

Jari Hyvärilä, Pauliina Mattila, Hanna Parikka,
Elisa Saarela, Petri Wirkkala



LUOTETTAVA MITTAUSPROSESSI



Centria. Tutkimuksia, 9

Jari Hyvärilä, Pauliina Mattila, Hanna Parikka, Elisa Saarela, Petri Wirkkala

LUOTETTAVA MITTAUSPROSESSI

Centria-ammattikorkeakoulu 2019

JULKAISIJA:

Centria-ammattikorkeakoulu
Talonpojankatu 2, 67100 Kokkola

JAKELU:

Centria kirjasto- ja tietopalvelu
kirjasto.kokkola@centria.fi, p. 040 808 5102

Taitto: Centria-ammattikorkeakoulun markkinointi- ja viestintäpalvelut
Kannen kuva: Adobe Stock -kuvapalvelu

Centria. Tutkimuksia, 9
ISBN 978-952-7173-45-9 (PDF)
ISSN 2342-9321

SISÄLLYS

1. MITTAUS PÄÄTÖSTEN TUKENA	4
2. MITTAUKSEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI	5
2.1 Mittaussysteemin vaihtelun lähteet	5
2.2 Mittauksen käsitteet	6
2.3 Virhelähteet	9
3. MITTAUSSYSTEEMIN ANALYYSI GAGE REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY -MENETELMÄLLÄ	10
3.1 Gage Repeatability & Reproducibility -analyysi	10
4. MITTAUSSYSTEEMIN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI	12
4.1 Ainevirtausmittaus	12
4.1.1 Mittaussysteemin luotettavuuden arviointi	12
4.1.2 Mittaussysteemin luotettavuuden arvioinnissa tehdyt havainnot	13
4.2 Heilurikovuuden testilaite	13
4.2.1 Mittaussysteemin luotettavuuden arviointi	14
4.2.2 Mittaussysteemin luotettavuuden arvioinnissa tehdyt havainnot	15
4.3 Punnitusmenetelmä	16
4.3.1 Mittaussysteemin luotettavuuden arviointi	16
4.3.2 Mittaussysteemin luotettavuuden arvioinnissa tehdyt havainnot	17
4.4 Ratanopeus	17
4.4.1 Mittaussysteemin luotettavuuden arviointi	17
4.4.2 Mittaussysteemin luotettavuuden arvioinnissa tehdyt havainnot	18
4.5 Lämpötila- ja kosteusmittari	18
4.5.1 Mittaussysteemin luotettavuuden arviointi	18
4.5.2 Mittaussysteemin luotettavuuden arvioinnissa tehdyt havainnot	20
5. YHTEENVETO	22

LÄHTEET

1. MITTAUS PÄÄTÖSTEN TUKENA

Mitattua dataa käytetään teollisuudessa aikaisempaa enemmän prosessin ohjauksessa ja erilaisten päätösten tekemisessä. Mittauksen luotettavuuden arvioinnin tärkeyttä ei kuitenkaan aina ymmärretä. Jos luotamme mittaustulokseen varmentamatta sen paikkansapitävyyttä, emme tunnista todellisen mittausarvon sekä mittausvirheen suuruutta. Tällöin saatamme luokitella laatukriteerit täyttävän tuotteen hylättäväksi tai aiheuttaa prosessiin vaihtelua säätämällä sitä epätarkan mittauksen perusteella. Kaikki tämä aiheuttaa yritykselle tarpeettomia kustannuksia. Mittausmenetelmän toistettavuuden ja uusittavuuden todentaminen tulisikin tehdä ennen menetelmien käyttöönottoa. Tällöin pystytään välttämään väärin johtopäätösten tekeminen virheellisen mittausdatan perusteella.

Ennen mittauksen suorittamista tulee myös arvioida, kuinka hyvin asetetut mittaristot kuvaavat prosessin toimivuutta. Mitattava prosessi tulee kuvata selkeästi siten, että sen mitattavat ulostulot ovat tunnistettavissa ja muutettavissa mittayksiköiksi Havainnoimalla prosessia pystytään tunnistamaan kriittiset mittausyksiköt. Näiden mittayksiköiden luotettavuus tulee arvioida ja luoda niille tarvittaessa selkeät tiedonkeruulomakkeet. Arvioinnin tulosten perusteella määritellä mahdollisesti tarvittavat toimenpiteet mittauksen luotettavuuden parantamiseksi. (George 2002, 186.)

2. MITTAUKSEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI

Luotettava mittaus on jatkuvan parantamisen perusta. Luotettava mittatieto lisää tietoisuutta prosessista ja auttaa kohdentamaan tarvittavat parannustoimenpiteet oikeaan prosessivaiheeseen.

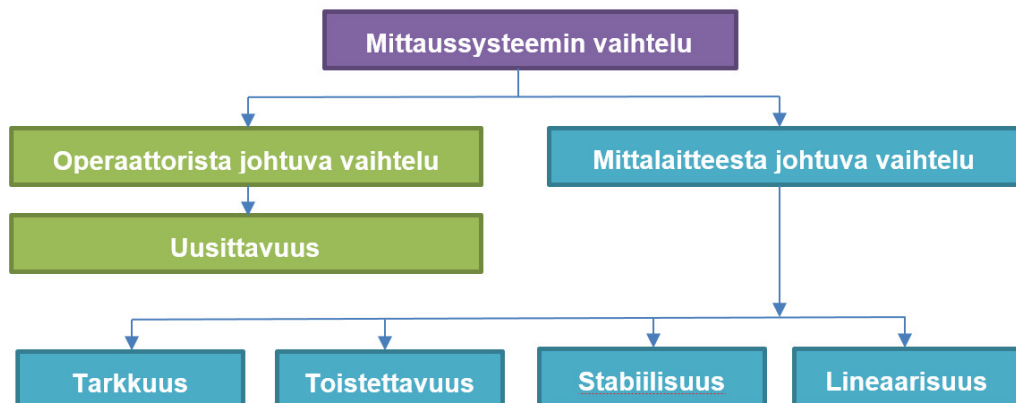
Mittauksen luotettavuuden arviointi on kokonaisuus, johon kuuluvat määrittelyvaihe, mitaussysteemi, tulosten analysointi ja toimenpideohjeet. Mittaussysteemi on yhdistelmä mittalaitteita, mittanormaaleja, operaatioita, menetelmiä, järjestelyitä, ohjelmistoja, henkilöitä, ympäristöjä ja oletuksia, joiden avulla määristetään jokin mitattava piirre. Mittaussysteemin ja tiedon luotettavuus on myös varmistettava, jottei prosessi mene sekaisin väärän tiedon tai datan käytöstä. (Kinnunen 2018.)

Mittauksen luotettavuuden arvioinnin kokonaisuus voidaan jaotella seuraaviin työvaiheisiin:

1. Ongelman tunnistaminen
2. Mitattavan kohteen tarkka määrittely
3. Mittausmenetelmän valinta ja mittauksen luotettavuuden arviointi
4. Selkeä tiedonkeruulomakkeen luominen
5. Valittujen henkilöiden perehdyttäminen tiedonkeruuseen
6. Sopivan näytteenottomenetelmän valinta ja datan keräys
7. Mittausvirheen arviointi
8. Tulosten analysointi ja tulkinta
9. Johtopäätösten ja jatkotoimenpiteiden määrittely. (Kinnunen 2018.)

2.1 Mittaussysteemin vaihtelun lähteet

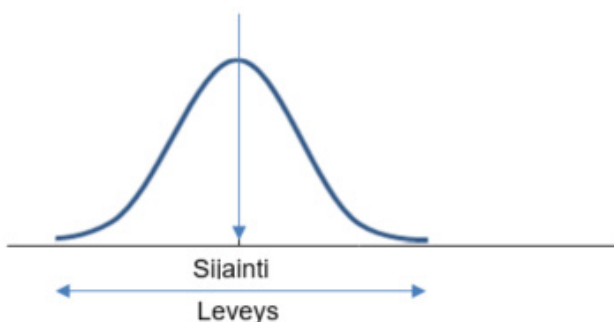
Mittaussysteemi tulisi arvioida aina, kun kerätään liiketoiminnalle kriittistä dataa ja kun halutaan luottamusta mitaustuloksiin. Hyvältä mitaussysteemiltä vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia. Mitatun arvon tulee olla "lähellä" mitattua ominaisuutta, jolloin mittaus on tarkka. Uusittaessa mittaus, mitaustulosten tulisi olla lähellä toisiaan, jolloin mittaus on toistettavissa. Tämän lisäksi mittauksen tulisi tuottaa tarkasti ja johdonmukaisesti tuloksia systeemin koko mittausalueelta, jolloin mitaussysteemi on lineaarinen. Neljänneksi mitaussysteemin tulisi tuottaa saman tuloksen eri koulutetuilla mitaajilla, jolloin tulokset ovat toistettavissa. Lopuksi, käytettäessä samoja kappaleita mitaussysteemin tulisi antaa samat arvot eri ajankohtina, jolloin mitaussysteemin on stabiili. (Pyzdek & Keller 2018, 391.)



KUVIO 1. Mittaussysteemin vaihtelun lähteet (mukaillen Karjalainen 2014).

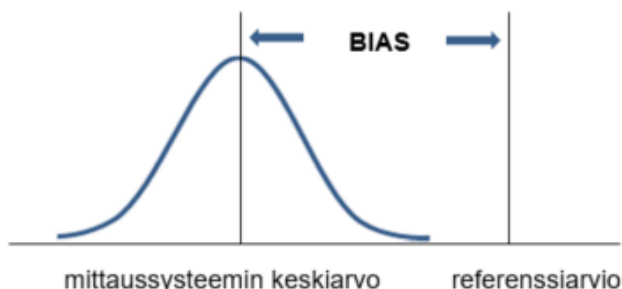
2.2 Mittauksen käsitteet

Useimmissa mittausprosesseissa mittauksen kokonaisvaihtelu kuvataan normaalihajonnan avulla ja sitä käytetään tyypillisesti mittausjärjestelmien arvioinnin oletuksena. Mittausjärjestelmien analyysin avulla voidaan arvioida mittausjärjestelmän virhekomponenttien (toistettavuus-, uusittavuus-, stabiilisuus-, bias- ja lineaarisuusvirhe) vaikutus mittausjärjestelmän virheeseen. Mittausjärjestelmän virhettä arvioidaan suhteessa prosessin vaihteluun tai annettuihin spesifikaattorajoihin. (Benham ym. 2010; Kinnunen 2018.)



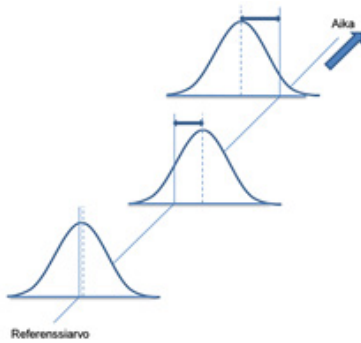
KUVIO 2. Mittausprosessin mittauksen kokonaisvaihtelun ominaisuudet (mukaillen Benham ym. 2010, 50).

Mittalaitteesta johtuvat mittausjärjestelmän vaihteluun vaikuttavat tekijät voidaan havainnollistaa kuvaamalla ne normaalihajonnan kuvaajan avulla. Biaksella tarkoitetaan mittausten keskiarvon poikkeama referenssiarvosta eli se kuvaa keskiarvon sijaintia suhteessa referenssiarvoon. Bias-virheen voi aiheuttaa esimerkiksi mittalaitteen kalibrointitarve tai ohjeistuksesta poikkeavat mittausolosuhteet. (Benham ym. 2010, 51.)



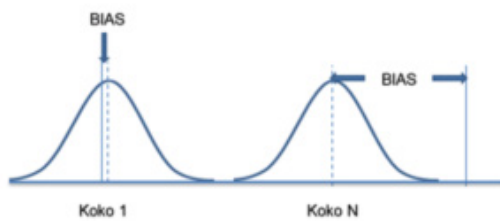
KUVIO 3. Bias (mukaillen Benham ym. 2010, 51)

Stabiilisuus on muutos mittaustarkkuudessa ajan kuluessa. Stabiili mittausjärjestelmä ei muutu ajan kuluessa. Stabiilisuuden muutos voi johtua mm. erilaisesta mittaustavasta tai mittauslaitteen puutteellisesta huoltamisesta. Mittausjärjestelmän stabiilisuus voidaan varmistaa mittaamalla näytekappaleet säännöllisin väliajoin, laatimalla \bar{X} -R-ohjauskortti ja arvioida stabiilisuus normaaliin SPC:n tulkitusääntöjen mukaan. (Benham ym. 2010, 51.)



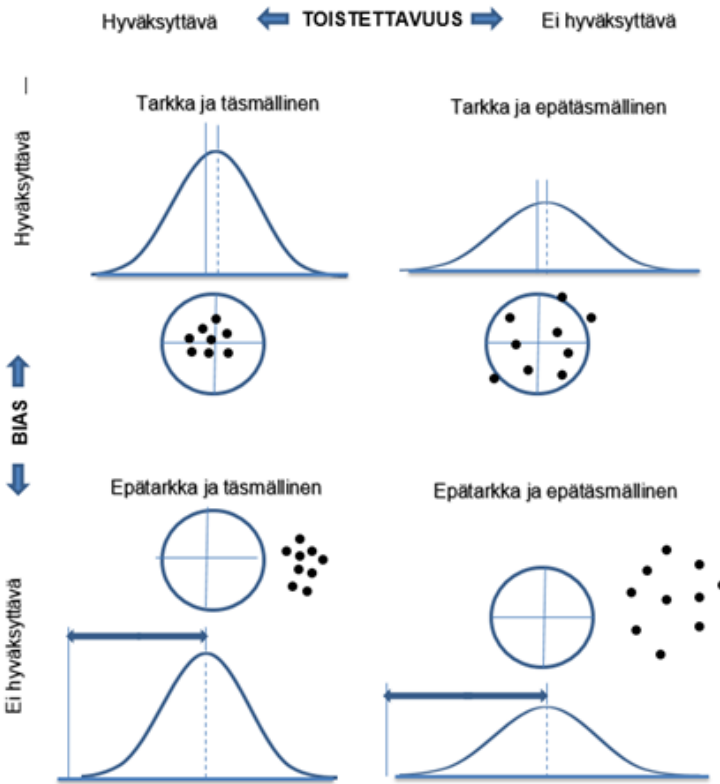
KUVIO 4. Stabiilisuus (mukaillen Benham ym. 2010, 51).

Lineaarisuudella kuvataan muutosta biaksessa mitta-alueen eri kohdissa. Lineaarisuudesta syntyviin virheisiin voi olla syynä esimerkiksi mittalaitteiston kuluneisuus. Lineaarisuuden selvittämiseen tarvitaan vähintään viisi näytettä, jotka edustavat koko mitta-alueutta. Jokaiselle näytteelle tulee määrittää tarkka referenssiarvo. Mittalaitetta käyttävä operaattori mittaa jokaisen osan vähintään kymmenen kertaa satunnaisessa järjestyksessä. Mittaustuloksista voidaan arvioida, kuinka paljon mitta-arvo poikkeaa referenssiarvosta (bias) mitta-alueen eri kohdissa. (Benham ym. 2010, 52–53.)



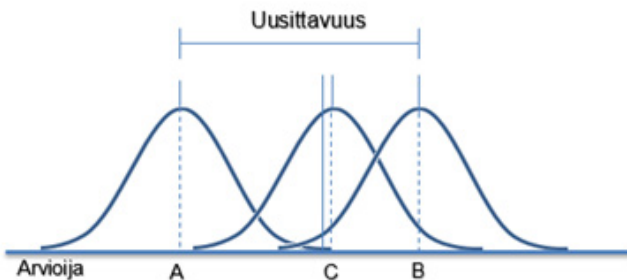
KUVIO 5. Lineaarisuus (mukaillen Benham ym. 2010, 52–53).

Mittauksen vaihtelun lähteet voidaan jakaa kahteen luokkaan, jotka ovat tarkkuus ja täsmällisyys. Tarkkuus tarkoittaa ryhmien keskiarvojen välistä poikkeamaa tai ryhmän keskiarvon poikkeamaa tavoitearvosta. Täsmällisyys taas tarkoittaa ryhmän sisäistä poikkeamaa eli yhdenmukaisuutta. Kun mittauksen bias-virhe on pieni ja mittaus on toistettavissa, on mitaussysteemi tarkka ja täsmällinen. Bias-virheen ollessa suuri ja mittauksen toistettavuus on heikko, mitaussysteemistä tulee epätarkka ja epätäsmällinen. (Piirainen 2014, 41.)



KUVIO 6. Toistettavuus (mukaiillen Piirainen 2014, 41).

Toisin sanoen toistettavuus (repeatability) on vaihtelua, joka havaitaan, kun sama operaattori mittaa samaa osaa toistettavasti samalla laitteella. Kyseessä on siis mittalaitteesta johtuvaa lyhyen aikavälin vaihtelua. Mittaajasta johtuvaa vaihtelua kuvataan sanalla uusittavuus (reproducibility), joka voidaan havaita, kun eri operaattorit mittaavat samaa osaa käyttäen samaa mittalaitetta. Uusittavuus voi liittyä myös ympäristöön.



KUVIO 7. Uusittavuus (mukaiillen Benham ym. 2010, 55).

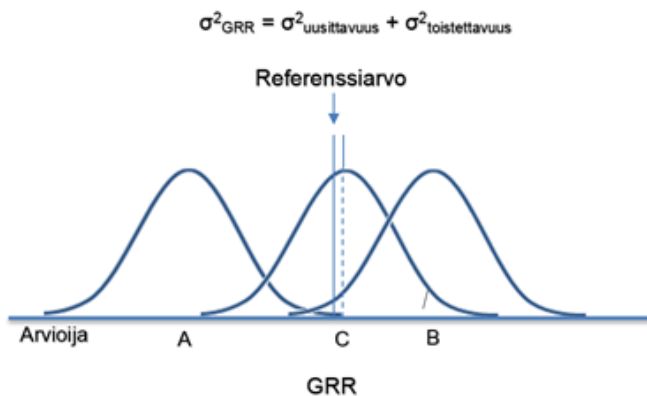
2.3 Virhelähteet

Virhelähteet voidaan luokitella ympäristöstä, mittalaitteen rajoittuneisuudesta tai mittaajasta johtuviin lähteisiin. Prosessiympäristön lämpötila, värähtely, rakenteelliset epävakaudet, ilmankosteus, ilmansaasteet ja maan vetovoima voivat vaikuttaa mittaustulokseen. Mittauslaitteiden virhelähteiden välttämiseksi on oleellista, että mittalaitteen lukutarkkuus ja täsmällisyys ovat luotettavia. Mittalaitteiden rajoittuneisuuteen vaikuttaa myös mittalaitteen kyky antaa luotettavia mittaustuloksia ajan kuluessa. (Burke ym. 2017, 203.)

Mittaajasta johtuvien virhelähteiden välttämiseksi on arvioitava, onko olemassa edellytykset luotettavalle mittaukselle. Vallitsevan tilanteen tunnistaminen on tärkeää. Mittalaitteen kalibroinnin on oltava tehtynä ja voimassa ja mittalaitteen täytyy olla ehjä. Mittaustapahtuma on myös hyvä standardoida. Jos mittaajia on useita, menettelytapa täytyy olla mielellään samanlainen, jottei mittauksen luotettavuus kärsi erilaisista mittaustavoista.

3. MITTAUSSYSTEEMIN ANALYYSI GAGE REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY -MENETELMÄLLÄ

Kun kalibroinnin avulla voidaan korjata mittaussysteemin bias ja seurata sen stabiilisutta ajan suhteen, Gage Repeatability & Reproducibility (Gage R&R) -analyysin tarkoituksena on arvioida mittaussysteemin toistettavuus (repeatability) ja uusittavuus (reproducibility). Gage R&R -analyysillä selvitetään tilastollisin menetelmin toimintaympäristön vaikutuksia mittauksiin (toistettavuus, uusittavuus, bias ja lineaarisuus) sekä toimintaympäristön vaikutuksia mittauksiin ajan suhteen (stabiilisuus). Toisin sanoen Gage R&R on yhtä kuin systeemin sisäisen ja ulkoisen vaihtelujen summa. (Kinnunen 2018; Benham 2010, 56.)



KUVIO 8. GRR (mukaillen Benham ym. 2010, 57)

3.1. Gage Repeatability & Reproducibility -analyysi

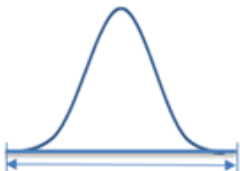
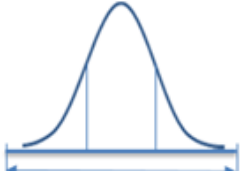
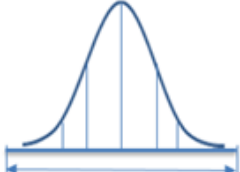
Gage R&R -analyysillä määritetään, onko kyseinen mittaussysteemi kyvykäs tarkoitettuun mittaukseen. Gage R&R -analyysissä arvioidaan mittausdatan avulla, kuinka paljon virheitä mitaukset voivat sisältää. Jos mittaussysteemin vaihtelu on pientä verrattuna prosessivaihteluun, mittaussysteemi on pätevä. Gage R&R -analyysin valmistelussa valitaan ensin mittaajien, mitauskertojen sekä mitattavien näytteiden määrä. Kriittisille dimensioille tarvitaan enemmän näytteitä ja mitauskertoja. Isoille ja raskaille osille voi olla vähemmän näytteitä, mutta enemmän mitauskertoja. (Burke ym. 2017, 204.)

Mittaajien tulee olla henkilöitä, jotka normaalisti käyttävät mittalaitetta. Jos näin ei ole, analyysin tarkkuus ja laatu voi heikentyä. Myös mitattavien näytteiden valinta on kriittistä analyysin onnistumiselle. Tuotteen tarkastamiseen liittyvissä mittauksissa näytteiden ei ole tarpeen edustaa koko prosessin vaihtelua. Mittaussysteemin arviointi perustuu mitattavan piirteen annettuihin toleransseihin. Prosessin ohjaamiseen liittyvissä mittauksissa on erittäin tärkeää, että mitattavat kappaleet edustavat tuotantoprosessin vaihtelua koko laajuudessaan. Mittaussysteemin arviointi perustuu prosessin vaihtelun suuruuteen. Mittalaitteen tarkkuuden tulisi olla kymmenesosa oletetusta prosessin vaihtelusta. Ennen analyysiä on myös varmistettava, että mittausmenetelmä mittaa haluttua ominaisuutta ja että se noudattaa määritettyä proseduuria. Näytteitä mitattaessa tulisi mitaukset tehdä satunnaisessa järjestyksessä, jotta tulosten manipulointi vältetään. Tässä tilanteessa operaattori ei tiedä näytteiden järjestystä, mutta analyysin suorittaja tietää. Mittaustulokset kirjataan mittalaitteen tarkkuuden mukaan.

Testin toteuttamista valvoo henkilö, joka ymmärtää luotettavan tutkimuksen merkityksen ja periaatteet. (Kinnunen 2018.)

Minitab on taulukkolaskentaohjelma, joka on käytössä laajasti Six Sigma -työkaluna. Suoritetut mittaukset voidaan analysoida Minitab-ohjelmiston avulla, jossa on useita eri menetelmiä suorittaa Gage R&R -arviointi. Nested-menetelmää käytetään, kun jokainen kappale voidaan mitata vain yhden mittajaan toimesta. Tällainen tapaus voi olla kyseessä esimerkiksi silloin, kun kappale tuhoutuu mittauksessa. Muissa tapauksissa voidaan arviointimenetelmäksi valita Crossed-menetelmä.

AIAG on antanut raja-arvoja, joiden mukaan pystytään arvioimaan, ovatko toistettavuus- ja uusittavuustestien analysoinnin tulokset hyväksyttävällä tasolla. Mittaustulokset voi todeta saaduksi tarpeeksi hyvällä resoluutiolla mitatuksi, kun number of distinct categories on pystynyt jakamaan tulokset viiteen tai sitä suurempaan ryhmään. Mittausjärjestelmän aiheuttaman vaihtelun määrän arvioimiseksi tarkastellaan vaihtelun määrää toleranssista ja prosessista mitattuna. Jos kyseiset arvot (% tolerance) ovat 10 % tai alle, ovat tulokset hyväksyttäviä. Jos arvo on 10–30 %, on mittaussysteemi hyväksyttävä riippuen esimerkiksi sovelluksesta tai mittalaitteen kustannuksista. (AIAG, Measurement System Analysis 2003, 45.)

Luokkien lukumäärä	Kontrolli	Analyysi
 <p>1 dataluokka</p>	<p>Voidaan käyttää vain silloin, kun:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prosessin vaihtelu on pieni verrattuna spesifikaatioihin • Häviöfunktio on tasainen odotetun prosessin vaihtelun suhteen • Vaihtelun päälähde aiheuttaa keskimääräisen muutoksen 	<ul style="list-style-type: none"> • Prosessin parametrien ja indeksien estimointia ei hyväksytä • Osoittaa vain sen, tuottaako prosessi tukevia tai ristiriitaisia osia
 <p>2–4 dataluokkaa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Voidaan käyttää prosessin jakautumiseen perustuvilla puolimuuttajaohjauksilla • Voi tuottaa epäherkkiä muuttujien ohjauskaavioita 	<ul style="list-style-type: none"> • Yleisesti ottaen ei voida hyväksyä prosessin parametrien ja indeksien arviointia, koska se antaa vain karkeita arvioita
 <p>5+ dataluokkaa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Voidaan käyttää muuttujien ohjauskaavioiden kanssa 	<ul style="list-style-type: none"> • Suosittelava

KUVIO 9. (mukaillen Benham ym. 2010, 47)

4. MITTAUSSYSTEEMIN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI

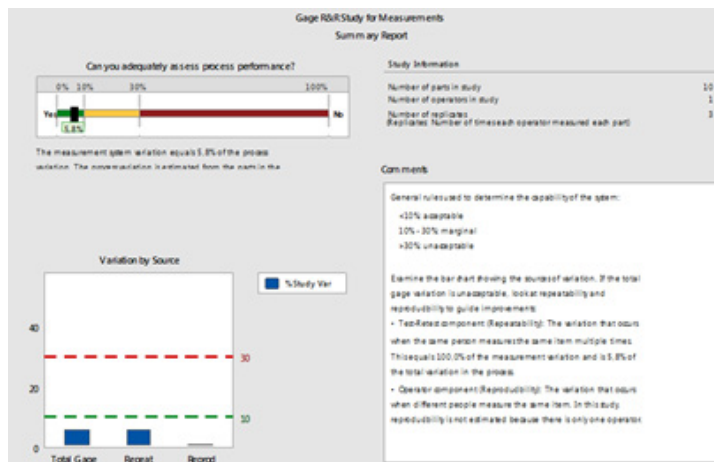
Mittaussysteemin luotettavuuden arviointi liittyi yhtenä osa-alueena Tuotantoprosessien vaikutus MITATEN -hankkeeseen, jonka tarkoituksena oli varmistaa mittauksen luotettavuutta ja automatisoida mittausdatan analysointia. Kuten aiemmin todettiin, *luotettava mittaus on jatkuvan parantamisen perusta*. Tässä kappaleessa esitetään muutamia Centria TKI:n käyttämiä mittalaitteita, joiden mittauksen luotettavuutta on arvioitu Gage R&R -menetelmällä. Mittalaitteita on käytetty pitkään ja mittaukset ovat aikojen saatossa vakiintuneet. Tästä syystä mitaussysteemien luotettavuus oli hyvä arvioida ja miettiä, ovatko tavat ”oikeita” ja löytyykö mitaussysteemistä jotain kehitettävää. Tässä kappaleessa esitetään ainevirtausmittarin, heilurikovuuden testilaitteen, puntarin, ratanopeusmittarin sekä lämpötila- ja kosteusmittarin arviointi Gage R&R -menetelmällä.

4.1 Ainevirtausmittaus

Rheonik RMH o8 -ainevirtausmittari on osa Centrian pintakäsittelylinjaa ja sen avulla määritetään ainevirtaus aineen siirtopumpun ja ruiskuautomaatin välillä. Mittarin mittausalue on 0,3–50 kg/min, jolla pystytään mittaamaan prosessissa liikkuvat pienetkin massat. Coriolis-voimaan perustuvalla värähtelytaajuusmittarilla päästään 0,1 % mittauslukematarkkuuteen. Mittarissa on prosessin tulkintaan käytössä yli 200 mittaustoimintoa.

4.1.1 Mittaussysteemin luotettavuuden arviointi

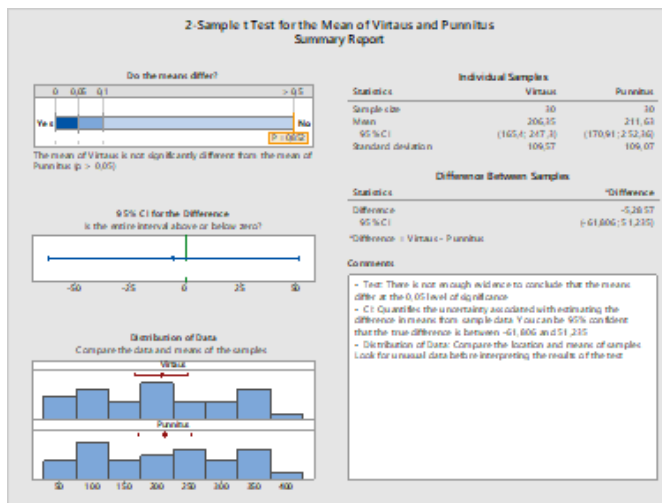
Virtausmittarilla toteutettiin mittausten luotettavuuden arviointia varten (Gage R&R -testi) 10 näytteen sarja, jossa näytteiden ruiskutuksen kesto vaihteli välillä 1–10 s. Mittauksista tehtiin kolme toisintoa. Kuvassa 1 on esitetty mitaussysteemin luotettavuuden arvioinnin tulokset. Suurin osa mittausmenetelmän vaihtelusta johtui näytteiden virtausmäärän erosta. Käyttäjän tai mittauslaitteen aiheuttama vaihtelu kokonaisvaihtelusta oli 5,8 %. Virtausmittari todettiin luotettavaksi menetelmäksi arvioida pintakäsittelyaineen pumpun jälkeistä virtausta.



KUVA 1. Ainevirtausmittauksen luotettavuuden arvioinnissa syntyvän vaihtelun lähteet.

Luotettavuuden arvioinnin yhteydessä todennettiin virtausmittarin ja punnituksen välinen mittausero punnitsemalla testisykliä aikainen pistoolien tuottama ainemäärä. Mittaustulosten

arviointiin käytettiin 2-sample t-test -menetelmää ja tulosten analysointi on esitetty kuvassa 2. Mittaustavat eivät eronneet analysoinnin mukaan oleellisesti toisistaan. Mittausmenetelmien keskiarvon välillä ei ollut oleellista eroa (206,35 g ja 211,63 g) sekä standardihajonnan arvo oli molemmilla mittaustavoilla lähes sama (109,57 g ja 109,07 g).



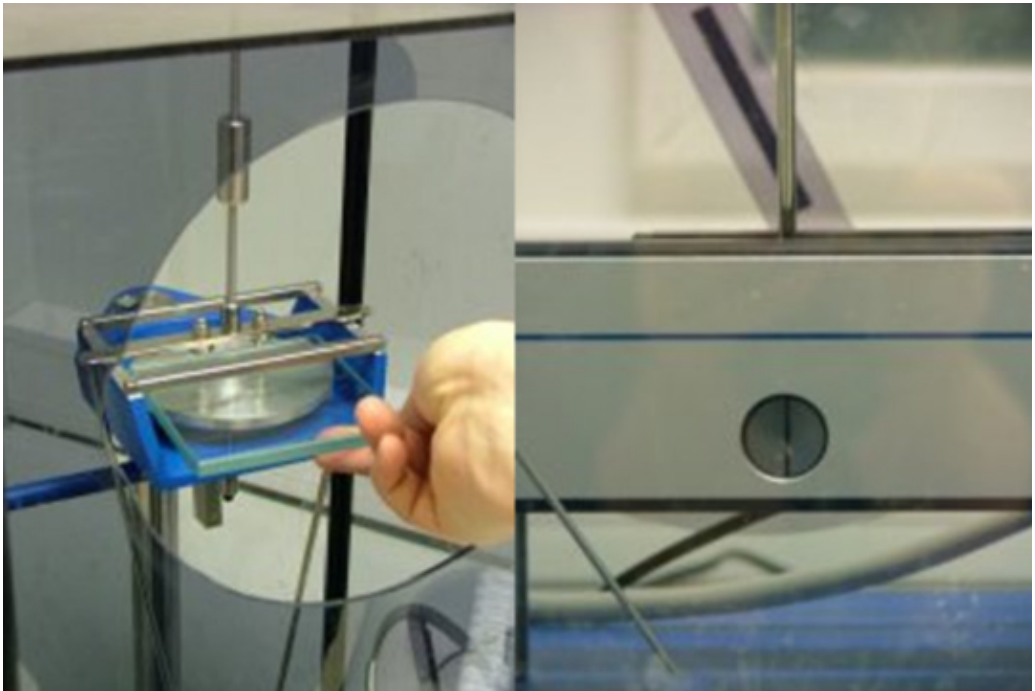
KUVA 2. Virtausmittaustulosten ja punnitustulosten eron vertailu,

4.1.2 Mittaussysteemin luotettavuuden arvioinnissa tehdyt havainnot

Aineensiirtopumpun työtahdilla eli männän liikesuunnan muutoksella voi olla vaikutusta virtausmittaukseen. Pumpun tahdin muuttuessa letku paineistuu sykleittäin. Tämä voi näkyä virtausmittarin mittaustulosten vaihtelun kasvuna pintakäsiteltäessä pidempiä jaksoja. Mittaustuloksissa on huomioitavaa myös, ettei virtausmittarissa ole automaattista tiheyden mittausta. Tiheys annetaan mittalaitteelle manuaalisesti ja virheasetus voi kumuloitua pidemmällä mittaajaksolla.

4.2 Heilurikovuuden testilaitte

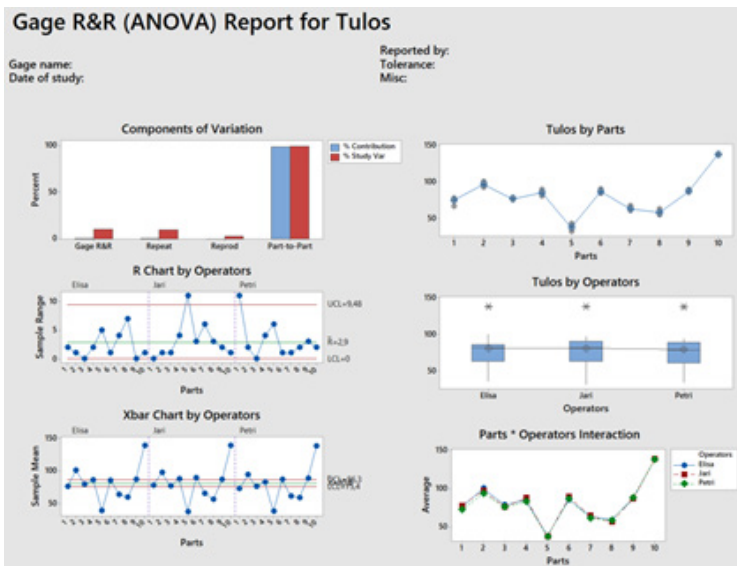
Heilurikovuuden testilaitteella määritetään testikappaleen pinnan kovuus König-menetelmällä. Mittaus tapahtuu asettamalla näyte heilurin yläosassa sijaitsevaan pitimeen. Heiluri ja testi käynnistetään vapauttamalla lankalaukaisin, jonka jälkeen laite antaa äänimerkin, kun heilurin liikepoikkeama on alle 3 astetta. Mittalaitte ilmoittaa heilahdusten kokonaismäärän, mittausajan (T/s) ja heilahdusajan (P/s).



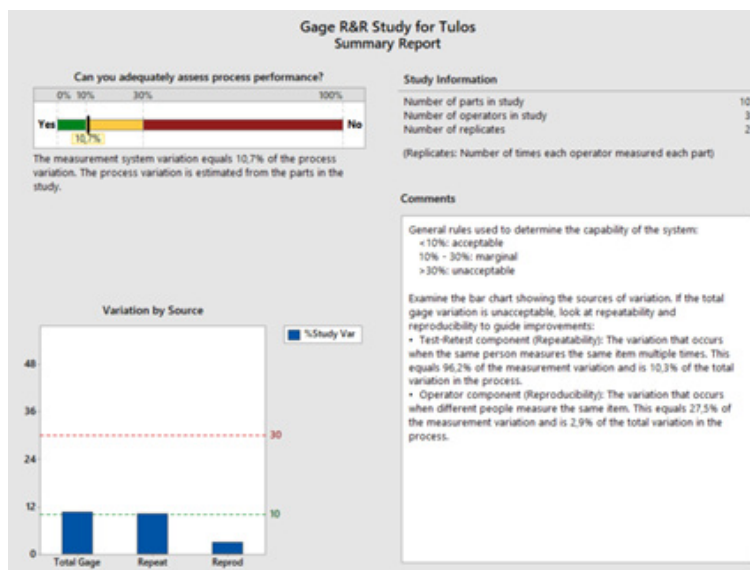
KUVA 3. Heilurikovuuden mittakappaleen asettaminen.

4.2.1 Mittaussysteemin luotettavuuden arviointi

Heilurin mittauksen luotettavuuden arviointia (Gage R&R -testi) varten valittiin 10 näytteen sarja. Mittauksista tehtiin kolme toisintoa. Näytteiden pintakäsittelyn laatu valittiin niin, että näytesarja kuvastaa mitattavien näytteiden pinnanlaatua koko skaalalla. Kuvissa 4 ja 5 on esitetty luotettavuuden arvioinnin tulokset. Kuvasta 4 on nähtävissä, että mittausmenetelmän arvioinnissa syntyvä vaihtelu johtui pääosin näytteiden maalikalvon kovuuden vaihtelusta. Kuvasta 5 on luettavissa, että mittauksen aiheuttama vaihtelu kokonaisvariانسista on 10,7 %. Kun mittauksen aiheuttama vaihtelu on 10–30 % kokonaisvariانسista, on tulos hyväksyttävissä riippuen tilanteesta. Arvioinnin ollessa hyvin lähellä riittävän tarkkuuden raja-arvoa, heilurikovuus todettiin luotettavaksi menetelmäksi maalikalvon kovuuden määrittämiseen.



KUVA 4. Heilurin luotettavuuden arvioinnissa syntyvän vaihtelun lähteet,



KUVA 5. Mittauksen aiheuttama vaihtelu kokonaisvariانسista.

4.2.2 Mittaussysteemin luotettavuuden arvioinnissa tehdyt havainnot

Heilurikovuuden varmentaminen toistettiin useamman kerran. Luotettavuuden arviointia suoritettaessa ensimmäiset testit osoittivat, että mittaussysteemissä oli virheitä, jotka johtavat luotettavuuden heikkenemiseen. Mittausmenetelmän suorittamisen ohjeistusta tarkennettiin. Näytekappaleen asettaminen pitimeen ja heilurin suoruuden tarkistaminen ohjeistettiin uudelleen. Mittauksen luotettavuuden arvioinnin yhteydessä todettiin myös, että näytekappaleet eivät saa olla liian samankaltaisia, vaan niiden tulee edustaa koko mitattavaa skaalaa. Ensimmäisellä ja toisella kierroksella näytekappaleina käytettiin lasilevyjä, jotka olivat laadullisesti

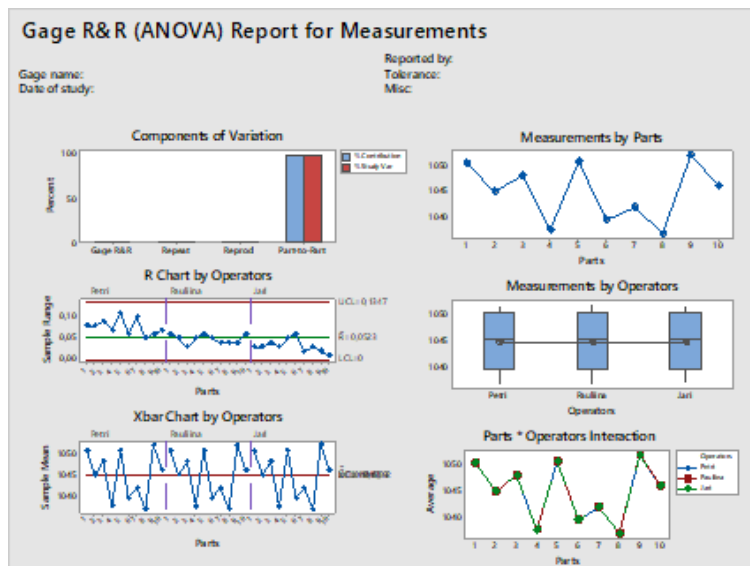
liian samankaltaisia. Mittausmenetelmä saatiin luotettavaksi tarkennetun ohjeistuksen avulla sekä käyttämällä arvioinnissa näytekappaleita, jotka oli maalattu erivahvaisilla maalikerroksilla.

4.3 Punnitusmenetelmä

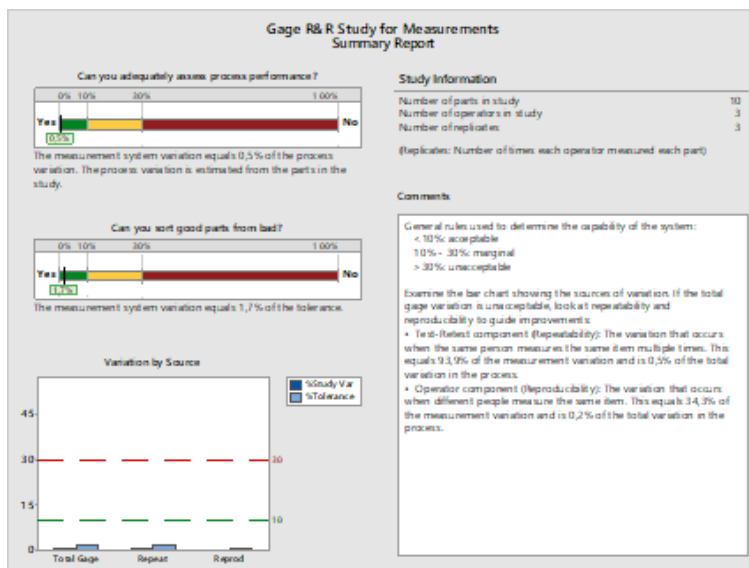
Punnitusmenetelmää käytetään pinnoitettujen testikappaleiden märkälavon ainemäärän määrittämiseen. Puntari asetetaan tasaiselle tasolle ja se suoritetaan säätämällä testilaitte vaakatasoon säätöjalkojen ja puntarin vesivaa’an avulla. Puntarin taarauksen jälkeen testikappale asetetaan vaa’alle ja odotetaan lukeman vakioitumista. Vaaka ilmoittaa kappaleen painon kahden desimaalin tarkkuudella.

4.3.1 Mittaussysteemin luotettavuuden arviointi

Puntarin mittausten luotettavuuden arviointia (Gage R&R -testi) varten valittiin satunnaisesti 10 näytekappaleen sarja. Mittaajia oli kolme ja mittauksista tehtiin kolme toisintoa. Näytteiden pinta pintakäsiteltiin niin, että koko näytesarja (kappaleiden paino) kuvastaa tyypillisiä näytteitä koko skaalalla. Kuvissa 6 ja 7 on esitetty luotettavuuden arvioinnin tulokset. Kuvasta 6 on nähtävissä, että mittausmenetelmän arvioinnissa syntyvä vaihtelu johtui lähes täysin näytteiden painon vaihtelusta. Kuvasta 7 on luettavissa, että mittauksen aiheuttama vaihtelu kokonaisvarianssista on 0,5 %. Punnitusmenetelmä todettiin luotettavaksi menetelmäksi märkälavon ainemäärän määrittämiseen.



KUVA 6. Puntarin luotettavuuden arvioinnissa syntyvän vaihtelun lähteet.



KUVA 7. Mittauksen aiheuttama vaihtelu kokonaisvarianssista.

4.3.2 Mittaussysteemin luotettavuuden arvioinnissa tehdyt havainnot

Koska mittauksen aiheuttama vaihtelu kokonaisvarianssista todettiin käytössä olleilla näytele-
vyillä todella vähäiseksi, mittaussysteemin luotettavuus toistettiin hyvin pienillä painoilla käyt-
täen hylsytarjan erikokoisia osia mittauksen testikappaleilla. Testikappaleiden pienemmällä
painolla ei ollut vaikutusta mittaussysteemin luotettavuuden arviointiin, mikä viittaa mittauk-
sen riittävään resoluutioon myös kevyemmällä kappaleilla.

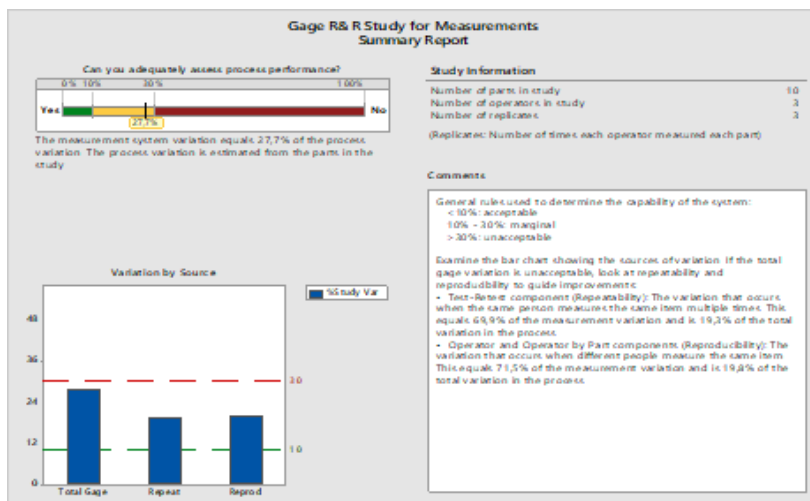
Esikokeiluja ennen mittaussysteemin luotettavuuden arviointia suoritettiin myös muilla eri
materiaaleilla. Prosessissa sähköisesti varautuneen muovimateriaalin todettiin vaikuttavan
puntariin ja muovimateriaalilla tulee käyttää puntarilla puista välipalaa luotettavan mittauksen
saamiseksi.

4.4. Ratanopeus

Ratanopeusmittarilla määritetään kuljettimen nopeus pyörivän mittapään avulla. Onnistu-
neelle mittaukselle on oleellista, että mittari on mahdollisimman vaakasuorassa mitattavaan
pintaan nähden, mittalaitetta ei paineta vasten mitattavaan pintaan, rullan koko ja asetusrivot
ovat vastaavat ja mittausyksikkö on varmistettu oikeaksi (m/min).

4.4.1 Mittaussysteemin luotettavuuden arviointi

Ratanopeuden luotettavuuden arviointia (Gage R&R -testi) varten kolme mittaa-
jaa mittasi ratanopeuden kymmenestä kuljettimesta kolmeen kertaan. Mittauspisteet merkittiin kuljet-
timiin ja mittaus tapahtui nuolen osoittamasta rullasta/kohdasta. Kuvassa 8 esitetty luotetta-
vuuden arvioinnin tulokset. Mittauksen aiheuttama vaihtelu kokonaisvarianssista on 27,7 %.



KUVA 8. Mittauksen aiheuttama vaihtelu kokonaisvariانسista.

4.4.2 Mittaussysteemin luotettavuuden arvioinnissa tehdyt havainnot

Ongelmaksi mittauksen luotettavuuden varmentamisessa aiheutui mitattavien kuljettimien jatkuva nopeuden huojunta. Mittaussysteemin luotettavuuden varmentamista käytössä olevilla kuljettimilla päätettiin keskeyttää.

4.5. Lämpötila- ja kosteusmittari

Vaisala HMI41 -mittalaitteessa on HMP42-mittapää, jolla voidaan määrittää ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila. Mittapään käyttölämpötila on -40...+100 °C. Mittaus suoritetaan asettamalla mittapää haluttuun mitattavaan olosuhdetilaan ja annetaan mittapään olla tilassa siihen asti, että mittalukeman muutos pysähtyy.

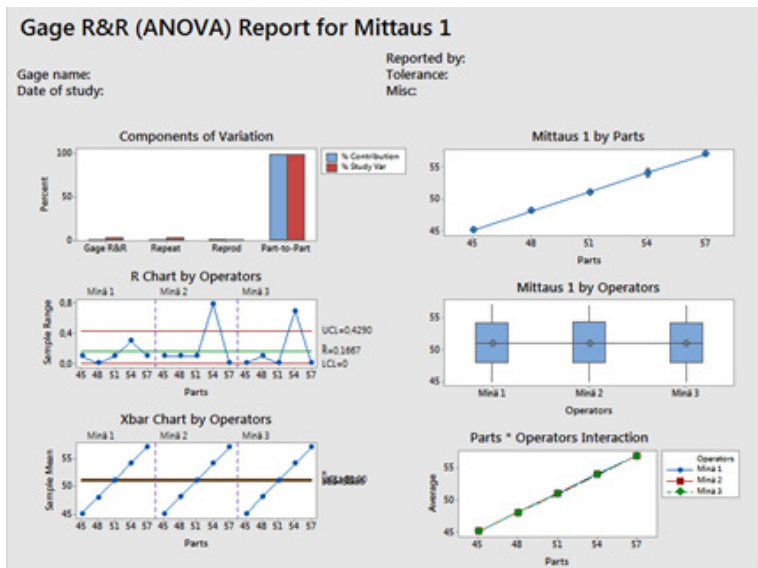
4.5.1 Mittaussysteemin luotettavuuden arviointi

Lämpö- ja kosteusmittarin luotettavuuden arviointi tehtiin testikammiossa, jossa ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus määräytyvät kammion asetuksista valittavan asetuksen mukaan. Kammiossa on erilliset lämpötila- ja kosteusanturit. Arvioitava mittapää asetettiin mittaamaan sijainniltaan kammionantureiden viereen. Mittauksen "testikappaleena" toimi viisi eri asetettua lämpötilaa ja mittaus suoritettiin joka lämpötilassa kolme kertaa. Arvioitava mittausanturi asetettiin kammioon mittausaukon kautta. Kahden ja puolen minuutin tasaantumisaajan kuluessa mittausnäytön osoittamat lämpötila- ja kosteusarvot kirjattiin ylös. Anturi poistettiin mittauskammioista ja sen annettiin jäähtyä puoli minuuttia hallitilassa ennen uusintamittauksen tekemistä. Mittalaitteen tuloksia verrattiin kammion omien antureiden mittaamiin tuloksiin.

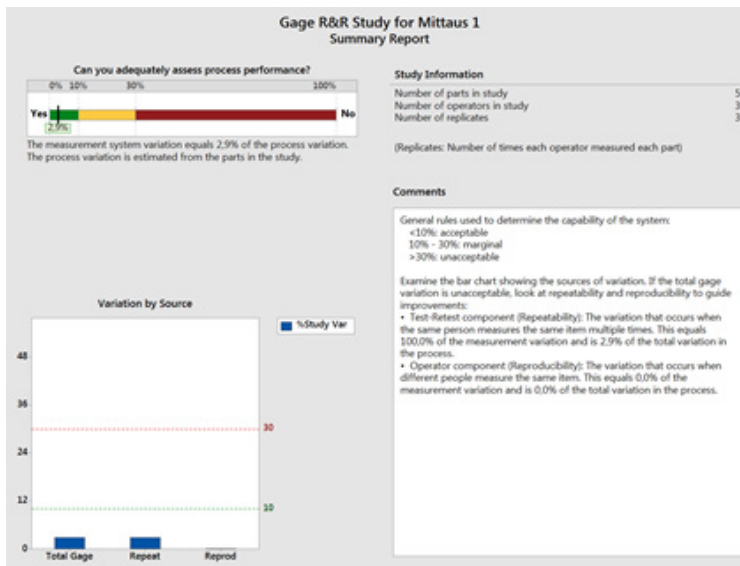


KUVA 9. HMI41-mittalaite ja HMP42-mittapää.

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty luotettavuuden arvioinnin tulokset. Kuvasta 10 on nähtävissä, että mittausmenetelmän arvioinnissa syntyvä vaihtelu johtui lähes täysin mitattavan lämpötilan vaihtelusta. Kuvasta 11 on luettavissa, että mittauksen aiheuttama vaihtelu kokonaisvarianssista on 2,9 %. Lämpötila- ja kosteusanturi todettiin luotettavaksi mittausmenetelmäksi.



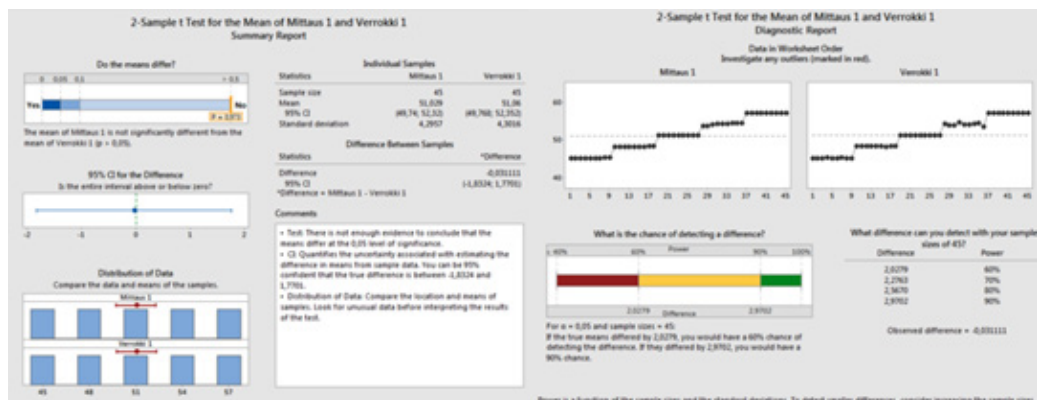
KUVA 10. Ratanopeusmittarin luotettavuuden arviointi.



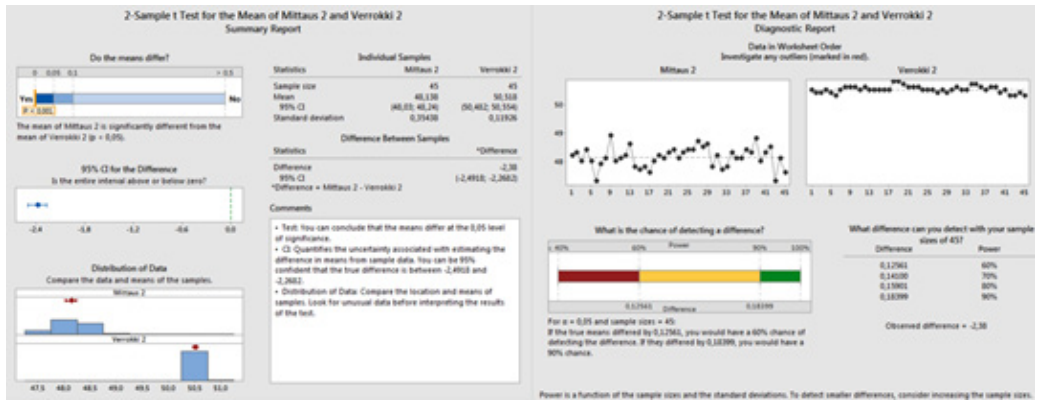
KUVA 11. Mittauksen aiheuttama vaihtelu kokonaisvariانسista.

4.5.2 Mittaussysteemin luotettavuuden arvioinnissa tehdyt havainnot

Samanaikaisesti lämpötila- ja kosteusmittauksen mittaussysteemin luotettavuuden arvioinnin kanssa suoritettiin vertailumittaus kammion lämpötila- ja kosteusantureiden kanssa. Mittaukset analysoitiin Mintabin 2-sample t-test –menetelmän avulla. Lämpötilamittauksen välillä ei ollut analysoinnin mukaan eroavaisuuksia. Kuvasta 12 on kuitenkin nähtävissä huojunta 54 °C:n lämpötilassa. Syynä huojuntaan voi olla toisen lämpötilayksikön käynnistyminen kammiossa. Kuvasta voidaan todeta, että kosteusmittauksessa antureilla on selkeä ero. Vaikka mittausmenetelmä todennettiin luotettavaksi, on anturi kalibroitava.



KUVA 12. Eroavaisuudet kahden eri lämpötilamittausanturin välillä.



KUVA 13. Eroavaisuudet kahden eri kosteusanturin välillä.

5. YHTEENVETO

Tehdyt toimenpiteet vahvistivat näkemystä siitä, että vaikka useat mittausmenetelmät ovat olleet pitkään ja vakiintuneessa käytössä, on mittauksen varmentaminen uusittava ennakkoon määritetyllä syklillä säännöllisesti suoritettavan mittalaitteiden kalibroinnin lisäksi. Useissa mittausmenetelmien varmentamisissa tarkennettiin työohjeita, ennen kuin mittaajasta johdettu mittaustuloksen vaihtelu saatiin hyväksyttävälle tasolle. Mittausolosuhteissa voi pitkällä aikavälillä tapahtua muutoksia, joilla on ratkaiseva vaikutus mittaustulokseen esimerkkinä muuttunut ilmavirtaus mittaustilassa. Arviointeja tehdessä todettiin myös eroavaisuuksia kalibroijujen mittauspäiden välillä. Nämä uusintakalibrointitarpeet eivät olisi tulleet esiin ilman suoritettuja arviointi.

LÄHTEET

1. Benham, D., Czubak, F., Down, M., Gruska, G. & Stahley, S. 2010. Measurement Systems Analysis. Reference Manual. 4. uudistettu painos. Southfield: AIAG.
2. Burke, E. & Silvestrini, R. 2017. The Certified Quality Engineer Handbook. 4. uudistettu painos. Milwaukee: ASQ.
3. Pesonen, M. 2017. MSA, Gage R&R ja tilastollinen laadunparannus ja ohjaus. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy.
4. George, M. 2002. Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed. New York: McGraw-Hill Education.
5. Kinnunen, S. 2018. Mittausten luotettavuuden varmistaminen (MSA). Ylivieska: Centria-ammattikorkeakoulu Oy.
6. Pyzdek, T. & Keller, P. 2018. The Six Sigma Handbook. 5. uudistettu painos. New York: McGraw-Hill Education.
7. Karjalainen, T. 2014. Informaation luotettavuus on usein kehityksen este – Tunnista mitaussysteemin vaihtelu. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy. Saatavissa: <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/mittaussysteemin-vaihtelu/> Viitattu 21.3.2019.
8. Piirainen, A. 2014. Vaihtelu. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy.

LUOTETTAVA MITTAUSPROSESSI

Mitattua dataa käytetään teollisuudessa aikaisempaa enemmän prosessin ohjauksessa ja erilaisten päätösten tekemisessä. Mittauksen luotettavuuden arvioinnin tärkeyttä ei kuitenkaan aina ymmärretä. Jos luotamme mittaustulokseen varmentamattansa paikkansapitävyyttä, emme tunnista todellisen mittausravon sekä mittausvirheen suuruutta. Tällöin saatamme luokitella laatukriteerit täyttävän tuotteen hylättäväksi tai aiheuttaa prosessiin vaihtelua säätämällä sitä epätarkan mittauksen perusteella. Kaikki tämä aiheuttaa yritykselle tarpeettomia kustannuksia. Mittausmenetelmän toistettavuuden ja uusittavuuden todentaminen tulisikin tehdä ennen menetelmien käyttöönottoa. Tällöin pystytään välttämään väärin johtopäätösten tekeminen virheellisen mittaustiedon perusteella.

Centria. Tutkimuksia, 9

ISBN 978-952-7173-45-9 (PDF)

ISSN 2342-9321