

Petteri Pulliainen

**3D-SKANNERIN MITTATARKKUUDEN RIITTÄVYYDEN TUTKIMINEN
VALUKAPPALEILLE**

3D-SKANNERIN MITTATARKKUUDEN RIITTÄVYYDEN TUTKIMINEN VALUKAPPALEILLE

Petteri Pulliainen
Opinnäytetyö
Syksy 2022
Konetekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma, tuotantotekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Petteri Pulliainen

Opinnäytetyön nimi: 3D-skannerin mittatarkkuuden riittävyyden tutkiminen valukappaleille

Työn ohjaajat: Esa Kontio, Timo Kronqvist

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2022

Sivumäärä: 23+1 liite

Tämä opinnäytetyön toimeksiantaja on raahelainen Raahen Valimo Oy, joka on valimoalalla toimiva yritys. Opinnäytetyön aiheena on 3D-skannerin mittatarkkuuden riittävyyden tutkiminen valukappaleille. Opinnäytetyössä käytetty valukappale mitattiin alihankintakonepajan koordinaattimitauskoneella, minkä jälkeen se 3D-skannattiin Raahen Valimo Oy:n tiloissa. Työn tavoitteena oli saada konkreettista näyttöä 3D-skannerin mittatarkkuuden riittävyydestä valukappaleille.

Teoriaosuudessa käsiteltiin, millaisia 3D-skannausmenetelmiä on olemassa, sekä teräsvalimoprosessi asiakastilauksesta toimitukseen ja pohdittiin, miten 3D-skanneria voidaan hyödyntää valimolla. Havainto-osassa kuvailtiin, miten mittaukset tapahtuivat. Opinnäytetyössä käytetty kappale mitattiin alihankintakonepajan koordinaattimitauskoneella, minkä jälkeen se 3D-skannattiin Raahen Valimo Oy:n tiloissa yrityksen 3D-skannerilla. 3D-skannauksen avulla saadusta datasta poimitiin 50 mittaa.

Lopputuloksena tutkimukseni perusteella voidaan todeta, että 3D-skannerin mittatarkkuus on riittävä ja luotettava valukappaleiden tutkimiseen. 50 eri mittapisteen keskiarvo oli 81,11 mm ja referenssimitta 81,15 mm eli 3D-skannerilla saatujen mittaustulosten keskimääräinen erotus referenssimittaustulokseen oli 0,04 mm.

Kehitysehdotuksina skannerin hyödyntämiseen ovat kappaleiden satunnaistarkastus tuotannon eri vaiheissa. Laadunvarmistuksen ideana on valita pistotarkastuksena kappaleita, jotka skannataan, jotta saadaan mahdollisimman satunnainen otanta. Skannauksen tulee kuitenkin tapahtua sellaisessa vaiheessa, ettei se hidasta itse tuotantoprosessia. Satunnaistarkastuksien avulla tuotannosta voidaan löytää virheellinen tuote ja lopettaa sen työstäminen. Näin säästytään turhalta, arvoa lisäämättömältä työltä ja säästetään tuotannon kokonaiskustannuksissa.

Asiasanat: 3D-skannaus, teräsvaluprosessi, valutoleranssi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering, Option of Production Engineering

Author: Petteri Pulliainen

Title of thesis: Evaluation for accuracy of 3D scanner for casts

Supervisors: Esa Kontio, Timo Kronqvist

Term and year when the thesis was submitted: Fall 2022

Number of pages: 23+1 appendix

This thesis is made for Raahen Valimo Oy, which is a company working in the foundry industry. The subject of the thesis was to do research, whether the dimensional accuracy of a 3D scanner is sufficient for foundry. The foundry part used in the thesis was measured in the subcontract machining company using their coordinate measurement device and afterward it was 3D scanned in Raahen Valimo Oy. The goal of the thesis was to get concrete results, whether the dimensional accuracy of a 3D scanner is sufficient for foundry.

The theoretical section of the thesis described different 3D scanning methods, described the process of a steel foundry from customer order to delivery, and considered how a 3D scanner can be utilized in a foundry. The theoretical section was followed by the research section. The dimensional accuracy was examined by scanning the machined casting piece, and then comparing the values obtained with the values measured with a coordinate measuring machine.

As the result of my thesis, it can be concluded that the dimensional accuracy of a 3D scanner is sufficient and reliable to examine machined castings. The average dimension of the 50 different measure points was 81,11 mm and the reference dimension was 81,5 mm. So, the difference between them was 0,04 mm.

One of the development suggestions for which the 3D scanner can be used is the random inspection of parts at different cleaning stages of production. The idea of quality assurance is to randomly select samples to be scanned to obtain the most random sampling possible. However, the scan should take place at such a stage that it does not slow down the production process itself. Random inspections can be used to find defect products in production and stop processing them. This avoids unnecessary, nonvalue-adding work and reduces the total cost of production.

Keywords: 3D scanning, steel casting process, casting tolerance

ALKULAUSE

Tämän opinnäytetyön on kirjoittanut Petteri Pulliainen Raahen Valimo Oy:lle. Opinnäytetyön ohjaavana opettajana toimi lehtori Esa Kontio sekä yrityksen puolelta myyntipäällikkö DI Timo Kronqvist. Haluan kiittää heitä suuresti opinnäytetyön tekemisen tukemisesta ja mahdollistamisesta. Lisäksi kiitän lämpimästi Raahen Valimo Oy:n henkilökuntaa asiantuntevasta perehdytyksestä valimoalaan.

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 8 |
| 2 | 3D-SKANNAUSMENETELMÄT | 9 |
| 2.1 | Koskettava skannaustekniikka | 9 |
| 2.2 | Ei-koskettava skannaustekniikka..... | 10 |
| 2.3 | Aktiiviset ei-koskettavat skannaustekniikat..... | 10 |
| 2.3.1 | Kulkuaiquatekniikka | 10 |
| 2.3.2 | Vaihesiirtotekniikka | 11 |
| 2.3.3 | Laser-kolmiomittaustekniikka | 11 |
| 3 | 3D-SKANNERIN HYÖDYNTÄMINEN TERÄSVALUPROSESSIN ERI VAIHEISSA..... | 13 |
| 3.1 | Valimon tuotantoprosessi asiakastilauksesta tuotteiden luovutukseen..... | 13 |
| 3.2 | Skannerin hyödyntämismahdollisuudet valimolla | 15 |
| 4 | KONEISTETUN VALUKAPPALEEN MITTAUKSET, TULOKSET JA JOHTO PÄÄTÖKSET | 19 |
| 4.1 | Osien skannaaminen..... | 19 |
| 4.2 | Tulokset ja johtopäätökset..... | 20 |
| | YHTEENVETO..... | 22 |
| | LÄHTEET..... | 23 |
| | LIITTEET | 25 |

SANASTO

| | |
|-------------------|--|
| 3D-skannaus | kontaktiton, ainetta rikkomaton tarkastelumenetelmä, joka kerää skannattavasta kappaleesta tietoa pistepilvenä ja piirtää sen avulla kappaleen muodot 3D-ohjelmaan |
| kaavaus | hiekkamuottimenetelmän työvaihe, jossa kaavaushiekasta muotoillaan valumallien avulla kertamuotti kappaleen valamista varten |
| keerna | valumuotin erillinen tulenkestävästä hiekkaseoksesta valmistettu ja koveitettu osa, joka asetetaan valukappaleeseen muodostamaan reikiä ja onkaloita, tyypillisimmät keernat ovat siipikeernoja, jotka antavat juoksupyörille siipien muodot |
| koneistusvara | valukappaleessa oleva ylimääräinen materiaali, joka poistetaan koneistamalla |
| prototyyppivalu | testivalu, joka yleensä tehdään ennen varsinaisen sarjatuotannon aloittamista ja varmistetaan, että tuote täyttää sille annetut mitat ja muut vaatimukset |
| teräsvaluprosessi | kaikki vaiheet, jota täytyy tehdä, jotta |
| valukappale | valamalla yleensä raudasta tai teräksestä valmistettu kappale |
| valumalli | kappale, jota käytetään valumuottien valmistamiseen |
| valutoleranssi | vaihteluväli, jonka sisälle valetun kappaleen mittojen poikkeamat tulee mahtua |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä on tutkittu 3D-skannerin mittatarkkuutta ja sen riittävyttä koneistetuille valukappaleille. Mittatarkkuuden riittävyden tutkiminen tapahtuu vertailemalla 3D-skannerin avulla saatua mittausdataa alihankintakoneistusyrityksen koordinaattimittauskoneella tehtyihin mittauksiin.

Työn teettäjänä on valimoalalla toimiva Raahen Valimo Oy. Lähtötilanteessa yrityksen haasteena oli valukappaleiden käsimittausten hitaus ja haastavuus. Tavoitteena on ottaa 3D-skanneri käyttöön tehtaalla laadunhallinnan aputyökaluksi ja tutkia skannerin mittatarkkuutta. Toisena tavoitteena on tutkia, pohtia, missä valimoprosessin eri vaiheissa Creaform GO!SCAN 3D -skanneria voidaan hyödyntää.

Havainto-osassa saatua dataa verrataan koordinaattimittauskoneella tehtyihin. Työ voidaan katsoa onnistuneeksi, kun on saatu konkreettisia tuloksia siitä, soveltuuko laite valimon mittauksiin.

2 3D-SKANNAUSMENETELMÄT

3D-skannaus on kontaktiton, ainetta rikkomaton tarkastelumenetelmä, joka kerää skannattavasta kappaleesta tietoa pistepilvenä ja piirtää sen avulla kappaleen muodot 3D-ohjelmaan. Laserkannerin avulla saadaan skannattavan kappaleen tarkat mitat ja muodot selville. Laserskannerit soveltuvat erinomaisesti geometrisesti monimutkaisten kappaleiden mittaukseen ja tarkasteluun. (1.) Geometrisesti monimutkaiset kappaleet tarvitsevat runsaasti erilaisia mittauksia, jos niiden mittamiseen käytetään perinteisiä, koskettavia mittausten menetelmiä, kuten koordinaattimittauskoneita.

Koskettavassa menetelmässä datan kerääminen tapahtuu kappaletta koskettavalla mittapäällä. Koskettavat mittausten menetelmät ovat hitaita käyttää verrattuna 3D-laserskannereihin. Laserskannerit toimivat noin 10–1 500 kilohertsin taajuudella. Nopeimmat koordinaattimittauskoneet puolestaan toimivat vain noin 200 hertsin taajuudella. 3D-laserskannerit voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan: koskettaviin ja ei-koskettaviin tekniikoihin ja ei-koskettavat edelleen aktiivisiin ja passiivisiin. Koordinaattimittauskone on esimerkki koskettavasta mittaustekniikasta. (2.)

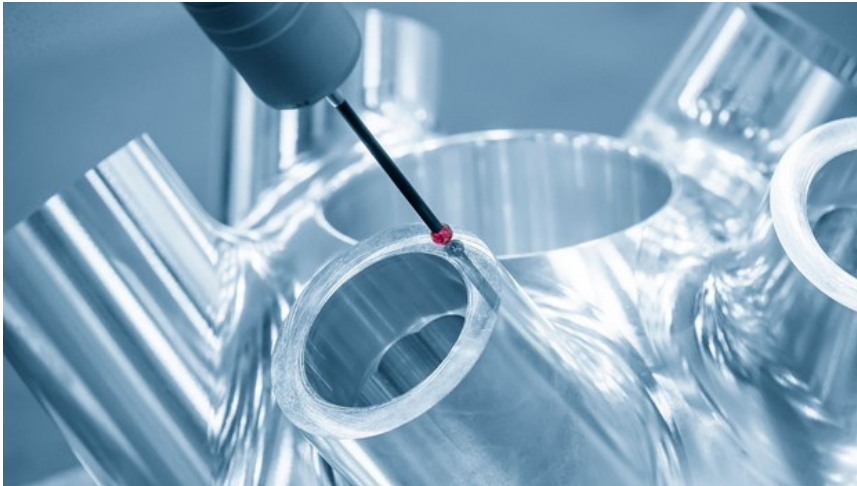
2.1 Koskettava skannaustekniikka

Koskettava skannaustekniikka perustuu siihen, että datan kerääminen tapahtuu koskettamalla skannattavaa kohdetta useista pisteistä. Koskettavan skannaustekniikan hyviä puolia ovat sen mitattarkkuus ja kyky skannata läpinäkyviä tai heijastavia pintoja, kuten koneistuspinnoja. Koskettavan laitteen huonoja puolia on, että se on hidas eikä toimi monimutkaisten muotojen omaavien kappaleiden skannaukseen. Koordinaattimittauskone on esimerkki koskettavasta skannaustekniikasta. (3.)

Koordinaattimittauskone koostuu yleensä kolmesta pääkomponentista eli kosketinjärjestelmästä, mittauspöydästä ja tietokonepäätteestä. Koordinaattimittauskone mittaa pisteitä XYZ-koordinaatistossa ja sen avulla voidaan laskea mitattavan kappaleen dimensioita. Kosketinjärjestelmiä on olemassa koskettava, ei-koskettava ja näiden yhdistelmä. Koskettavassa kosketinjärjestelmässä on koskettava pää, joka on yleensä pallo tai kiekko, joka käy koskettamassa mitattavaa kappaletta ja tietokoneohjelmisto analysoi ja prosessoi. Kuvassa 1 on koskettavan koordinaattimittauskoneen mittapää. (4.)

2.2 Ei-koskettava skannaustekniikka

Ei-koskettavat kosketinjärjestelmät hyödyntävät kameraa tai laseria. Ne hyödyntävät joko laserskannausantureita ja valkovoaloantureita.



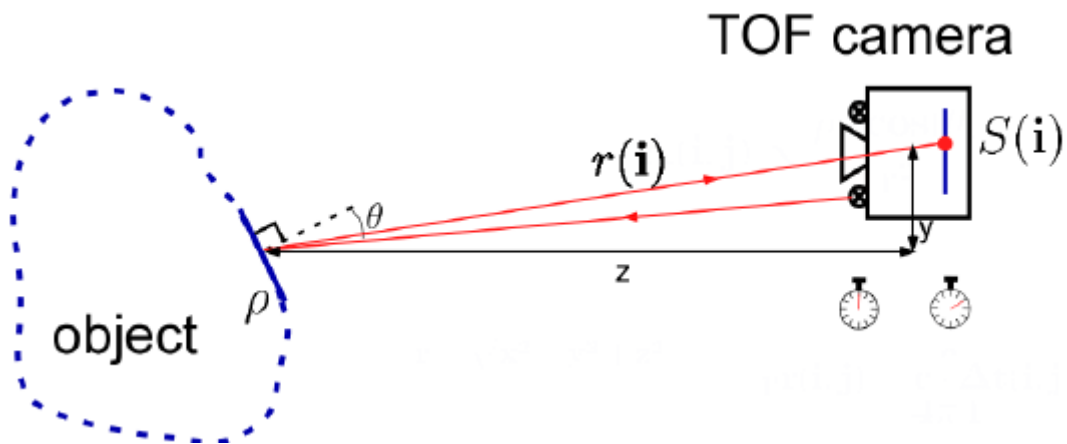
KUVA 1. Koordinaattimittauskonen koskettava mittauspää (4.)

2.3 Aktiiviset ei-koskettavat skannaustekniikat

Aktiiviset ei-koskettavat skannaustekniikat tarvitsevat skannerin tuottaman valonlähteen, kuten laservalon, jonka avulla ne lukevat kappaleen muotoja. Aktiiviset ei-koskettavat tekniikat voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: kulkuaiquatekniikka, vaihesiirtotekniikka ja kolmiomittaustekniikka. (2.)

2.3.1 Kulkuaiquatekniikka

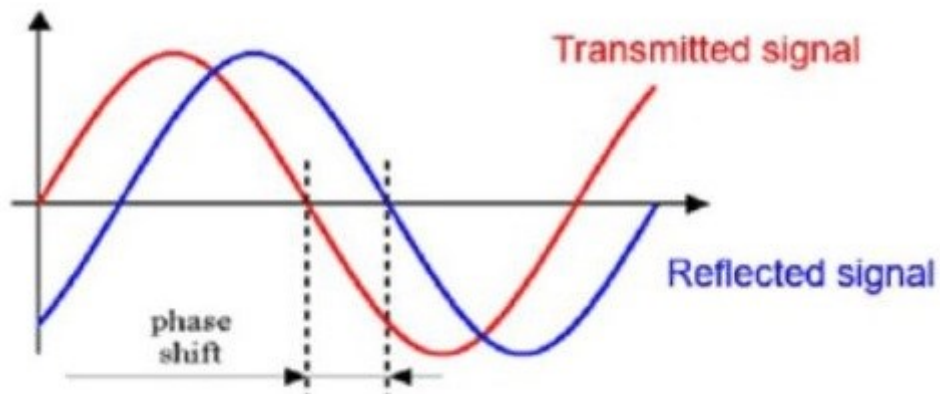
Kulkuaiquatekniikka (englanniksi Time-of-Flight) on skannaustekniikka, joka perustuu mittalaitteen sensorin ja skannattavan kappaleen väliseen aikaeroon. Tekniikka käyttää laservaloa skannattavan kappaleen tutkimiseen. Laservalon avulla lähetetään skannattavalle kappaleelle valoimpulssi, minkä jälkeen Time-of-flight-skannerissa oleva laseretäisyysmittari mittaa aikaa, joka valolla kestää palata kameralle. Kulkuaiquatekniikan periaate on esitetty kuvassa 2. (2.)



KUVA 2. Kulkuaiquatekniikka (2.)

2.3.2 Vaihesiirtotekniikka

Vaihesiirtotekniikassa skanneri lähettää lasersäteen, joka heijastuu laserskanneriin. Skanneri pyörii 360 astetta horisontaalisesti. Skannerin peilikuva palauttaa lasersäteen vertikaalisesti kappaletta kohti. Horisontaalisen kulman laskenta tapahtuu samanaikaisesti etäisyyden mittauksen kanssa. vaihesiirto -tekniikka muistuttaa kulkuaiquatekniikkaa. Kuvassa 3 on esitetty vaihesiirtotekniikan periaate. (5.)

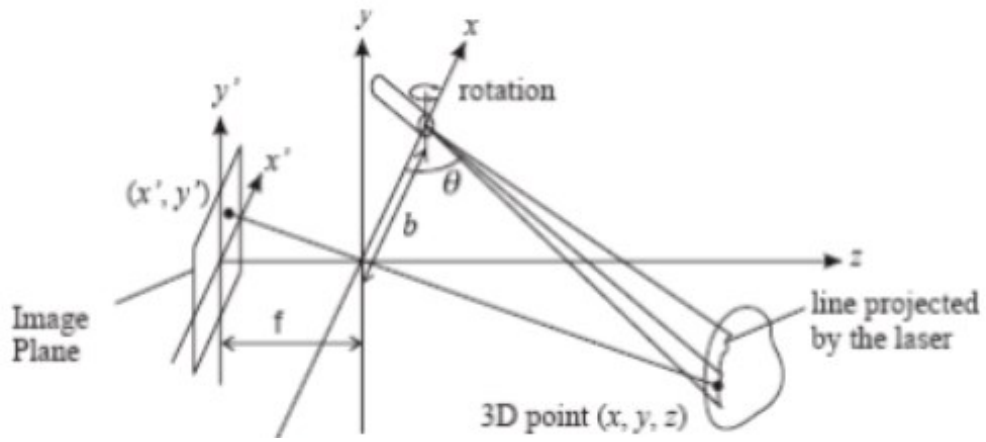


KUVA 3. Vaihesiirtotekniikka (5.)

2.3.3 Laser-kolmiomittaustekniikka

Laserkolmiomittauksen ideana on, että skanneri lähettää skannattavaan kappaleeseen yhden tai useamman lasersäteen tai -pisteen. Skannerissa oleva kamera tarkastelee samanaikaisesti

kappaleen paikkaa ja kun laserin ja kameran välinen kulma tunnetaan, niin voidaan näiden avulla laskea kappaleen paikka. (6.). Kuvassa 3 näkyy laserkolmiomittauksen periaate.



KUVA 3. Laserkolmiomittauksen periaate (6.)

3 3D-SKANNERIN HYÖDYNTÄMINEN TERÄSVALUPROSESSIN ERI VAIHEISSA

3.1 Valimon tuotantoprosessi asiakastilauksesta tuotteiden luovutukseen

Valimon tuotantoprosessi alkaa sillä, että asiakas tekee tilauksen, minkä jälkeen valimo suunnittelee ja tilaa valumallit valumallivalmistajalta. Valumallit ovat asiakkaan omaisuutta. Tämän jälkeen tuotannosuunnittelija luo tuotetta varten uuden nimikkeen ja määrittelee sille sulatusnumeron ja käytettävän valumallin. Halutut ominaisuudet määrittävät valukappaleen koostumuksen, materiaalityypin, tehtävät lämpökäsittelyt, testit ja tarkastukset.

Mallivarasto toimittaa mallit kaavauspaikalle valmiiksi hieman ennen kaavauksen aloitusta ja raportoi tuotannonohjausjärjestelmään vapaina ja käytössä olevista malleista. Kun valumallin puoliskot ovat saapuneet valimolle, niin ne siirretään kaavauspaikalle. Valumallin alapuoli antaa kappaleelle alapuolen muodon ja yläpuoli yläpuolen muodon. Muotin puoliskoihin lisätään kaavauskehät, syöttökuvut, valukanavisto ja jäähdytyskokillit. Sula teräs syötetään syöttökuvuista ja se virtaa valukanavistoa pitkin. Näin mahdollistetaan muotin oikea-aikainen täyttyminen. Jäähdytyskokillien avulla voidaan nopeuttaa kappaleen jäähtymistä. Syöttökupujen, valukanaviston ja jäähdytyskokillien lisäämisen jälkeen muotin puoliskot täytetään kaavaushiekalla.

Hiekka tampataan tiiviiksi käsityökalun avulla, minkä jälkeen sen annetaan kovettua. Kaavaushiekka sisältää hartsia ja koveteainetta, mitkä mahdollistavat hiekan kovettumisen. Kovettumisen jälkeen valumalli poistetaan muotin puolikkaista. Muotin alapuoliskoon lisätään keernapaketti ja asettelemisen jälkeen se täytetään maalin ja etyylialkoholin sekoituksella eli peitostemaalilla. Tämän jälkeen muotti sytytetään palamaan ja sen annetaan kuivua. Peitosteen tehtävä on varmistaa, että keernapaketti ja muotti kestävät valamisen korkeat lämpötilat. Muotin puolikkaat laitetaan yhteen ja muotti siirretään valukentälle ja valetaan, kun valukentällä on riittävästi muotteja. Sulan koostumus todetaan näytteenotolla. Valamisen jälkeen valumuotin annetaan jäähtyä, minkä jälkeen valettu kappale irrotetaan muotista tärypöydän avulla.

Jäähtymisen jälkeen tuote pintapuhdistetaan sinkopuhdistuksella. Sinkopuhdistusta seuraa syöttökupujen, jäähdytyskokillien ja valukanaviston poistaminen mekaanisesti polttoleikkauksen avulla.

Seuraava prosessivaihe on hiilikaaritaltaus, jossa valukappaleesta poistetaan syöttötäytteet. Tämän jälkeen valukappaleen pinta hiotaan tasaiseksi. Puhdistusvaihetta seuraa lämpökäsittely, mahdollinen tuotantohitsaus ja NDT-tarkastukset. Kuvassa 4 on esitetty valimoprosessin eri vaiheet asiakastilauksesta toimitukseen.



KUVA 4. Prosessikaavio asiakastilauksesta tuotteiden luovutukseen

3D-skanneri antaa jatkossa mahdollisuuden käännteissuunnitteluun. Osa valimon asiakkaiden mit-tapiirustuksista on niin vanhoja, ettei niistä ole olemassa CAD-malleja. Nämä saadaan luotua skannaamalla valumallit. Valumallien kohdalla 3D-skanneria voidaan hyödyntää muun muassa luomalla niille tarkastussuunnitelma, mikä voisi olla eräänlainen kulumisesta johtuvien mittamuutosten tarkastus määrävälein. Ensiksi tarvitaan referenssipiirustus, joka voi olla esimerkiksi mallisuunnittelukuva, johon tarkastukseen tulevia kehiä voidaan verrata. Yksi hyvä käytäntö voisi olla, että kun asiakkailta tulee uusia valumalleja, ne skannataan käyttöönototarkastuksen yhteydessä. Näin voidaan myös varmistua uusien valumallien laadusta.

3.2 Skannerin hyödyntämismahdollisuudet valimolla

Creaform GO!SCAN valittiin valimolle, koska se oli helppokäyttöinen ja sisälsi hyvän käyttötuen. Valimolla on käytössä tarkastustyökaluina eri kokoisia työntömittoja, mikrometrejä, länkiharppeja, perinteisiä harppeja, Levelfix CL102R -tasolaserlaite sekä röntgenmittauslaite. Kuvassa 5 on valimon käytössä oleva tasolaserlaite. Työntömitoilla voidaan tarkastella valukappaleiden päämitat. Länkiharppeja ja perinteisiä harppeja käytetään seinämävahvuuksien tarkastelemiseen. Tasolaserlaitteen avulla voidaan käyttää kappaleen kohtisuoruuden tarkistamisen ja käsimittauksen apuna.



KUVA 5. Levelfix CL102R -tasolaserlaite

Osa valimon tuotteista on muodoiltaan niin monimutkaisia, että niiden mittaaminen perinteisillä työkaluilla on hidasta ja haastavaa, osa jopa mahdottomia. Valimolle hankittu skanneri on nimeltään Creaform GO!SCAN SPARK 3D. Skanneri hyödyntää VXelements -ohjelmaa, ja sen tekniikka perustuu kolmiolaskentaan. (3) Kuvassa 6 on valimolle hankittu Creaformin 3D-skanneri. Taulukossa 1 on esitetty skannerin teknisiä tietoja, kuten mittatarkkuus, mittausresoluutio ja skannausalue.



KUVA 6. Creaform GO!SCAN SPARK 3D

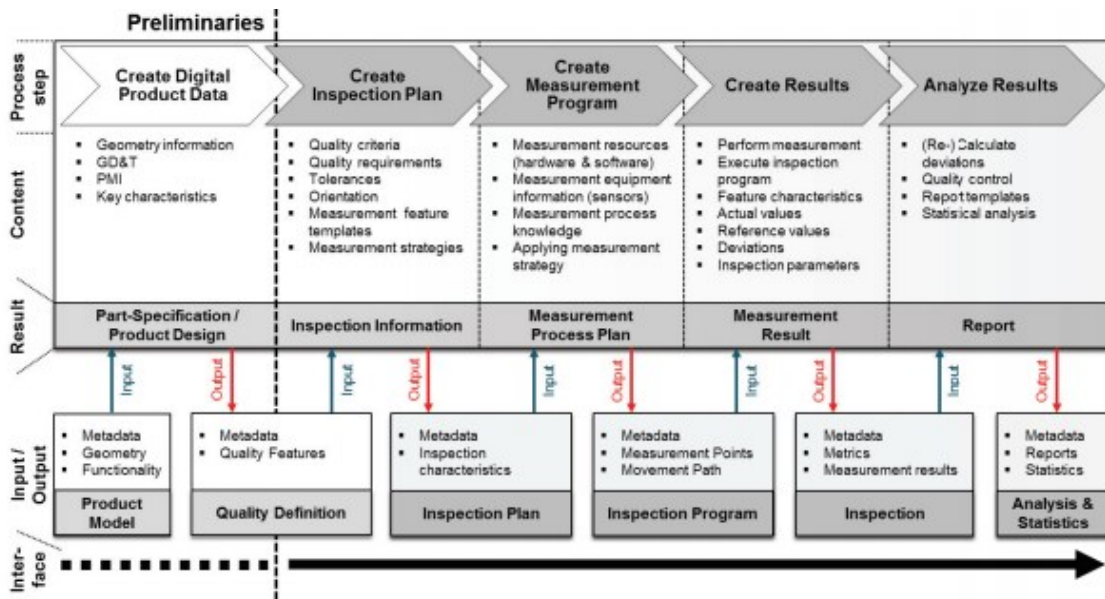
| TECHNICAL SPECIFICATIONS | |
|--|--|
| Innovating technology that provides TRUaccuracy™, TRUsimplicity™, TRUportability™ as well as real speed to your professional-grade applications. | |
| Go!SCAN SPARK™ | |
| ACCURACY ⁽¹⁾ | Up to 0.050 mm |
| VOLUMETRIC ACCURACY ⁽²⁾ (based on part size) | 0.050 mm + 0.150 mm/m |
| VOLUMETRIC ACCURACY WITH MaxSHOT Next™ I Elite ⁽³⁾ | 0.050 mm + 0.015 mm/m |
| MEASUREMENT RESOLUTION | 0.100 mm |
| MESH RESOLUTION | 0.200 mm |
| MEASUREMENT RATE | 1,500,000 measurements/s |
| LIGHT SOURCE | White light (99 stripes) |
| POSITIONING METHODS | Geometry and/or color and/or targets |
| SCANNING AREA | 390 x 390 mm |
| STAND-OFF DISTANCE | 400 mm |
| DEPTH OF FIELD | 300 mm |
| PART SIZE RANGE (recommended) | 0.1-4 m |
| TEXTURE RESOLUTION | 50 to 200 DPI |
| TEXTURE COLORS | 24 bits |
| SOFTWARE | VXelements |
| OUTPUT FORMATS | .dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr, .3mf |

TAULUKKO 1. Valimon käytössä olevan 3D-skannerin tekniset ominaisuudet (3.)

Ensisijaisesti skannerin hyödyntämisen on ajateltu olevan valukappaleiden skannaaminen tuotannon eri vaiheissa muun muassa lämpökäsittelyn, tarkastuksen ja koneistuksen jälkeen. Skannattuja kappaleita voidaan verrata valusuunnittelu- ja koneistuskuviin. Käsien täytettävän mittapöytäkirjan laatiminen on hidasta ja skannerin avulla tätä voidaan nopeuttaa. Mittausdatan analysointiohjelman avulla kappaleiden mitoille voidaan määrittellä oikeat toleranssit ja luoda mittapöytäkirja, jolla saadaan luotua eräänlainen hyväksyntä/hylkäysperusta. Osa valimon tuotteista lähtee asiakkaille valutilassa ja osa valmiiksi koneistettuina tuotteina. Valimo hyödyntää koneistuksessa alihankintakoneistusyrityksiä. Alihankintakoneistukseen lähtevä valukappale voidaan skannata ennen lähtetystä ja koneistajalle voidaan antaa arvokasta dataa, kuten kappaleen koneistusvarat ja niiden riittävyys. Nämä helpottavat esimerkiksi työstöratojen tekoa ja kappaleen asettamista koneeseen.

Toinen, mihin 3D-skanneria voidaan käyttää, on kappaleiden satunnaistarkastus tuotannon eri puhdistusvaiheissa. Idea tähän syntyi vieraillessani tuotannossa. Yleisiä valuvirheitä ovat jakotason tai keernan siirtyminen, ne ovat olleet väärällä kohdalla tai muotinpuoliskot eivät ole kohdistuneet oikein toisiinsa nähden. Keerna on voinut olla väljästi keernasijoillaan, minkä seurauksena se on voinut liikkua. Laadunvarmistuksen ideana on, että valitaan pistotarkastuksena kappaleita, jotka skannataan, jotta saadaan mahdollisimman satunnainen otanta. Skannauksen tulee kuitenkin tapahtua sellaisessa vaiheessa, ettei se hidasta tuotantoprosessia. Tarkastuksien avulla voidaan keskeyttää virheellisten tuotteiden työstäminen ja näin voidaan säästyä turhalta työltä. Kuvassa 7 on esitelty referenssimenetelmä.

Skannerin hyödyntämisvaihtoehtoja voidaan pohtia esimerkiksi kuvan 7 avulla lukuun ottamatta ensimmäistä vaihetta, joka on digitaalisen tuotedatan luominen. Menetelmän eri vaiheet ovat tarkastelu suunnitelman luominen, mittausohjelman luominen, tulosten luominen ja saatujen tulosten analysointi. (2.)



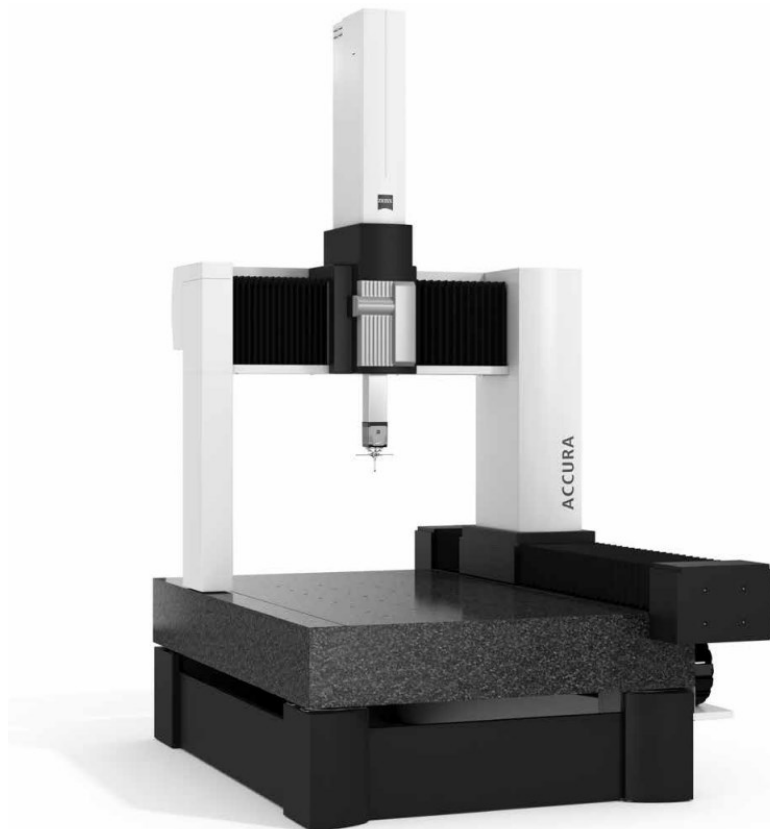
KUVA 7. Refersenssimenetelmä (2.)

4 KONEISTETUN VALUKAPPALEEN MITTAUKSET, TULOKSET JA JOHTO PÄÄTÖKSET

4.1 Osien skannaaminen

Erään asiakkaan prototyypivalukappale koneistettiin Miilumachine Oy:llä, minkä jälkeen se mitattiin yrityksen koordinaattimittauskoneella. Tämän jälkeen kappale skannattiin Raahen Valimo Oy:n tiloissa yrityksen 3D-skannerilla. Skannauksen avulla saadusta datasta poimittiin 50 mittaa mitta-pisteestä X3-1. Mitat otettiin hieman eri kohdasta kappaletta.

Koordinaattimittakoneen mitta-arvoja voidaan pitää referenssimittoina, sillä sen valmistajan tuotekatalogissa annetaan teoreettiseksi mittavirheeksi 3,7 µm. Mittaukseen käytetty koordinaattimittakone on merkiltään Zeiss Accura 20/24/15 (kuva 8).



KUVA 8. Zeiss Accura 20/24/15

4.2 Tulokset ja johtopäätökset

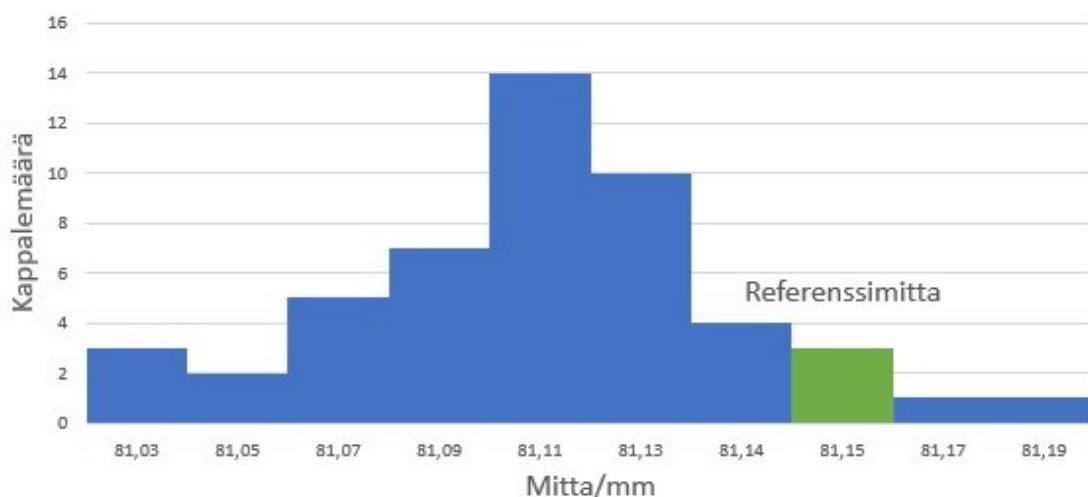
Valimolla käytetään SFS-EN ISO 8062 standardin valutoleranssia DCTG12, joka on esitetty taulukossa 3. Voidaan sanoa, että mittausepävarmuus saa olla korkeintaan yksi kymmenesosa toleranssissa (niin kutsuttu dekadisääntö). Taulukon 2 valutoleranssin mukaan 63–100 mm nimellismittalla sallittu toleranssi on 6 mm eli mitta saa olla korkeintaan 3 mm suurempi tai korkeintaan 3 mm pienempi kuin sille annettu nimellismitta.

| Muotilla valmistetun kappaleen nimellismitta | | Valukappaleiden pituusmittojen toleranssit mittatoleranssiasteiden (DCTG) ^a mukaan | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------------|
| | | DCTG 1 | DCTG 2 | DCTG 3 | DCTG 4 | DCTG 5 | DCTG 6 | DCTG 7 | DCTG 8 | DCTG 9 | DCTG 10 | DCTG 11 | DCTG 12 | DCTG 13 | DCTG 14 | DCTG 15 | DCTG 16 ^b |
| – | ≤10 | 0,09 | 0,13 | 0,18 | 0,26 | 0,36 | 0,52 | 0,74 | 1 | 1,5 | 2 | 2,8 | 4,2 | – | – | – | – |
| > 10 | ≤16 | 0,1 | 0,14 | 0,2 | 0,28 | 0,38 | 0,54 | 0,78 | 1,1 | 1,6 | 2,2 | 3 | 4,4 | – | – | – | – |
| > 16 | ≤25 | 0,11 | 0,15 | 0,22 | 0,3 | 0,42 | 0,58 | 0,82 | 1,2 | 1,7 | 2,4 | 3,2 | 4,6 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| > 25 | ≤40 | 0,12 | 0,17 | 0,24 | 0,32 | 0,46 | 0,64 | 0,9 | 1,3 | 1,8 | 2,6 | 3,6 | 5 | 7 | 9 | 11 | 14 |
| > 40 | ≤63 | 0,13 | 0,18 | 0,26 | 0,36 | 0,5 | 0,7 | 1 | 1,4 | 2 | 2,8 | 4 | 5,6 | 8 | 10 | 12 | 16 |
| > 63 | ≤100 | 0,14 | 0,2 | 0,28 | 0,4 | 0,56 | 0,78 | 1,1 | 1,6 | 2,2 | 3,2 | 4,4 | 6 | 9 | 11 | 14 | 18 |
| > 100 | ≤160 | 0,15 | 0,22 | 0,3 | 0,44 | 0,62 | 0,88 | 1,2 | 1,8 | 2,5 | 3,6 | 5 | 7 | 10 | 12 | 16 | 20 |
| > 160 | ≤250 | – | 0,24 | 0,34 | 0,5 | 0,7 | 1 | 1,4 | 2 | 2,8 | 4 | 5,6 | 8 | 11 | 14 | 18 | 22 |
| > 250 | ≤400 | – | – | 0,4 | 0,56 | 0,78 | 1,1 | 1,6 | 2,2 | 3,2 | 4,4 | 6,2 | 9 | 12 | 16 | 20 | 25 |
| > 400 | ≤630 | – | – | – | 0,64 | 0,9 | 1,2 | 1,8 | 2,6 | 3,6 | 5 | 7 | 10 | 14 | 18 | 22 | 28 |
| > 630 | ≤1 000 | – | – | – | – | 1 | 1,4 | 2 | 2,8 | 4 | 6 | 8 | 11 | 16 | 20 | 25 | 32 |
| > 1 000 | ≤1 600 | – | – | – | – | – | 1,6 | 2,2 | 3,2 | 4,6 | 7 | 9 | 13 | 18 | 23 | 29 | 37 |
| > 1 600 | ≤2 500 | – | – | – | – | – | – | 2,6 | 3,8 | 5,4 | 8 | 10 | 15 | 21 | 26 | 33 | 42 |
| > 2 500 | ≤4 000 | – | – | – | – | – | – | – | 4,4 | 6,2 | 9 | 12 | 17 | 24 | 30 | 38 | 49 |
| > 4 000 | ≤6 300 | – | – | – | – | – | – | – | – | 7 | 10 | 14 | 20 | 28 | 35 | 44 | 56 |
| > 6 300 | ≤10 000 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 11 | 16 | 23 | 32 | 40 | 50 | 64 |

^a Seinämänpaksuuksille asteilla DCTG 1...DCTG 15 käytetään yhtä astetta suurempaa toleranssia (ks. kohta 7).

TAULUKKO 2. Valukappaleiden pituusmittojen toleranssit mittatoleranssiasteiden (DCTG)^a mukaan (12.)

Mittapisteen nimellismitta on 81,15 mm. Kuvassa 10 on esitetty 50 mittauksen jakauma. Kuvan 10 perusteella voidaan todeta, että mittaukset ovat normaalijakautuneita, sillä suurin osa mittauksista sijaitsee histogrammin keskellä. Kuvan perusteella voidaan todeta, että 3D-skannerin avulla saadut mitat ovat hieman referenssimittaa pienempiä. 50 mittauksesta 45 ovat pienempiä kuin referenssimitta, 3 mittausta samansuuruisia referenssin kanssa ja 2 mittausta ovat referenssimittaa suurempia.



KUVA 10. Piste X3-1 histogrammi.

3D-skannerilla saatujen mittaustulosten keskiarvo on 81,11 mm eli 0,04 mm pienempi kuin referenssimitta. Ulkoisia epävarmuustekijöitä mittauksia tehdessä olivat tarkastuspaikan lämpötila ja kosteus, mitkä jäivät valimolla mittaamatta. Tilastollisen tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että 3D-skannerin tarkkuus on riittävä koneistettujen valukappaleiden tutkimiseen.

Haasteena 3D-skannerissa on, että sen kamera ei riitä skannaamaan koneistetuissa kappaleissa olevia pieniä reikiä, joten skannerin ominaisuuksia voidaan myös pitää eräänlaisina epävarmuustekijöinä. Myös skannausdatan mittapisteiden ottaminen on ulkoinen epävarmuustekijä, koska siinä mittaustulosten analysoija ottaa mittapisteet halutuista kohdista ja ne voi helposti ottaa väärin.

YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tutkittiin skannerin mittatarkkuuden riittävyyttä valukappaleisiin. Valimo toimintaympäristönä oli itselleni täysin tuntematon ennen opinnäytetyön aloittamista, mutta opin työtä tehdessäni paljon valimosta ja valimoteknisistä asioista. Opinnäytetyössä käytettävän valukappaleen analysointi lisäsi ymmärrystäni valu- ja koneistustoleransseista ja niiden merkityksestä. Työssä saavutettiin kaikki oleelliset tavoitteet eli skanneri saatiin käyttöön hyödyntämään sisäistä sekä ulkoista laadunhallintaa ja saatiin tutkittua 3D-skannerin mittatarkkuuden riittävyys valukappaleille.

Opinnäytetyön suorittamiseen sisältyi runsaasti erilaisia haasteita. 3D-skannerin toimitus viivästyi noin kolme viikkoa suunnitellusta. Lisäksi koko opinnäytetyön aihe muuttui täysin kesken opinnäytetyöprosessin. Alkuperäinen aihe oli 3D-skannerin käyttöönotto valimoympäristössä sekä käyttöohjeiden luominen 3D-skannausohjelmistolle ja mittausdatan analysointiohjelmistolle. Tämän lisäksi myös opinnäytetyössä käytettävä valukappale vaihtui alun perin sovitusta. Opinnäytetyössä käytettävä kappale koneistettiin elo-syyskuussa ja koordinaattimittaus tulokset saatiin syyskuussa.

3D-skanneria voidaan jatkossa hyödyntää kappaleiden satunnaistarkastuksissa tuotannon eri vaiheissa. Laadunvarmistuksen ideana on valita pistotarkastuksena kappaleita, jotka skannataan, jotta saadaan mahdollisimman satunnainen otanta. Skannauksen tulee kuitenkin tapahtua sellaisessa vaiheessa, ettei se hidasta itse tuotantoprosessia. Satunnaistarkastuksien avulla tuotannosta voidaan löytää virheellinen tuote ja lopettaa sen työstäminen. Näin säästetään turhalta, arvoa lisäämättömältä työltä, ja säästetään tuotannon kokonaiskustannuksissa.

LÄHTEET

1. 3D Scanning Technology — Hard Work That Looks Like “Magic”. Laser Design Inc. Saatavissa <https://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning> Hakupäivä 4.6.2021
2. Mure-Dubois, James; Hügli Heinz. Real-time scattering compensation for time-of-flight camera. 2007. https://www.researchgate.net/figure/Time-of-flight-camera-Principle-of-operation_fig1_37683544 Hakupäivä 4.6.2021
3. About 3D Scanning Technologies. 3D Bonum. Saatavissa <https://3dbonum.com/3d-scanning-technologies/> Hakupäivä 6.6.2021
4. Mitra, Souvik. CMM Parts: The Parts Of A Coordinate Measuring Machine. 2020. Saatavissa <https://metrologicallyspeaking.com/cmm-parts-the-parts-of-a-coordinate-measuring-machine/> Hakupäivä 7.6.2021
5. Wang, Qian; Tan, Yi; Mei, Zhongya. Computational Methods of Acquisition and Processing of 3D Point Cloud Data for Construction Applications. 2020. Saatavissa https://www.researchgate.net/publication/331237691_Computational_Methods_of_Acquisition_and_Processing_of_3D_Point_Cloud_Data_for_Construction_Applications Hakupäivä 7.6.2021
6. Peiravi, Ali. A Reliable 3D Laser Triangulation-based Scanner with a New Simple but Accurate Procedure for Finding Scanner Parameters Saatavissa https://www.researchgate.net/publication/228998226_A_Reliable_3D_Laser_Triangulation-based_Scanner_with_a_New_Simple_but_Accurate_Procedure_for_Finding_Scanner_Parameters Hakupäivä 7.6.2021
7. Emmer, Christian; Glaesner, Kai-Henry; Pfouga, Alain; Stjepandić, Josip. Advances in 3D Measurement Data Management for Industry 4.0. Saatavissa <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917304705> Hakupäivä 13.4.2021
8. Brooks, Robert. Foundry management & technology. 2016. Vol.144 (12), s.23 Saatavissa <https://www.foundrymag.com/testing-qc/article/21929142/iron-foundry-finds-3d-scanning-is-a-faster-problem-solver> Hakupäivä 24.5.2021
9. Go!SCAN 3D technical specifications. Saatavissa <https://www.creaform3d.com/en/handheld-portable-3d-scanner-goscan-3d/technical-specifications> Hakupäivä 26.5.2021
10. Zeiss Accura Specifications EN. Saatavissa [https://applications.zeiss.com/C1257A26006EFF9E/0/B6F1432FEF8AB28EC1257A45002912AF/\\$FILE/ZEISS_ACCURA_Specifications_EN.pdf](https://applications.zeiss.com/C1257A26006EFF9E/0/B6F1432FEF8AB28EC1257A45002912AF/$FILE/ZEISS_ACCURA_Specifications_EN.pdf) Hakupäivä 4.11.2021

11. Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration. Saatavissa <https://european-accreditation.org/wp-content/uploads/2018/10/ea-4-02-m-rev01-september-2013.pdf> Hakupäivä 4.11.2021
12. SFS-EN ISO 8062-3 + AC Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Muotilla valmistettujen kappaleiden mittatoleranssit ja geometriset toleranssit. Osa 3: Valukappaleiden mittojen yleistoleranssit, geometriset yleistoleranssit ja työstövarat. Suomen standardisoimisliitto SFS. 2007. Saatavissa <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/8/175840.html.stx> Hakupäivä 8.11.2021
13. E. Hiltunen, L. Linko, S. Hemminki, M. Hägg, E. Järvenpää, P. Saarinen, S. Simonen, P. Kärhä. Laadukkaan mittaamisen perusteet. 2011. Metrologian neuvottelukunta J4/2011. Saatavissa <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/MIKES/2011-J4.pdf> Hakupäivä 9.11.2021

LIITTEET

Liite 1. Opinnäytetyöhön käytettävän koneistetun valukappaleen Mittapiirustus ja mitattava kohta.
Tiedot luovutettu toimeksiantajalle.