2.3	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Kulutustesti	6.3.4	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Ilkivaltatesti	6.3.5	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Lukituslujuus	6.3.7	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Avasvoiman testaus	6.2.3.3	Voima [N]	Gage R&R

Taulukko 16. Poistumistietuotteiden vuositestit.

Osana useita muita testejä, sekä EN 179 ja EN 1125 standardissa on lukkokonaisuuden avausvoiman testaus. Siinä mitataan lukkorungon avaamiseen tarvittava voima painikkeesta, työntölevystä tai puomista avattaessa. Avausvoiman mittaaminen painikkeesta ja työntölevystä on esitetty standardissa SFS-EN 179:2008 sivulla 22 olevassa kuvassa 7. Hätäpoistumistiepuomin rakenne on nähtävissä kuvasta 5. Puomista avausvoima mitataan kolmesta eri kohtaa. Keskeältä ja vähintään 25 mm etäisyydeltä kummastakin päästä. Standardin SFS-EN 1125:2008 sivulla 23 olevasta kuvassa 10 on nähtävissä puomien avausvoimat oven ollessa kuormittamattomana ja kuormitettuna.



Kuva 5. Hätäpoistumistiepuomi.

#### 4.1.9 Ovijärjestelmätuotteiden testaus

Ovijärjestelmä tuotteille on kolme eri standardia riippuen sulkimien toiminnasta ja siitä minkälaisiin oviin ne ovat tarkoitettu. Standardi EN 1154 on säädettävälle ovensulkimille, EN 1155 sähköisesti ohjatuille auki pitolaitteille ja EN 1158 pariovitahdistuksen omaaville tuotteille. Taulukon 17 testit ovat kerätty seuraavista Abloyn testausohjeista:

- EN 1154 Vuositestauksen testausohje korroosiotesti
- EN 1154 Vuositestauksen testausohje kulutustesti
- EN 1154 Vuositestauksen testausohje lämpötilatesti
- EN 1155 + EN 1158 testausohje korroosiotesti
- EN 1155 + EN 1158 testausohje kulutustesti
- EN 1155 testausohje korroosiotesti
- EN 1155 testausohje kulutustesti

Testi	Standardin EN 1154 kappale	Tulos [yksikkö]	Analysointi
Korroosiotesti	7.4.3	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Sulkeutumismomentin mitaus 0°-4°	7.4.2	Momentti [Nm]	Gage R&R
Sulkeutumismomentin mitaus 88°-92°	7.4.2	Momentti [Nm]	Gage R&R
Sulkeutumismomentin mitaus muut aukaisukulmat	7.4.2	Momentti [Nm]	Gage R&R
Kulutustesti	7.3	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Minimi sulkeutumisaika	7.3.4.3	Aika [s]	Gage R&R
Maksimi sulkeutumisaika	7.3.4.3	Aika [s]	Gage R&R
Sulkeutumisen ylikuormituksen testaus	7.3.4.4	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Lämpötilatesti +40°C	7.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu
Lämpötilatesti -15°C	7.2	Hyväksytty/Hylätty	Ei sovellu

Taulukko 17. Ovijärjestelmien vuositestit.

## 4.2 Testien Gage R&R -analysoinnit

Edellisissä luvuissa analysoiduista tuoteryhmistä ja niille tehtävistä testeistä Gage R&R -analyysille soveltuvia testejä löytyi seuraaville tuoteryhmille:

- Saranat
- Painikkeet
- Mekaanisestitoimivat lukkorungot
- Sähköisestitoimivat lukkorungot
- Poistumisovituotteet
- Ovijärjestelmät.

Gage R&R-analysoinnit toteutettiin lukkorungoille. Nämä valikoitiin siksi, että ne ovat kaikkein kriittisimmät tuoteryhmät, koska ne kuuluvat velvoittavien standardien piiriin. Lisäksi valintoihin vaikutti tuotteiden saatavuus. Esimerkiksi jousipalautteisia painikkeita ei valmisteta omassa tehtaassa, vaan ne tulevat tilausta vastaan alihankinnasta. Pelkästään näitä testejä varten tuotteiden hankkiminen ei olisi ollut järkevää. Tästä syystä niiden Gage R&R-analysoinnit tehdään myöhemmin seuraavien vuositestien yhteydessä ja ne jätetään tämän työn ulkopuolelle. Samoin muilla tuoteryhmillä mittausepävarmuuksien analysoinnit voidaan helposti toteuttaa vuositestien yhteydessä, koska tässä työssä on jo kerättyä soveltuvat testit.

Kaikki Gage R&R mittausepävarmuuden määrittäykset tehtiin käyttämällä Gage R&R ristikkäistä menetelmää, jossa eri operaattorit mittasivat ristiin samoja kappaleita. Kaikissa mittauksissa oli mukana kolme operaattoria, jotka mittasivat kolme kertaa kutakin tuoteyksilöä.

Mittaustulokset kerättiin taulukoihin, joista sitten saatiin laskettua kullekin testitulokselle mittausepävarmuuden arvo käyttäen kappaleessa 2.2.2 esiteltyjä kaavoilla 1–9. Näillä kaavoilla Gage R&R -mittausten tuloksista on laskettu jokaiselle mittaukselle seuraavat mittausepävarmuuden arvot:

- kokonaismittausepävarmuus RR%
- mittalaitteesta johtuva vaihtelu tuloksissa EV%
- mittausoperaattorista johtuva vaihtelu tuloksissa AV%

- mitatuista kappaleista johtuva vaihtelu tuloksissa PV%.

Mittausepävarmuudenhan tuli olla alle 10 %:a toleranssialueesta, jotta mittaus-  
tapaa voidaan pitää riittävän tarkkana. Jos tulos on välillä 10 % - 30 %:a, niin  
tällöin mittaustapaa voidaan pitää riittävän tarkkana poikkeustapauksissa. Jos  
kokonaismittausepävarmuus on yli 30 %:a, niin tällöin mittaustapaa ei voida pi-  
tää luotettavana missään tapauksissa. Mittaustulokset syötettiin myös Minitab-  
ohjelmaan, jossa niille tehtiin Gage R&R -analyysi. Tulosten tarkempi analyysi  
ja vertailu keskenään on tehty luvussa 5.

#### **4.2.1 Mekaanisestitoimivien lukkorunkojen testauksen Gage R&R**

Mekaanisestitoimiville lukkorungoille voidaan tehdä viisi Gage R&R mittausepä-  
varmuuden määrittelyä. Teljen aukaisumomentin mittaukselle ovisylinteriaukon  
kautta ja aukaisumomentin mittaukselle painikeaukon kautta, sekä suoran- ja  
koukkuteljen ulkoneman mittauksille ja teljen palautusvoimamittaukselle. Mo-  
lemmat momentin ja teljen palautusvoiman mittaukset tehtiin viidelle kappaleelle  
LC190 lukkorunkoa, jotka oli kerätty satunnaisesti tuotannosta eri tuotan-  
toeristä. Tuotannon aikana tuotteille ei tehdä näitä mittauksia, vaan näitä arvoja  
seurataan nimenomaan näillä vuositesteillä. Tästä syystä tuotteista ei voitu vali-  
koida mukaan mahdollisia toleranssialueen ääripää tuotteita. Tämä jättää Gage  
R&R -mittaukseen tuntematonta epävarmuutta. Koukkutakalukitus-  
teljen ulostulon mittaus tehtiin viidelle kappaleelle LC306 lukkorunkoja ja suoran takalukitus-  
teljen mittaus viidelle kappaleelle 4192 lukkorunkoja. Myöskään tätä telkien  
ulostulon mittaa ei mitata osana tuotantoprosessia, joten näidenkään tuotteiden  
kohdalla ei voitu valikoida mittauksiin mukaan mahdollisten vaihtelujen ääri-  
päitä. Lisäksi lukkorungot valmistetaan pääsääntöisesti vain asiakastilauksesta,  
joka rajoittaa yksittäisten testikappaleiden saatavuutta. Tästä syystä mukaan ei  
otettu useampaa tuoteyksilöä.

Kaikki mittaukset suoritettiin siten, että mittaaja 1 laittoi mitattavan lukkorungon kiinni ruuvipenkkiin ja suoritti mittauksen momentti-, voima- tai työntömitalla, jonka tulos kirjattiin taulukkoon. Seuraavaksi mittaaja 1 irrotti lukkorungon ruuvipenkistä ja lasi sen pöydällä. Tämän jälkeen mittaaja 2 asensi lukkorungon ruuvipenkkiin ja suoritti mittauksen. Samalla tavalla toimittiin mittaajan 3 kohdalla, kunnes kaikki olivat mitanneet saman lukkorungon kolme kertaa. Tämän jälkeen otettiin uusi lukkorunko mitattavaksi. Näin toimittiin jokaisen mittatavan lukkorungon kohdalla. Tällä tavalla toimimalla saatiin mittaukseen mukaan kaikki mahdolliset vaihtelun lähteen. Mukaan lukien mahdollisesta lukkorungon kiinnittämisestä aiheutuvat vaihtelut.

Ensimmäisenä mitattiin lukkorungon käyttöteljen aukaisumomentti sylinteriaukosta kuvan 6 mukaisesti. Mittauksessa lukkorunko kiinnitettiin ruuvipenkkiin ja sylinteriaukkoon sopivalla päällä varustetulla momenttimittarilla lähdettiin rauhallisesti kääntämään myötäpäivään telkeä auki. Teljen liikematkalta suurin momentin arvo kirjattiin ylös. Mittari ei tallentanut automaattisesti suurinta arvoa, vaan se täytyi havaita silmämääräisesti käännön aikana. Mittarissa olisi mahdollisuus tallentaa suurin momentin arvo muistiin. Tätä toimintoa ei kuitenkaan pysty käytännössä käyttämään tässä mittauksessa. Teljen liikematkan loppuessa momenttiarvo nousee niin nopeasti, ettei siihen kerkeä reagoimaan. Tästä syystä muistiin tallentuisi aina vain momenttiarvo, joka oli kääntöä lopetettaessa teljen jo pysähtyttyä.

Seuraavaksi mitattiin lukkorungon käyttöteljen aukaisumomentti painikeaukon kautta. Mittausasetelma on nähtävissä kuvassa 7. Käytännön toteutus testin osalta oli hyvin samanlainen kuin mitä yllä kuvattiin momenttimittausta sylinteriaukosta. Ainoana erona oli, että nyt momenttimittariin oli asennettu painikeaukkoon sopiva pää, jonka avulla saatiin liikutettua samalla tavalla kuin tapahtuisi painikkeesta painettaessa.



Kuva 6. Käyttöteljen aukaisumomentin mittaus sylinteraukosta.



Kuva 7. Käyttöteljen aukaisumomentin mittaus painikeaukosta.

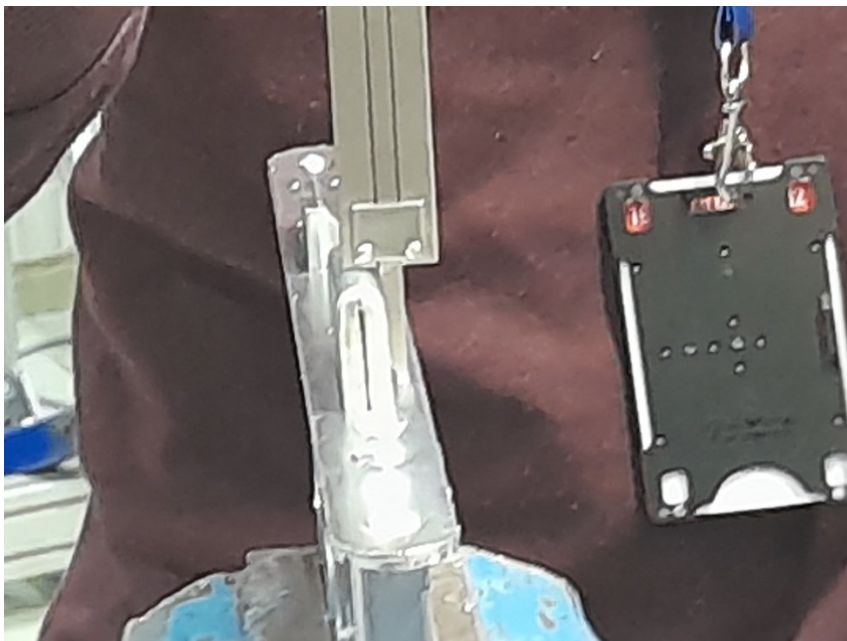
Molemmissa momentin mittauksissa käytettiin samaa momenttimittaria, joka on kuvassa 8. Mittarin valmistaja on Cedar ja sen malli on DIW-20. Momenttimittari kuuluu Abloyn kalibrointiohjelmaan, joten sen tarkkuus kalibroidaan säännöllisesti. Mittarin tarkkuus oli 0,01 Nm.



Kuva 8. Momentinmittauksessa käytetty mittari.

Seuraavaksi mitattiin suoran lukitusteljen ulostulon etäisyys. Mittauksessa lukkorunkoon asenettiin kiinni ovisylinteri, josta avaimella kääntämällä saatiin lukkotelki liikkumaan ulos ääriasentoonsa. Mittaus suoritettiin siten, että ensi käsissä lukkorunkoa pidettäessä kierrettiin avaimella lukitustelki ulos ääriasentoonsa. Tämän jälkeen lukkorunko asennettiin kiinni ruuvipenkkiin. Seuravaksi mitattiin etäisyys lukkorungon rintalevystä lukitusteljen korkeimpaan kohtaan. Varsinainen mittaus tehtiin käyttäen digitaalista työntömittaa. Kuvassa 9 on nähtävissä suoranteljen ulostulon etäisyydenmittaus ja kuvassa 10 koukkuteljen ulostulon etäisyydenmittaus. Mittauksen jälkeen lukkorunko irrotettiin ruuvipenkistä ja lukitustelki käännettiin takaisin sisään avainta apuna käyttäen. Tämän jälkeen lukkorunko annettiin seuraavalle mittaajalle, joka toisti mittauksen edellä kuvatulla tavalla.

Suoranlukitusteljen ulostulonmittauksen jälkeen mitattiin koukkuteljen ulostulonetäisyys. Mittaus suoritettiin lähes kokonaan samalla tavalla kuin edellä suoranlukitusteljen etäisyydenkin mittaus. Ainoa erona oli, että koukkuteljen liikuttaminen tehtiin ruuvimeisselillä kääntäen sylinteriaukosta.



Kuva 9. Suoranlukitusteljen ulostulon mittaus.



Kuva 10. Koukkulukitusteljen ulostulon mittaus.

Kaikki telkien ulostulon mittaukset tehtiin samalla työntömitalla. Käytetty mitta oli Mitutoyo:n Absolute, kuvassa 11. Tämäkin mittalaite kuuluu kalibrointiohjelmaan, joten mittalaitteen tarkkuus tarkastetaan säännöllisesti.

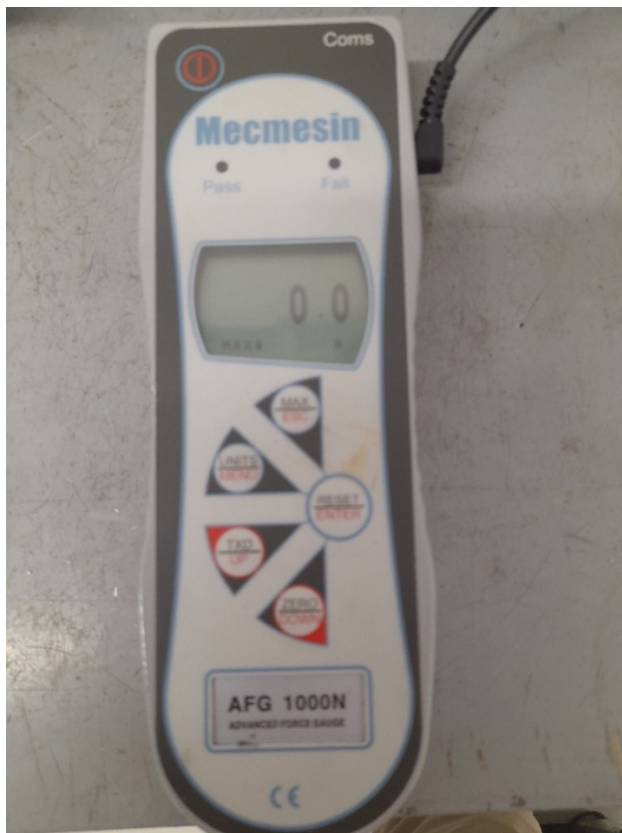


Kuva 11. Mittauksissa käytetty työntömitta.

Lopuksi vielä suoritettiin käyttöteljen palautusvoiman mittaus. Mittauksessa mitattava lukkorunko asennettiin jälleen kiinni ruuvipenkkiin. Tämän jälkeen käyttötelki työnnettiin sisään rintalevyn tasoon asti voimamittarilla. Sitten voimamittaria alettiin vetämään rauhallisesti takaisin päin käyttöteljen edestä siten, että pidettiin koko ajan kosketus voimamittarilla telkeen. Voimamittarin lukema luettiin teljen tultua ulos rintalevystä noin 2 millimetriä. Kahden millimetrin etäisyyttä ei mitattu millään, vaan se perustui mittaajan arvioon. Mittausasettelu on nähtävillä kuvassa 12.



Kuva 12. Teljen palautusvoiman mittaus.



Kuva 13. Mittauksissa käytetty voimamittari.

Teljen palautusvoiman mittauksissa käytettiin kuvan 13 mittalaitetta. Mittarin tarkkuus on 0,1 N ja maksimi mitattava voima 1 000 N. Tämäkin mittalaite on osana kalibrointijärjestelmää.

### 4.3 Testien GUM-analysoinnit

Tuoteryhmien testejä analysoitaessa aiemmin tässä työssä, GUM-analyysille soveltuvia testejä löytyi seuraaville tuoteryhmille:

- kalustelukot
- huonekalulukot
- mekaaniset riippulukot
- mekatroniset riippulukot.

GUM-analyysit suoritettiin kalustelukoille ja mekaanisille, sekä mekatronisille riippulukoille. Analyysiä tehdessä mekatroniset ja mekaanisestitoimivat riippulukot yhdistettiin. Yhdistäminen on kuvattu tarkemmin kappaleessa 4.3.2.

Huonekalulukoille sen sijaan ei pystytty määrittämään laskennallista vaihtelua, koska tuotteille tehtyjä testejä ei ole aina tehty rikkoutumiseen asti, vaan ne on aina keskeytetty, kun on saavutettu hyväksyntäraja. Näin ollen tuloksia ei ole saatavilla, kuin niistä tuotteista, jotka eivät ole täyttäneet hyväksyntärajaa. Pelkästään näistä tuloksista ei ole tarkoituksen mukaista laskea mittausepävarmuutta, koska tulos olisi vääristynyt eikä kertoisi todellista tilannetta. Tuotteiden testausohjetta on päivitetty siten, että se ohjeistaa tuotteiden testaamisen tästä eteenpäin aina rikkoutumiseen asti. Näin ollen näistäkin tuotteista alkaa kertymään pikkuhiljaa tuloksia, jolloin niistäkin voidaan määrittää myöhemmin mittausepävarmuudet käyttäen GUM-menetelmää.

Analyysien tulokset kerätiin taulukoihin, jossa on nähtävillä analyysin tuloksena saatu mittausepävarmuuden arvo, sekä käytettävissä olleiden tulosten määrästä laskettu mittausepävarmuuden luotettavuusprosentti. Luotettavuusprosentti on laskettu kappaleen 2.3.1 kaavalla 14 ja vähennetty tämä prosentti 100 prosentista. Näin ollen taulukoissa oleva luotettavuusprosentti kertoo millä todennäköisyydellä tulevienkin mittausten tulokset noudattavat samaa jakaumaa aiempien tulosten kanssa. Mittausepävarmuuden arvo laskettiin käyttäen kappaleessa 2.3.1 esiteltyjä kaavoja 10–13. Tämä mittausepävarmuuden arvo on tulosten esittelytaulukoissa muutettu suhteelliseksi arvoksi siten, että kuinka monta prosenttia mittausepävarmuuden arvo oli mittaustulosten keskiarvosta.

Tämän avulla lukija pystyy hahmottamaan mittausepävarmuuden suuruutta ilman, että tarvitsee tietää tarkkoja mittaustuloksia.

#### **4.3.1 Kalustelukkojen GUM-tulokset**

Kalustelukkojen voimatesteihin löytyi paljon tuloksia aiemmista testauksista. Käytettävien tulosten määrää lisäsi se, että vaikka tuotevariaatioita onkin paljon, niin ominaisuudet, jotka vaikuttavat näiden testien tuloksiin eivät muutu eri tuotevariaatioiden välillä. Laskennat saatiin tehtyä seuraaville testeille:

- messinkisten kalustelukkojen avainpesän kiinnityslujuudelle
- teräksisten kalustelukkojen avainpesän kiinnityslujuudelle
- messinkisten kalustelukkojen sylinterin kiinnityslujuudelle
- teräksisten kalustelukkojen sylinterin kiinnityslujuudelle
- teräksisten kalustelukkojen pintakovuudelle
- teräksisten kalustelukkojen rajakovuudelle.

Kaikki kalustelukkojen eri testien mittaustulokset, joista GUM laskelmat ovat tehty, ovat tuotetestauksen keräämiä. GUM-analyysien tulosten yleinen analysointi on tehty kappaleessa 5.2.

#### **4.3.2 Riippulukkojen GUM-tulokset**

Riippulukkojen kohdalla eri tuotevariaatioita, joita ei voida yhdistellä mittausepävarmuuksia määrittäessä testeittäin oli useita. Myös se mitä tuotevariaatioita voidaan yhdistellä, vaihteli testien välillä. Sangan veto- ja leikkaustestien kohdalla tuotteet voitiin yhdistellä tuotteen rungon koon, materiaalin ja sangan paksuuden mukaan. Sangan vääntötestissä piti lisäksi erotella tuotteet sangan pituuden mukaan, koska sangan pituudella on suuri merkitys tulosten suuruudessa. Mekaaniset ja mekatroniset riippulukot on yhdistetty mittausepävarmuuksia määriteltäessä, sellaisissa tapauksissa, joissa mekatronisten riippulukkojen tulokset olivat mekaanisten riippulukkojen tulosten hajonnan sisällä. Pelkästään mekatronisille riippulukkoille testituloksia oli sen verran vähän, että

niiden tulosten analysoinnilla ei olisi ollut juurikaan minkäänlaista luotettavuutta. Muutenkin näiden analysointien ulkopuolelle jätettiin harvinaisemmat riippulukkomallit, koska niille ei löytynyt tarpeeksi testituloksia historiasta.

## **5 Määritettyjen mittausepävarmuusien analysointi**

### **5.1 Gage R&R-tulosten analysointi**

Tässä luvussa on analysoitu tarkemmin edellisessä luvussa esiteltyjen mittausepävarmuuksien määritysten tuloksia. Arvioinneissa on arvioitu pelkästään mittaustapahtumaa ja sen epävarmuutta. Tuloksia ei ole verrattu standardien tuotekohtaisiin hyväksyntärajoihin. Nämä tulokset kertovat vain mittaustulosten luotettavuudesta, eivätkä tuotteiden kyvykkyydestä.

Tarkkoja Gage R&R -tuloksia ei julkaista tässä tekstissä, koska ne ovat tarkoitettu vain Abloy sisäiseen käyttöön. Mekaanisten lukkorunkojen teljen aukaisumomentin, sekä suoran ja koukkuteljen ulostulon mittausten tuloksista tehtiin mittausepävarmuuden laskenta kahdella eri Gage R&R tavalla. Teoriaosassa esiteltyjen laskentakaavojen avulla, sekä käyttämällä Minitab-laskentaohjelmaa. Näin pystyttiin myös hiukan arvioimaan sitä, onko Gage R&R -tulokset yhteeneväisiä riippumatta käytetystä laskentamenetelmästä.

Tiivistettynä mekaanisten lukkorunkojen mittausten Gage R&R -analysoinneista voidaan sanoa, että mittausmenetelmät eivät ole kovinkaan kyvykkäitä ja suorituskykyisiä. Tämä ei kuitenkaan ollut yllätys, vaan pikemminkin varsin odotettu tulos. Yleisesti ottaen käsimittalaitteilla ilman mitään erityisiä apuvälineitä, joilla mittaustapahtumaa voidaan yrittää vakiodia, saatuja tuloksia pidetään enemmänkin suuntaa antavina, eikä niiden pohjalta voida välttämättä tehdä kovinkaan pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Lähes kaikissa mittauksissa suurin mittausepävarmuuden aiheuttaja oli toistettavuuskomponentti eli AV-prosentti, joka kertoi vaihtelun suuruudesta eri mittausoperaattoreiden välillä. Tämäkin on hyvin odotettu ja tyypillinen tulos tämän tyyppisille mittauksille. Mittalaite itsessään

on riittävän tarkka, mutta koska mittaustapahtumaa ei ole varsinaisesti vakioitu, niin tämän takia mittaustulokset vaihtelevat suurestikin eri operaattoreiden välillä.

Mekaanisten lukkorunkojen mittauksien mittausepävarmuuksia saataisiin todennäköisesti pienennettyä suunnittelemalla ja tekemällä apuvälineitä, joiden avulla mittaustapahtumia saataisiin vakioitua. Apuvälineiden avulla voitaisiin esimerkiksi vakioida mittauskohta ja mittalaitteen asemointi suhteessa mitattavaan kappaleeseen. Ongelmana tässä kuitenkin on se, että nykyiset mittaustavat vastaavat EN-standardeissa määriteltyjä mittausmenetelmiä. Lisäksi nykyiset mittausmenetelmät ovat hyväksytyt ulkopuolisten akreditoitujen testauslaitosten toimesta. Tästä syystä muutoksien tekoa mittausmenetelmiin tulee harkita tarkasti, vaikka ne Abloylla nähtäisiinkin parannuksina. Jos mittausmenetelmiin lähdetään tekemään muutoksia, tulisi ne ensin käydä lävitse ja hyväksyttää eri hyväksyntälaitosten kanssa ennen käyttöönottoa. Mittaustavat ja -menetelmät eivät saa olla liian erilaiset verrattuna hyväksyntälaitosten käyttämiin menetelmiin, jotta tulokset ovat riittävän vertailukelpoisia.

Verrattaessa keskenään laskettuja ja Minitab:n antamia Gage R&R -tuloksia, niin niistä voidaan sanoa, että ne olivat saman suuntaisia ja antoivat mittauksista saman kaltaiset tulokset. Vaikka prosenteissa heittoa saattoi olla yli kymmenenkin prosenttia, niin erot tuloksissa olivat kuitenkin aina sellaisia, etteivät ne aiheuttaneet ristiriitoja vertailtaessa mittausmenetelmän kyvykkyyttä, vaan luokittelu oli aina sama molemmilla Gage R&R -laskennoilla. Lisäksi vertailtaessa toistettavuuden ja toistuvuuden lukuarvoja keskenään, nekin olivat saman suuntaisia eri mittauksien kohdalla. Tulevaisuudessa Gage R&R -tutkimukset kannattaa suorittaa käyttäen Minitab-ohjelmaa, koska siitä saa helpommin tarkemmat ja monipuolisemmat tulokset, kuin mitä on mahdollista saada aikaiseksi itse laskemalla. On kuitenkin erittäin hyödyllistä ymmärtää laskentaperiaatteet Gage R&R -analyysin taustalla. Tällöin on huomattavasti helpompi analysoida saatuja tuloksia, sekä ymmärtää mitkä tekijät vaikuttavat Gage R&R -analyysin tuloksiin. Näin ollen on helpompi myös lähteä tekemään korjauksia itse mittaustapahtumaan, kun ymmärtää kokonaisuuden riittävän syvällisesti. Näin ollen suosittelenkin vahvasti kaikille, jotka ovat tekemisessä

Gage R&R -analysointien kanssa perehtymään sen laskennan teoriaan, ennen kuin lähtevät tekemään itse analysointeja ja parannuksia mittausmenetelmiin.

## 5.2 GUM-esimerkkilaskenta

Seuraavan luvun tulokset on saatu laskemalla ne tämän esimerkin mukaisesti. Luvussa 2.3.1 sivulla 19 alkaen löytyy tarkempi kuvaus GUM-laskennasta. Tässä luvussa lyhyt esittely laskennasta, jotta olisi helpompi hahmottaa kuinka seuraavan luvun taulukoiden arvot on saatu laskettua.

Käsiteltävien mittaustuloksien arvot ovat 280 Nm, 263 Nm ja 272 Nm. Ensimmäiseksi näistä lasketaan keskiarvo, joka on 271,67 Nm. Keskiarvon jälkeen lasketaan tulosten varianssi seuraavasti:

$$\frac{1}{3-1} * [(280Nm - 271,67Nm)^2 + (263Nm - 271,67Nm)^2 + (272Nm - 271,67Nm)^2]$$

$$= 72,35Nm^2$$

Tämän jälkeen varianssi jaetaan testitulosten määrällä  $72,35Nm^2 / 3 = 24,12 Nm^2$ . Lopuksi tästä osamäärästä otetaan neliöjuuri, jolloin mittausepävarmuuden arvoksi saadaan 4,9 Nm. Seuraavan luvun taulukoissa tämä mittausepävarmuuden arvo on muutettu prosenteiksi suhteessa tulosten keskiarvoon. Eli tässä tapauksessa  $4,9 Nm / 271,67 Nm * 100 \% = 1,8 \%$ . Tämä on tehty siksi, että huolimatta eri suuruista arvoista esimerkiksi riippulukkojen sangan veto-testissä eri tuotekokojen ja -variaatioiden välillä, tuloksia voidaan käsitellä testi kohtaisesti eikä kaikille variaatioille tarvitse luokitella omaa mittausepävarmuutta.

### 5.3 GUM-tulosten analysointi

Taulukossa 18 on esiteltynä kalustelukkojen GUM-analysointien tulokset. Taulukossa GUM-menetelmällä saatu mittausepävarmuuden arvo on annettu prosentteina suhteessa kyseisen testin kaikkien tulosten keskiarvoon. Luotettavuus sarakkeessa on luvun 2.3.2 kaavalla laskettu tulosten luotettavuusprosentti. Kuten taulukosta nähdään, on tulosten luotettavuus varsin hyvällä tasolla, johtuen suuresta määrästä testituloksia. Testitulokset ovat olleet myös hyvin johdonmukaisia ja hajonta kohtalaista, koska myös mittausepävarmuusprosentit ovat hyvällä tasolla. Suurimmillaankin vain viiden prosentin heitto testitulosten keskiarvoon nähdessä. Näistä luvuista voi tehdä sen johtopäätöksen, että kalustelukkojen testituloksiin voidaan luottaa ja sekä tuotteet, että testaus ovat hyvällä tasolla.

Testi	Mittausepävarmuus	Luotettavuus	Testitulosten lukumäärä
Messinkisten kalustelukkojen avainpesän kiinnityslujuus	2,6 %	91 %	58 kpl
Teräksisten kalustelukkojen avainpesän kiinnityslujuus	4 %	80 %	14 kpl
Messinkisten kalustelukkojen sylinterin kiinnityslujuus	1,5 %	92 %	86 kpl
Teräksisten kalustelukkojen sylinterin kiinnityslujuus	1,3 %	85 %	23 kpl
Teräksisten kalustelukkojen pintakovuus	1,2 %	82 %	16 kpl
Teräksisten kalustelukkojen rajakovuus	5,1 %	82 %	16 kpl

Taulukko 18. Kalustelukkojen testitulosten mittausepävarmuudet ja luotettavuudet.

Seuraavaksi analysoidaan riippulukkojen sanganvetotestin GUM-analyysin tuloksia. Sanganvetotestin analyysin tulokset ovat taulukossa 19. Myös tämän testin mittausepävarmuusarvot ovat kohdallaan ja pääsääntöisesti myös tulosten luotettavuusprosentit. Ainoana selkeänä poikkeuksena on PL350 sarjan riippulukkojen luotettavuus, joka ei ole kuin 59 %. Tähän kokoluokkaan oli selkeästi vähemmän tuloksia saatavilla, kuin pienemmille riippulukkoille. Pieni mittausepävarmuuden prosentti kertoo kuitenkin sen, että nämä vähätkin tulokset ovat olleet hyvin linjassaan. Jos mittausepävarmuuden prosentti olisi ollut iso, niin se olisi kertonut siitä, että tuloksissa olisi ollut suurta hajontaa. Tämä hajonta olisi voinut johtua, joko tuotteiden laadun vaihtelusta, tai testaustavan epäluotettavuudesta. Nyt kun mittausepävarmuuden arvo on pieni, niin tuloksiin voidaan luottaa, vaikka testaushistoriaa on vähemmän verrattuna muihin riippulukkoihin.

Testi	Mittausepävarmuus	Luotettavuus	Testitulosten lukumäärä
PL320, PL321, PLL320 (messinkirunko, sangan paksuus Ø5 mm)	4,1 %	79 %	12 kpl
PL330, PLI330, PLM330, PLLW330 (messinkirunko, sangan paksuus Ø8 mm)	2,7 %	83 %	18 kpl
PL341, PLLW341 (messinkirunko, sangan paksuus Ø10 mm)	3,5 %	73 %	8 kpl
PL340, PLI340, PLM340, PL342, PLLW340 (teräsrunko, sangan paksuus Ø10 mm)	4,3 %	84 %	20 kpl
PL350, PLI350, PLM350 (teräsrunko, sangan paksuus Ø14 mm)	1,5 %	59 %	4 kpl

Taulukko 19. Riippulukkojen sanganvetotestin mittausepävarmuudet ja luotettavuudet tuoteryhmille.

Toisena riippulukkojen testien tuloksista ovat vuorossa sanganvääntötestin tulokset. Nämä tulokset jatkavat samaa linjaa edellisten analysointien kanssa. Taulukosta 20 nähdään, että myös tässä testissä mittausepävarmuuden lukeumat ovat hyvällä tasolla. Myös tulosten luotettavuusprosentti on vähintäänkin kohtalaisella tasolla. Tämän testin tulosten luotettavuutta laskee se, että tuotekategorioita tuli paljon enemmän verrattuna muihin riippulukkojen testeihin. Näin ollen testituloksia kertyy huomattavasti hitaammin. Alhaiset mittausepävarmuuksien arvot kuitenkin parantavat kokonaisuudessa tulosten uskottavuutta samalla tavalla, kuin todettiin edellisen testin tuloksia analysoitaessa.

Testi	Mittausepävarmuus	Luotettavuus	Testitulosten lukumäärä
PL320, PL321 (sangan Ø5 mm ja pituus 20 mm)	2,2 %	71 %	7 kpl
PL320, PL321, PLL320 (sangan Ø5 mm ja pituus 50 mm)	0,6 %	68 %	6 kpl
PL330, PLI330, PLM330, PLLW330 (sangan Ø8 mm ja sangan pituus 25 mm)	1,6 %	73 %	8 kpl
PL330, PLI330, PLM330, PLLW330 (sangan Ø8 mm ja sangan pituus 50 mm)	3,4 %	80 %	14 kpl
PL341, PLLW341 (sangan Ø10 mm ja sangan pituus 25 mm)	1,8 %	59 %	4 kpl
PL341, PLLW341 (sangan Ø10 mm ja sangan pituus 50 mm)	2,3 %	79 %	12 kpl
PL340, PLI340, PLM340, PL342, PLLW340 (sangan Ø10 mm ja sangan pituus 25 mm)	1,5 %	76 %	10 kpl

PL340, PLI340, PLM340, PL342, PLLW340 (sangan Ø10 mm ja sangan pituus 50 mm)	1,3 %	82 %	17 kpl
PL350, PLI350, PLM350 (san- gan Ø14 mm ja sangan pituus 25 mm)	4,1 %	68 %	6 kpl
PL350, PLI350, PLM350 (san- gan Ø14 mm ja sangan pituus 50 mm)	1,4 %	76 %	10 kpl
PL362 (sangan Ø15 mm ja sangan pituus 25 mm)	3,5 %	80 %	14 kpl

Taulukko 20. Riippulukkojen sanganvääntötestin mittausepävarmuudet ja luotettavuudet tuoteryhmille.

Viimeisenä GUM-analyysien tuloksista käsitellään riippulukkojen sangan leikkaustestin analyysin tulokset. Myös tämä viimeisen testin analyysin tulokset noudattavat samaa trendiä aikaisemmin käsiteltyjen tulosten kanssa. Mittausepävarmuuden arvot ovat pieniä ja luotettavuus arvotkin hyviä, yhtä poikkeusta lukuun ottamatta. Jälleen PL350 sarjan riippulukoille oli vähemmän testituloksia. sangan leikkaustestin GUM-analyysin tulokset ovat taulukossa 21.

Testi	Mittausepävarmuus	Luotettavuus	Testitulosten lukumäärä
PL320, PL321, PLL320 (sangan Ø5 mm)	2,1 %	76 %	10 kpl
PL330, PLI330, PLM330, PLLW330 (sangan Ø8 mm)	0,9 %	83 %	18 kpl
PL341, PLLW341 (sangan Ø10 mm)	1,3 %	73 %	8 kpl
PL340, PLI340, PLM340, PL342, PLLW340 (sangan Ø10 mm)	0,8 %	84 %	20 kpl
PL350, PLI350, PLM350 (sangan Ø14 mm)	0,0 %	50 %	3 kpl

Taulukko 21. Riippulukkojen sangan leikkaustestin mittausepävarmuudet ja luotettavuudet tuoteryhmille.

## 6 Mittausepävarmuuksien huomioiminen testausstrategiassa

### 6.1 Gage R&R -analysoinnit testausstrategiassa

Tämän työn puitteissa hyödynnettiin Gage R&R -analyysia ensimmäisen kerran tuotetestauksen tekemiin mittauksiin. Vaikka tämän opinnäytetyön Gage R&R -analyysin tulosten pohjalta ei suoraan voida lähteä kehittämään analysoituja mittausmenetelmiä, koska ne ovat sidottuja tuotestandardeihin, silti tässä työssä tehdyistä analysoinneista saatiin arvokasta kokemusta ja oppia.

Analysoinnin pohjalta voidaan olettaa, että käsin tehtävien mittauksien tuloksissa on mukana paljonkin mittausepävarmuutta. Tämän työn oppeja voidaankin soveltaa erilaisiin mittausmenetelmiin, jotka eivät ole niin tarkkaan sidottuja standardeihin. Gage R&R -analysointeja voidaan myös soveltaa joihinkin standarditestien osa-alueisiin, vaikka itse testintulos ei suoraan olisikaan analysoitavissa. Tästä esimerkkinä voidaan käyttää riippulukkojen sangan sahaustestiä. Testin tulos on hyväksytty/hylätty eikä tuloksessa ole mitään suuretta, jota voitaisiin sinällään mitata ja analysoida Gage R&R -menetelmällä. Standardi kuitenkin määrittää, että sahanterän tiukkuuden tulee olla 1 000 Newtonia ja tällä sahanterän tiukkuudella on vaikutusta testin lopputulokseen. Tätä sahanterän tiukkuutta puolestaan voitaisiin analysoida Gage R&R -menetelmää käyttäen. Näin tulisi määritettyä se, että täyttääkö meidän testausmenetelmämme standardin sille asettaman vaatimuksen ja voimmeko luottaa meidän sahaustestien tuloksiin.

Lisäksi tämän opinnäytetyön Gage R&R -analysoinnin pohjalta voidaan luoda ohjeistus testausstrategiaan siitä, kuinka Gage R&R -analyysi tulee toteuttaa. Tässä työssä käytetty menetelmä vaikutti erittäin sopivalta käytettäväksi Abloy'n tuotetestauksen mittausepävarmuuksia määriteltäessä. Jatkossakin Gage R&R -analysoinnit tehdään seuraavasti:

- 3 mittausoperaattoria
- 3 mittauskertaa / tuote
- 5 kpl mitattavia tuotteita

- ristikkäinen mittausmenetelmä
- tulosten analysointi Minitab-ohjelmalla.

Tämän työn yhteydessä tehdyt Gage R&R -analysoinnit lukkorunkojen mittauksille kannattaa uusina käyttäen kokeneempia testiajia. Tämän jälkeen voitaisiin verrata näiden kahden Gage R&R -analyysien tuloksia. Tästä saataisiin suunta- viivoja siihen, että kuinka paljon tulokset voivat muuttua, kun tällaisia käsimit- tauksia tekee sijaistavahenkilö esimerkiksi lomien aikana. Varsinainen mittaus- ten kyvykkyyden luokittelu kannattaa tehdä käyttäen kokeneiden mittaajien tu- loksia.

## 6.2 GUM-analysoinnit testausstrategiassa

Tehtyjen GUM-analyysien tulosten perusteella voidaan sanoa, että Abloyn tuo- tetestauksen tuotetta rikkovien testien mittausepävarmuudet ovat hyvällä ta- solla. Mittausepävarmuudet eivät juurikaan vaihdelleet, vaikka analysoitavana oli täysin toisistaan poikkeavat tuoteryhmät, kalustelukot ja riippulukot. Vaihte- lua ei myöskään esiintynyt eri testien välillä saman tuoteryhmän sisällä, niin kuin näemme riippulukkojen eri testien mittausepävarmuuksista. Nämä kaikki analysoidut testit tehdään vetokoneella, joka itsessään on erittäin tarkka. Tämä osaltaan selittää pieniä mittausepävarmuuden arvoja, mutta ei kokonaan. Myös kaiken muun toiminnan testeissä täytyy olla kunnossa, jotta päästään noin pie- niin mittausepävarmuuksiin. Kappaleiden kiinnittimet ja testiajien toiminta tes- tien aikana täytyy myös olla samalla tasolla, kuin vetokoneen tarkkuus. Muussa tapauksessa mittausepävarmuudet olisivat todennäköisesti suurempia kuin nyt.

Vaikka rikkova testaustoiminta vaikuttaisikin olevan tällä hetkellä hyvällä tasolla, niin kehitettävääkin löytyy. Suositeltavaa olisi tehdä muissakin tuoteryhmissä rikkovat testit rikkoutumiseen asti, eikä keskeyttää niitä hyväksyntärajal- le. Täl- löin tuloksista nähtäisiin esimerkiksi, kuinka paljon on marginaalia hyväksyntä- rajaan. Tuloksien ollessa esimerkiksi erittäin lähellä testin hyväksyntärajan, niin tähän voitaisiin reagoida vaikkapa tuotemuutoksella tai tiukentamalla tolerans- seja. Vastaavasti, jos ollaan reilusti yli standardin määrittämän luokitusrajan,

niin tällöin voisi olla joissain tapauksissa mahdollista jopa nostaa tuotteen luokitusta. Tärkeintä anti kuitenkin testien rikkoutumiseen asti tekemisessä olisi se, että tällöin saataisiin tuloksista enemmän dataa hyödynnettäväksi. Tuloksia seuraamalla pystyttäisiin todentamaan käytännössä testitulosten vaihtelevuutta ja hajontaa. Aktiivisesti tuloksia seuraamalla voitaisiin nähdä mahdollisia trendejä testituloksista. Dataa analysoimalla voitaisiin esimerkiksi puuttua tilanteisiin, joissa tulokset alkaisivat tippumaan vuosi vuodelta. Tällöin voitaisiin aloittaa mahdollisen juurisyyn selvittäminen tulosten laskevaan trendiin, jo ennen kuin tulokset putoaisivat alle hyväksyntärajan. Näin välttyttäisiin ongelmilta sertifioineissa. Lisäksi kattavasti kerättyä historiadataa voitaisiin hyödyntää monella tavalla uusissa tuotekehitysprojekteissa. Vanhoja tuloksia voitaisiin hyödyntää esimerkiksi tuotesimuloinneissa heti projektin alkuvaiheessa. Lisäksi uuden tuotteen testituloksille olisi heti käytössä vertailutulokset, eikä niitä tällöin tarvitsisi erikseen selvittää vertailutesteillä.

Tällaista testitulosten seuraamista ja datan analysointia varten pitäisikin luoda aktiivisesti päivitettävä ja elävä dokumenttipohja, johon aina uudet testitulokset pystyttäisiin kätevästi lisäämään ja saman dokumentin avulla voitaisiin analysoida dataa ja havainnollistaa sitä. Minitab-ohjelma olisi tähän tarkoitukseen erittäin hyvin soveltuva. Sen avulla dataa pystyisi analysoimaan monella tavalla ja siitä olisi saatavilla selkeitä ja helposti ymmärrettäviä kaavioita. Tuotetestaus käyttää Jira-ohjelmistoa hyväksi testien seurannassa ja tulosten tallentamisessa. Tällä hetkellä testien tulokset ovat saatavilla pdf-testiraportissa, joka on liitettyinä testin Jira-tikettiin. Testitulosten kerääminen näistä raporteista on työlästä ja käsityönä tehtäessä on aina mahdollisuus virheille tuloksia siirrettäessä. Tätä helpottamaan Jiraan voisi lisätä oman kentän johon testitulokset kirjattaisiin. Tämä helpottaisi datan siirtämistä Jirasta Minitab:iin.

### 6.3 Testien luokittelu ja luotettavuus

Tämän työn puitteissa tehtyjen mittausepävarmuus selvitysten pohjalta on päätetty luokitella analysoidut testimenetelmät niiden sisältämän mittausepävarmuuden mukaan kolmeen luokkaan seuraavasti:

- Tarkka - mittausepävarmuus 0–5 %:a.
- Luotettava – mittausepävarmuus 5–10 %:a.
- Epätarkka – mittausepävarmuus yli 10 %:a.

Luokittelussa käytetään hyväksi myös standardia SFS-EN ISO 14253-1. Standardissa on esitelty kuinka mittausepävarmuuden mukaan, voidaan mitoille asettaa suojarajat. Näiden suojarajojen avulla voidaan varmistaa, että hyväksytyt kappaleet ovat riittävällä todennäköisyydellä hyväksytyjä ilman, että ne mittausepävarmuuden takia olisivatkin todellisuudessa alle hyväksyntärajan. Standardin kuvassa 3 sivulla 11 voidaan nähdä suojarajojen asettelu siten, että mittausepävarmuusalue on keskitetty hyväksyntärajaan. Tätä periaatetta hyväksi käyttäen voidaan testejä luokitellessa määrittellä niille myös sopivat suojarajat. Tällöin esimerkiksi tarkaksi luokitellessa mittauksessa, jonka mittausepävarmuus on alle 5 %:a, täytyy standardin määrittämään hyväksyntäraja-arvoon lisätä 2,5 %:a ja käyttää tästä saatua lukuarvoa testin hyväksyntärajana. Luotettaviksi luokitetuilla testeillä suojaraja on puolestaan 5 %:a ja epätarkoille testeille se on 10 %:a. Näin tehdessä ei vahingossa mittausepävarmuuden takia hyväksytä kappaleita, jotka eivät todellisuudessa täytäkään vaatimuksia.

Varsinainen luokittelu tehtiin käyttäen luvussa 5.2 esiteltyjä tuloksia. Luokittelussa käytetään vertailulukuna testin mittausepävarmuuden suhdetta kaikkien testitulosten keskiarvoon nähden. Tavoiteltavaa oli, että testien luokittelu pystyttäisiin tekemään siten, että se soveltuu kaikille tuotevariaatioille samalla tavalla. Tällä tarkoitetaan sitä, että esimerkiksi kalustelukkojen avainpesän kiinnityslujuustestin luokittelu on sellainen, että se on sama riippumatta kalustelukkojen materiaalista. Tällöin luokittelu on selkeämpi ja virhetulkintojen mahdollisuus on pienempi. Taulukossa 22 on kaikki tässä työssä luokitellut testimenetelmät. Taulukosta 18 nähdään, että niin messinkisten kuin teräksistenkin kalustelukkojen avainpesän ja sylinterin kiinnityslujuuden testien mittausepävarmuudet ovat

kaikki alle 5 %:a. Näin ollen ne voidaan luokitella tarkoiksi testimenetelmiksi. Lisäksi tuotteen materiaalilla ei näyttäisi olevan merkittävää vaikutusta testin mitaepävarmuuteen, jolloin tavoitteen mukaisesti testimenetelmän luokitus on sama riippumatta tuotteen materiaalista. Kalustelukkojen kovuudenmittausta ei otettu mukaan luokitteluun, koska kovuudenmittaus kuuluu laatuorganisaatiolle.

Taulukoista 19–21 nähdään, että kaikki riippulukkojen testien mittaasepävarmuudet ovat yhteneväisesti alle 5 %:a, eikä tuotteiden materiaali eroilla tai sangan paksuuden ja pituuden vaihteluilla ole vaikutusta mittaasepävarmuuden suuruuteen. Näin ollen myös riippulukkojen testit voidaan niputtaa luokittelussa tavoitteen mukaisesti testi kohtaisesti, eikä samalle testille tarvitse tehdä useampaa luokitusta eri tuotevariaatioille.

Testi	Tuoteryhmä	Luokitus
Avainpesän kiinnityslujuus	Kalustelukot	Tarkka
Sylinterin kiinnityslujuus	Kalustelukot	Tarkka
Sangan vetotesti	Riippulukot	Tarkka
Sangan vääntötesti	Riippulukot	Tarkka
Sangan leikkaustesti	Riippulukot	Tarkka

Taulukko 22. Luokittelut testit.

Tämä luokittelu liitetään testausohjeisiin. Luokittelun avulla pystytään paremmin hahmottamaan testien tulosten paikkaansa pitävyyttä. Kun testin sisältämä mittaasepävarmuus on selkeästi ilmoitettu ja kaikkien nähtävillä, niin tällöin voidaan helposti arvioida ovatko saadut testitulokset riittävällä tasolla, jotta varmasti täytetään standardien asettamat hyväksyntäraajat. Luokittelua on helppo laajentaa myöhemmässä vaiheessa, kunhan useampien testimenetelmien mittaasepävarmuuksia saadaan selvitettyä, joko käyttämällä Gage R&R- tai GUM-menetelmää. Taulukot 23–26 voidaan liittää testausohjeisiin kunkin testin kuvauksen yhteyteen.

Testi	Tuoteryhmä	Luokitus
Testin nimitys	Tuoteperhe ja mahdolliset tarkennukset	Tarkka (mittausepävarmuus < 5 %) Standardin hyväksyntä raja + 2,5 %.

Taulukko 23. Tarkan testimenetelmän luokittelutaulukko.

Testi	Tuoteryhmä	Luokitus
Testin nimitys	Tuoteperhe ja mahdolliset tarkennukset	Luotettava (mittausepävarmuus 5–10 %) Standardin hyväksyntä raja + 5 %.

Taulukko 24. Luotettavan testimenetelmän luokittelutaulukko.

Testi	Tuoteryhmä	Luokitus
Testin nimitys	Tuoteperhe ja mahdolliset tarkennukset	Epätarkka (mittausepävarmuus >10 %) Standardin hyväksyntä raja + 10 %.

Taulukko 25. Epätarkan testimenetelmän luokittelutaulukko.

Testi	Tuoteryhmä	Luokitus
Avainpesän kiinnityslujuus	Teräs- ja messinkikalustelukot	Tarkka (mittausepävarmuus < 5 %) Standardin hyväksyntä raja + 2,5 %.

Taulukko 26. Kalustelukkojen avainpesän kiinnityslujuuden mittauksen luokittelutaulukko.

Kaikki tässä luokitellut testit saivat luokituksen tarkka. Näin ollen näiden testien hyväksyntärajoihin tulisi lisätä 2,5 %:a suojarajaa mittausepävarmuudesta takia. Eli, jos vaikka sangan väännön hyväksyntäraja on 200 Nm, niin tästä lähin hyväksyntärajana tulee käyttää 205 Nm. Tällöin voidaan olla varmoja, että tuote täyttää standardin hyväksyntärajan, vaikka saadussa tuloksessa olisikin mittausepävarmuutta mukana.

Jatkossa testimenetelmien GUM-analysointeja kannattaa laajentaa useammille testeille, kuten huonekalulukkojen rikkoville testeille, kunhan testituloksia alkaa kertymään. Lisäksi jo nyt luokiteltujen testien analyysit kannattaa tarkistaa vuosittain, jotta mahdollisiin muutoksiin mittausepävarmuuden suuruudessa

voidaan reagoida mahdollisimman nopeasti. Lisäksi tietotaidon karttuessa ja tulosten luotettavuuden edelleen parantuessa voidaan myös luokittelun portaikkoa tarkastella uudelleen siltä kantilta, että tarvitseeko esimerkiksi luokkia lisätä tai vähentää.

Testimenetelmien lisäksi testausstrategiaan nostetaan mukaan testitulosten luotettavuusluku suhteutettuna testattujen kappaleiden määrään. Tämä asia herättää aina varsinkin kehitysvaiheessa olevien tuotteiden kohdalla keskustelua ja pohdintaa siitä, kuinka monta tuotetta pitäisi testata, jotta tuloksiin voitaisiin luottaa. Tämän keskustelun tueksi voidaan nyt ottaa käyttöön tässä opinnäytetyössä esitelty luotettavuuden laskentakaava 14 sivulla 21. Mainitun kaavan avulla testausstrategiaan voidaan lisätä taulukko 27, jonka avulla voidaan määrittää testitulosten luotettavuutta suhteessa testattujen kappaleiden määrään. Tavoiteltava luotettavuustaso on aina sovittava erikseen kunkin testin ja projektin kohdalla, koska testien vaatimukset ja projektien luonteet vaihtelevat suuresti keskenään. Esimerkiksi kulutustestit ovat niin pitkäkestoisia, että niitä ei koskaan voida tehdä niin montaa, jotta saavutettaisiin luotettavuudessa kovinkaan korkeaa tasoa.

Luotettavuusluku	Testikappaleiden lukumäärä
95	200
90	51
85	24
80	14
75	9
70	7
65	5
60	4
50	3
30	2
Luotettavuusluku kertoo todennäköisyyden, jolla tulevatkin testitulokset mahtuvat tehtyjen testien mittausepävarmuuden sisään.	

Taulukko 27. Vertailutaulukko tulosten luotettavuuden arviointiin.

## 7 Yhteenveto

Tämä työ on tärkeä päänavaus Abloyn tuotetestausorganisaation toiminnassa, koska käytettävien testimenetelmien mittausepävarmuuksia ei ole aiemmin määritelty ollenkaan, eikä niitä näin ollen ole voitu huomioida toiminnassa. Tämän työn löydösten ja huomioiden pohjalta tätä analysointia voidaan jatkaa ja laajentaa kattamaan yhä useampia testimenetelmiä. Lisäksi työn avulla saatiin lisää varmuutta saatujen testitulosten oikeellisuudesta.

Tässä työssä esitellyt ja käytetyt mittausepävarmuuden määrittämisen menetelmät osoittautuivat tarkoituksiinsa soveltuviksi. Gage R&R on teollisuudessa laajalti käytössä oleva menetelmä, ja sitä hyödynnetään myös Abloylla laatuorganisaatiossa, mutta sitä ei ole aiemmin kokeiltu testausosaston tekemissä mittauksissa ja testeissä. Tämän työn puitteissa tehdystä Gage R&R -määritelmästä saatiin paljon tärkeitä oppia siitä, mitä kaikkea tulee huomioida, jotta tulokset antavat todellisen kuvan mittausten kyvykkyydestä. Lisäksi on ensiarvoisen tärkeää miettiä kohteet, johon Gage R&R soveltuu jo etukäteen. Työstä saatujen kokemusten perusteella saadaan parhaiten soveltuvat kohteet määriteltyä tulevaisuudessa tehtäviä analysointeja varten.

Tämä työn suurin hyöty oli tuotetta rikkovien testien analysointiin käytettävä GUM-menetelmän käyttöönotto. Tämä menetelmä ei ollut entuudestaan tuttu ja se osoittautui erittäin käyttö kelpoiseksi arvioitaessa tuotteita rikkovien testimenetelmien mittausepävarmuuksia. Opinnäytetyötä aloitettaessa suurin kysymysmerkki oli se, kuinka näiden rikkovien testien mittausepävarmuus saataisiin määriteltyä. Koska GUM on tilastolaskennallinen menetelmä, sen vuoksi mittausepävarmuuksien määrittämisessä pystyttiin hyödyntämään aiempien testien tuloksia, eikä analyseja varten täten tarvinnut erikseen järjestää testauksia. Samaan aikaan tämän työn tekemisen kanssa testausorganisaatiossa on koulutettu henkilöstöä Lean Six Sigma periaatteisiin ja Minitab-laskentaohjelmiston käyttöön. Nämä kaksi menetelmää ovat tukeneet toinen toisiaan ja yhdessä antaneet ideoita siihen, kuinka tilastollisia menetelmiä voitaisiin hyödyntää koko Abloyn organisaatiossa huomattavasti nykyistä laajemminkin.

## Lähteet

- Andersson P & Tikka H 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoo: Helsinki: Juva: WSOY
- Cepova L, Kovacikova A, Cep R, Klaput P & Mizera O 2018. Measurement System Analyses – Gauge Repeatability and Reproducibility Methods. Measurement science review 18 No. 1, 20-27.
- EN 1154 Vuositestauksen testausohje korroosiotesti. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 3.5.2023
- EN 1154 Vuositestauksen testausohje kulutustesti. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 3.5.2023
- EN 1154 Vuositestauksen testausohje lämpötilatesti. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- EN 1155 + EN 1158 testausohje korroosiotesti. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 3.5.2023
- EN 1155 + EN 1158 testausohje kulutustesti. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 3.5.2023
- EN 1155 testausohje korroosiotesti. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- EN 1155 testausohje kulutustesti. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- EN 1935 Vuositestauksen testausohje Sample 1-4. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- EN 12209 testausohje – Sample A-H. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- EN 12209 testausohje – Sample C-K. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- EN 12209 testausohje – Sample D-L. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- EN 12209 testausohje – Sample E-M. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- EN 12209 testausohje – Sample G. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- Hamada M. 2021. Alternative Designs and Analyses for Destructive and Non-replicable Gauge R&R Studies. Quality engineering. <https://www.osti.gov/pages/servlets/purl/1844158> 1.4.2023
- Hessing T. Gage Repeatability and reproducibility (R&R) <https://sixsigmastudyguide.com/repeatability-and-reproducibility-rr/> 8.4.2023
- JCGM 100. 2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement.
- Noropirtti M. Abloy metallikalustelukkojen testausohjeet. 2022. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 3.5.2023
- Noropirtti M. EN 1303 CY-vuositestausohje. 2022. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön.
- Noropirtti M. EN 15684 CYL-vuositestausohje. 2022. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- Noropirtti M. Huonekalulukkojen testausohje. 2022. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 3.5.2023

- Pietilä H. EN 179 – EN 1125 – EN 179 Puolivuotistestausohje. 2022. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- Pietilä H. EN 179 – EN 1125 – EN 179 Vuositestausohje. 2022. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- Pietilä H. EN 1125 – EN 179 – EN 11125 Puolivuotistestausohje. 2022. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 3.5.2023
- Pietilä H. EN 1125 – EN 179 – EN 1125 Vuositestausohje. 2022. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 3.5.2023
- Pietilä H. EN 14846 Puoli vuositestausohje. 2023. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- Pietilä H. EN 14846 Vuositestausohje. 2023. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- Pietilä H. Painikekestotestin suoritus ja käyttöohje. 2014. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- Pietilä H. Painikestandardin EN 1906 vaatimukset. 2014. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- Pietilä H. Painiketesti EN 1906 mukaisesti. 2014. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- Riippulukkojen testausohje. Abloy testausohjeet. Vain sisäiseen käyttöön. 4.5.2023
- SFS-EN 179. 2008. Lukot ja rakennushelat. Painikkeella tai työntölevyllä avattavat poistumisovien poistumislaitteet. Vaatimukset ja testausmenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 1125. 2008. Lukot ja rakennushelat. Avauspuomilla avattavat poistumisovien lukkolaitteet. Vaatimukset ja testausmenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 1303. 2015. Lukot ja rakennushelat. Avainpesät lukoille. Vaatimukset ja testimenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 1154. 2003. Lukot ja rakennushelat. Säädetävät ovensulkimet. Vaatimukset ja testimenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 1155. 2003. Lukot ja rakennushelat. Sähköisesti ohjatut aukipitolaitteet kääntöoviin. Vaatimukset ja testimenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 1158. 2003. Lukot ja rakennushelat. Ovikoordinaattorit. Vaatimukset ja testimenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 1906. 2013. Building hardware. Lever handles and knob furniture. Requirements and test methods. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 1935. 2002. Lukot ja rakennushelat. Saranat. Vaatimukset ja testimenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 12209. 2003. Lukot ja Rakennushelat. Lukkorungot ja salvat. mekaaniset lukkorungot, salvat ja vastalevyt. Vaatimukset ja testausmenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 12209. 2016. Lukot ja Rakennushelat. Lukkorungot ja salvat. mekaaniset lukkorungot, salvat ja vastalevyt. Vaatimukset ja testausmenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 12320. 2021. Rakennushelat. Riippulukot ja niiden korvakkeet. Vaatimukset ja testimenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS

- SFS-EN ISO 14253-1. 2017. Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Kappaleen tai mittavälineen tarkastus mittaamalla. Osa 1: Päätöksentekosäännöt määrittelynmukaisuuden tai määrittelynvastaisuuden todentamiseen. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 14846. 2008. Lukot ja Rakennushelat. Lukkorungot ja salvat. sähkömekaaniset lukot ja vastalevyt. Vaatimukset ja testausmenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 15684. 2020. Lukot ja rakennushelat. Mekatroniset sylinterit. Vaatimukset ja testimenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- SFS-EN 16864. 2017. Lukot ja rakennushelat. Mekatroniset riippulukot. Vaatimukset ja testimenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
- Sharma M, Sahni S & Sharma S 2019. Validating a destructive measurement system using Gauge R&R – A case study. International Society for Manufacturing, Service and Management Engineering Volume 11 Issue 4 34-42.

**Gage R&R laskennassa käytettävän vakion  $d_2$  arvot**

k	Mittauskerrat													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1,414	1,912	2,239	2,481	2,673	2,830	2,963	3,078	3,179	3,269	3,350	3,424	3,491	3,553
2	1,279	1,805	2,151	2,405	2,604	2,768	2,906	3,025	3,129	3,221	3,305	3,380	3,449	3,513
3	1,231	1,769	2,120	2,379	2,581	2,747	2,886	3,006	3,112	3,205	3,289	3,366	3,435	3,499
4	1,206	1,750	2,105	2,366	2,570	2,736	2,877	2,997	3,103	3,197	3,282	3,358	3,428	3,492
5	1,191	1,739	2,096	2,358	2,563	2,730	2,871	2,992	3,098	3,192	3,277	3,354	3,424	3,488
6	1,181	1,731	2,090	2,353	2,558	2,726	2,867	2,988	3,095	3,189	3,274	3,351	3,421	3,486
7	1,173	1,726	2,085	2,349	2,555	2,723	2,864	2,986	3,092	3,187	3,272	3,349	3,419	3,484
8	1,168	1,721	2,082	2,346	2,552	2,720	2,862	2,984	3,090	3,185	3,270	3,347	3,417	3,482
9	1,164	1,718	2,080	2,344	2,550	2,719	2,860	2,982	3,089	3,184	3,269	3,346	3,416	3,481
10	1,160	1,716	2,077	2,342	2,549	2,717	2,859	2,981	3,088	3,183	3,268	3,345	3,415	3,480
11	1,157	1,714	2,076	2,340	2,547	2,716	2,858	2,980	3,087	3,182	3,267	3,344	3,415	3,479
12	1,155	1,712	2,074	2,339	2,546	2,715	2,857	2,979	3,086	3,181	3,266	3,343	3,414	3,479
13	1,153	1,710	2,073	2,338	2,545	2,714	2,856	2,978	3,085	3,180	3,266	3,343	3,413	3,478
14	1,151	1,709	2,072	2,337	2,545	2,714	2,856	2,978	3,085	3,180	3,265	3,342	3,413	3,478
15	1,150	1,708	2,071	2,337	2,544	2,713	2,855	2,977	3,084	3,179	3,265	3,342	3,412	3,477

Taulukko 28. Korjauskertoimen  $d_2$  arvot. AIAG (Automotive Industry Action Group) MSA – Measurement System Analysis)