



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Samu Tanskanen

Työohjeiden laatiminen validointilabo- ratoriolle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

sähkö- ja automaatiotekniikan tutkin-
to-ohjelma

Insinöörityö

19.12.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Samu Tanskanen Työohjeiden laatiminen validointilaboratoriolle 27 sivua 19.12.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	automaatiotekniikka
Ohjaajat	validointilaboratorion esimies Henna Pietarinen lehtori Reijo Leinonen
<p>Opinnäytetyössä oli tarkoituksena laatia ajantasaiset työohjeet validointilaboratoriolle. Työohjeiden laatimisen lisäksi tehtiin selvityksiä laboratoriossa käytettävän mittauslaitteiston kyvykkyydestä. Työn tilaaja Murata Electronics Oy on kiihtyvyyden ja kulmanopeusantureita valmistava yritys. Validointilaboratorion tehtävä on varmistaa, että tuotannossa valmistetut anturit täyttävät tietyt kriteerit.</p> <p>Validointia varten suoritettiin antureille erilaisia mittauksia, joilla selvitettiin antureiden suorituskykyä. Validoinnin onnistumisen kannalta oli tärkeää, että mittaukset suoritettiin oikein. Väärin suoritettuja mittauksia ei voi hyödyntää validoinnissa, eikä tuloksia voida verrata vanhoihin mittaustuloksiin.</p> <p>Työohjeiden tehtävä on ohjeistaa laboratorion henkilöstöä tekemään mittauksia oikealla tavalla työturvallisuuden ja validoinnin onnistumisen kannalta. Ajantasaisista työohjeista on hyötyä uuden henkilöstön kouluttamisessa.</p> <p>Opinnäytetyöhön kuului tehdä selvityksiä laboratorion sentrifugista. Selvitysten tarkoituksena oli verrata erilaisia virhelähteitä ja koota laitteiston tietoja yrityksen laitesivustolle.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena laadittiin 14 työohjetta ja sentrifugin laitesivulle selvitys laitteen suorituskyvystä ja mittauksen virhelähteistä.</p>	
Avainsanat	validointi, työohjeet, laitekyvykkyys

Author Title	Samu Tanskanen Work Instruction for Validation Laboratory
Number of Pages Date	27 pages 19 December 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Technology
Instructors	Henna Pietarinen, Validation laboratory manager Reijo Leinonen, Senior lecturer
<p>The purpose of this thesis work was to compose up-to-date work instructions for a validation laboratory. The capability of the measuring equipment used in the laboratory was also investigated, in addition to the composing of work instructions. The commissioner of this work, Murata Electronics Oy, is a manufacturer of acceleration and angular velocity sensors. The main task of the validation laboratory is to ensure that sensors manufactured in production site meet certain criteria.</p> <p>The main purpose of the work instructions is to instruct laboratory personnel to make measurements in the right way regarding work safety and successful validation. Up-to-date work instructions are useful for training new staff members.</p> <p>The working instructions were composed in accordance with pre-defined guidelines. The work instructions consistently move on from one step to another and the appearance of the work instructions is consistent with each other, making it as easy as possible for everyone who reads the work instructions to follow it. The work instructions cover the most common work steps, getting started, dealing with malfunctions, safety at work, and testing reporting issues.</p> <p>The thesis work included studies on the laboratory centrifuge. The purpose of the investigation was to compare different sources of error and to collect hardware information on a company hardware site.</p> <p>As a result of this thesis work, 14 work instructions were compiled and hardware information and error comparison about laboratory centrifuge was placed on a site that includes information about hardware.</p>	
Keywords	validation, work instructions, device capability

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Validointi	2
3	Validointilaboratorion työohjeet	6
3.1	Työohjeiden merkitys	6
3.2	Työohjepohja	7
3.3	Testin työvaiheet	8
4	Työohjeen laatiminen	10
5	Sentrifugi	12
6	Sentrifugin kyvykkyyden laskeminen	14
6.1	Keskeiskiihtyvyys	14
6.2	Keskeiskiihtyvyyden jakautuminen eri suuntiin	15
6.3	Anturin virheasennosta johtuvan virheen määrä	16
6.4	Lämpölaajeneminen pyörittäjässä	17
7	Sentrifugin kyvykkyys	18
7.1	Anturin virheasento	18
7.2	Lämpölaajenemisen aiheuttama virhe	22
7.3	Virhelähteiden vertailu	24
8	Yhteenveto	25
	Lähteet	26

Lyhenteet ja selitteet

ABS Anti-Lock Braking System. Lukkiutumattomat jarrut.

Confluence Organisaatiowikiohjelmisto.

ESP Electronic Stability Program. Ajonvakautusjärjestelmä.

MEMS Micro Electro Mechanical Systems. Mikrosysteemi.

Validointi Lopputuloksen varmentaminen.

Verifiointi Vaatimusten mukaisten menetelmien varmentaminen.

1 Johdanto

Insinööriyön aiheena on laatia työohjeita ja tehdä testauslaitteiston suorituskykyyn liittyviä laskelmia validointilaboratoriolle.

Murata Electronics Oy valmistaa ja kehittää korkealaatuisia mikromekaanikkaan (MEMS) perustuvia antureita. Antureilla voidaan mitata kiihtyvyyttä, liikettä, kallistusta ja kulmanopeutta. Tärkeimpiä MEMS-anturien sovellusalueita ovat autoteollisuus ja terveysteknologia. Autoteollisuudessa antureita käytetään ABS- (Antilock Braking System) sekä ESP-järjestelmissä (Electronic Stability Program). Terveysteknologian puolella antureiden käyttökohteena ovat esimerkiksi sydämentahdistimet. [1.]

Validointilaboratorion tehtävänä on validoida eli varmistaa, että anturituotannossa valmistettavat anturit täyttävät tietyt kriteerit. Insinööriyö tavoitteena on kertoa, mitä validointiprosessiin kuuluu ja mikä merkitys työohjeilla on onnistuneelle validoinnille.

Yrityksen käytössä olleet työohjeet olivat puutteelliset, joten laboratoriolle oli tarve uusien ohjeiden laatimiselle. Tiettyjen testauslaitteistojen ohjeita puuttui kokonaan, ja osassa ohjeista oli virheellistä tietoa. Vanhat työohjeet olivat riittämättömiä uuden laboratoriohenkilöstön kouluttamista varten. Koulutettaessa tukeuduttiin kouluttavan henkilöstön omaan näkemykseen siitä, miten mikäkin asia tulee tehdä. Monia työvaiheita tehtiin väärällä tavalla, koska tieto työvaiheista oli suullista. Uudet ohjeet on laadittu niin, että työvaiheet suoritetaan oikein validoinnin onnistumisen ja työturvallisuuden suhteen.

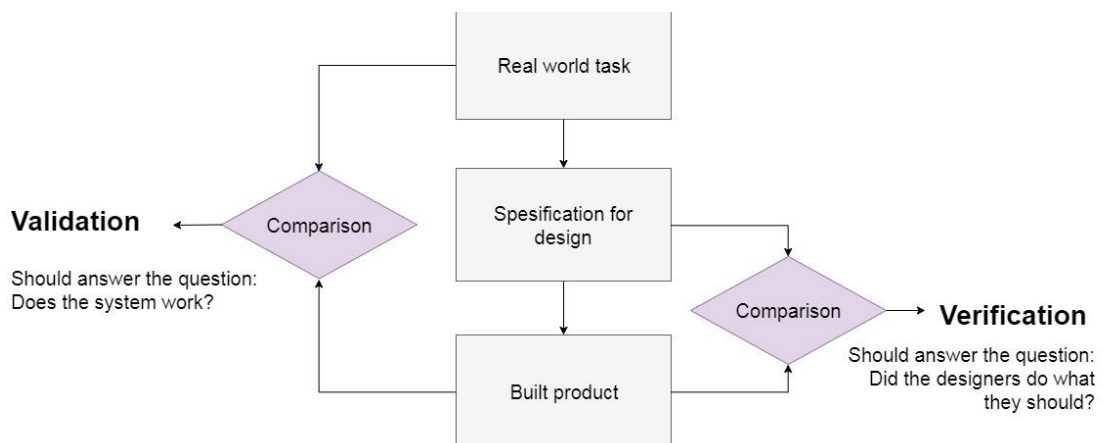
Opinnäytetyöhön haluttiin myös sisällyttää laitteistoon liittyvää selvitysten ja laskelmien tekemistä. Tarkoituksena oli määrittää laitteiston kyvykkyyteen eli suorituskykyyn liittyviä arvoja. Kyvykkyysselvitykset rajattiin koskemaan laboratorion sentrifugia. Sentrifugista selvitettiin laitemanuaaleista minimi- ja maksimiarvoja sekä mittauksen virhelähteitä. Laitteesta haluttiin laitesivustolle kootusti laitteen suorituskyvystä kertovat arvot siitä syystä, ettei niitä tarvitse etsiä aina manuaalista tai laitteen tiedot sisältävistä laitekansioista. Virhelähteitä haluttiin avata valmiiksi laitesivulle, jotta mittauksessa tapahtuvia virheitä pystyttäisiin selvittämään helpommin ja nopeammin. Mittauksissa tulevia virheitä voidaan verrata laitesivulle selvitettyihin virheisiin.

2 Validointi

Validointi eli varmentaminen on prosessi, jonka tarkoitus on selvittää, täyttääkö prosessin kohde jotkin tietyt kriteerit. Validoinnin kohde voi olla menetelmä, laite tai vaikkapa tietokoneohjelma. Muratan komponenttivalidoinnissa validointiin kuuluu anturin spesifikaatioiden validointi.

Asetetut vaatimukset validoinnille vaihtelevat sen mukaan, mitä validoidaan, ja ne asetetaan aina tapauskohtaisesti. Muratan vaatimukset komponenttivalidoinneissa pohjautuvat asiakkaalle luvattuihin tuotespesifikaatioihin eli speksihin. Eli pidetään huolta siitä, että toimitettu tuote on sellainen kuin on asiakkaalle luvattu. Validoinnissa käytettävä analyysimenetelmä ja käyttötarkoitus määrittävät validoinnin laajuuden. [2, s.6–7.]

Verifiointi ja validointi ovat termejä jotka menevät hyvin usein sekaisin, mutta niitä ei tule lukea synonyymeiksi. Validoinnilla varmistetaan menetelmän ja tuotteen soveltuvuutta ja suorituskykyä tiettyyn käyttötarkoitukseen, verifiointi taas antaa vain objektiivisen näytön siitä, että kohde täyttää määritellyt vaatimukset, kuten kuvassa 1 esitetään. Verifiointi on suppeampi ja sitä voidaan käyttää, jos järjestelmä on jo muualla validoitu. Validoinnissa päämääränä on tuottaa vertailuarvoja parametreille, joissa kuvataan menetelmän luotettavuutta. [2, s. 7.]



Kuva 1. Verifiointilla varmistetaan, että tuote on tehty vaatimusten mukaan. Validoinnilla varmistetaan, että lopputulos on haluttu. [3, s. 9.]

Validointisuunnitelma

Ennen validoinnin aloittamista siitä laaditaan suunnitelma, joka täytyy dokumentoida ja hyväksyä ennen työn aloittamista. Validointisuunnitelmasta saatetaan poiketa tai suunnitelmaan voidaan tehdä lisäyksiä tarpeen mukaan. Kaikki muutokset tulee dokumentoida.

Validoinnin kohde

Ensimmäisenä suunnitelmassa tulee kuvata validoinnin kohteena oleva laite, tuote tai menetelmä mukaan lukien selvitys siitä, mitä kaikkea validointi pitää sisällään. Suunnitelmaan tulee lisäksi selvittää esimerkiksi lainsäädännölliset vaatimukset näytteen herkkyyden, määritysrajan tai esikäsittely- ja analyysimenetelmän suhteen. Joissain tapauksissa analyysimenetelmä on suoraan laissa sanottu, joskus se on vapaampaa, kunhan menetelmän vaatimukset täyttyvät. [2, s.9.]

Laboratorion uusien laitteiden käyttöönotossa selvitetään laitevalmistajan mahdollisesti suorittamat validoinnit. Validointeja voi olla liittyen laitteiston kyvykkyyteen vaikka minimi- ja maksimiarvojen tai tarkkuuden suhteen. Pitää kuitenkin muistaa, että nämä ovat laitevalmistajan itse validoimia ja tietoja ja tutkimustuloksia. Muratan validointilaboratorioon tulevat laitteet tulee siis vielä verifioida eli todentaa ennen käyttöönottoa. Verifioitaessa selvitetään, että kyseinen laite tuottaa haluttuja tuloksia käyttötarkoitukseen ja luvattuihin spekseihin nähden. Laitteita voidaan verrata muihin samaan käyttötarkoitukseen oleviin laitteisiin tai laitetta edeltävään laitteeseen. Vaikka hankittava laite olisi samanlainen, kuin mitä laboratoriossa jo on, se tulee verifioida käyttöönoton yhteydessä. [2, s.9.]

Validoinnin tavoite

Validoinnissa olennaista on arvioida mittausmenetelmän suorituskykyä ja soveltuvuutta tiettyyn tarkoitukseen. Laatuavoitteiden oikeanlaista asettamista varten tausta täytyy tuntea tarpeeksi hyvin. Validoinnin tavoitteet vaihtelevat sen mukaan, mikä on validoinnin kohde. Komponenttivalidoinnissa tavoitteet pohjautuvat asiakkaille luvattuihin spekseihin, mutta ovat kriittisempiä yrityksen itse asettamia tavoitteita. Laittevalidoinneissa tavoitteet ovat laitevalmistajien lupaamien speksien mukaan määritetty. [2, s.9.]

Näyteaineisto

Näyteaineisto on se aineisto, jota validoinnissa tutkitaan. Muratan näyteaineisto koostuu tehtaan tuottamista kiihtyvyy- ja kulmanopeusantureista. Validointisuunnitelmassa tulee kuvata, miten niitä käsitellään, säilytetään ja mitä häiriöitä mahdollisesti aiheuttavat tekijät ovat. [2, s.10.]

Sähköstaattiset purkaukset eli Electrostatic discharge (ESD) ovat suurin häiriöitä ja vikoja tuottava tekijä laboratoriossa. ESD on ilmiö, jossa staattisen sähkövaraus purkautuu. Staattinen sähkövaraus voi syntyä kahden eri materiaalia olevan kappaleen hangatessa toisiaan. Sähköstaattiset purkaukset voivat rikkoa anturin, koska purkauksen iskiessä herkän komponentin läpi sen sisällä voi tapahtua metallin sulamista tai ohuen oksidikerroksen tuhoutumista. ESD:ltä voi suojautua esimerkiksi johtamalla staattiset varaukset hallitusti maadoituskaapelin kautta maihin tai käyttämällä varausta poistavasta materiaalista valmistettuja vaatteita. Laboratoriossa käytetään ESD-suojaavia takkeja, hansikkaita ja kenkiä. Laboratorion työpisteet on maadoitettu. Laboratoriotyöntekijä pystyy maadoittamaan itsensä ESD-rannekkeella työpisteellä. Anturien kuljetuksessa ja säilytyksessä käytetään antistaattisia ESD:ltä suojaavia pusseja, putkia ja laatikoita. [4.]

Vastuualueet ja validointiin osallistuvien henkilöiden nimeäminen

Validointisuunnitelmassa tulee olla tarkasti määriteltynä vastuuhenkilöt. Vastuuhenkilöitä ovat suunnitelman tekijä, käytännön työn suorittajat ja suunnitelman ja raportin hyväksyjät. [2, s.10.]

Toteutusvaihe ja raportointivaihe

Validointi toteutetaan noudattaen tehtyä validointisuunnitelmaa. Validoinnin edetessä tuloksia arvioidaan kriittisesti ja suoritetaan lisätestauksia, jos tarve vaatii. Alkuperäinen hyväksytty suunnitelma tulee olla arkistoituna ja siihen tulevat muutokset dokumentoidaan. Validoinnin onnistuessa löydetään anturin heikot kohdat. [2, s.15.]

Kun validointi on toteutettu, siitä laaditaan yhteenvetoraportti, jossa viitataan laadittuun suunnitelmaan. Validointiraporttiin tulee kirjata kaikki poikkeamat suunnitelmasta. Validoinnin tulokset lasketaan käyttäen suunniteltuja tilastollisia menetelmiä. Kun tulokset on laskettu, niitä verrataan asetettuihin tavoitteisiin. [2, s.15.]

Validoinnin kohteen laadunvarmistus

Laboratoriossa tarkistetaan tietyin väliajoin, että validointi on edelleen voimassa uudelleenvalidoimalla. Validointiprosessia ei pidä ajatella kerran suoritettavana toimenpiteenä. Validointitulosten perusteella päätetään uudelleenvalidoinnin aikaväli ja mahdolliset muutokset validointiin. Antureiden suorituskykyä tulee sovituin väliajoin verrata validointituloksiin. Uudelleenvalidoimalla saadaan ajantasaista tietoa antureiden suorituskyvystä ja laadusta. [2, s.17.]

Arkistointi

Validointitulokset ja validoinnissa käytetty aineisto tulee arkistoida huolella. Arkistointiajan määrittelee lainsäädäntö ja laboratorion arkistointisäännöt. Validoinneissa käytettyjä antureita tulee säilyttää vähintään niin kauan, kuin niitä samoja antureita valmistetaan. Anturit tulee pakata asianmukaisesti ESD-pusseihin, jotta ne eivät arkistoidessa tai säilytyksessä altistu sähköstaattisille varausten purkautumiselle. Validointiraportteja arkistoidessa tulee varmistaa, että aineisto on saatavilla antureiden arkistointiajan päätymiseen asti. [2, s.19.]

3 Validointilaboratorion työohjeet

Validointilaboratorion henkilöstöltä vaaditaan kykyä mukautua alati muuttuviin työtehtäviin ja testauslaitteisiin. Optimaalisessa tilanteessa koko henkilöstö on perehdytetty useaan eri tehtävään, ja työvoima voi liikkua juostavasti työpisteiden välillä. Haastavimpien työvaiheiden perehdyttäminen kaikille laboratorion työntekijöille on käytännössä mahdotonta. Haastavina työvaiheina voidaan pitää sellaisten mittauslaitteiden käyttäminen, jotka eroavat huomattavasti muista mittauslaitteista. Henkilöstön vaihtuvuus ja osaamisen taso ovat pitkäaikaisia ongelmia, joista ei päästä kokonaan eroon. [5, s. 8.]

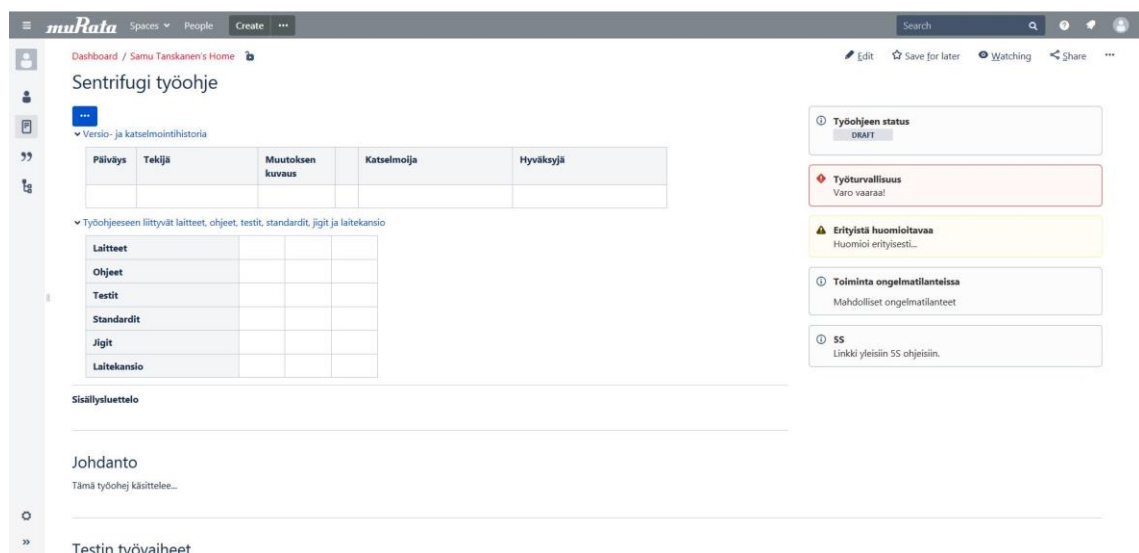
3.1 Työohjeiden merkitys

Työohjeet sisältävät laboratoriohenkilökunnan kannalta oleellisen tiedon työtehtävien suorittamiseen. Kaikista työtehtävistä tulee olla ajantasaiset työturvallisuuden huomiointiin ottavat työohjeet. Käytäntöjen tai laitteiston muuttuessa on tärkeää, että muutokset tehdään myös työohjeisiin ja perehdytetään henkilöstölle muutokset. Työohjeiden avulla henkilöstö pystyy suorittamaan työtehtävät oikein työturvallisuuden ja mittautulosten kannalta. Uutta henkilöstöä perehdytettäessä työohjeista ei ole apua, jos ne käsittelevät vanhaa tietoa. Työohjeet tulee olla laadittu sillä kielellä, jota laboratoriohenkilöstö ymmärtää. Työohjeiden tulee olla helposti saatavilla ja helposti ymmärrettävässä muodossa. [6, s. 14, 30.]

3.2 Työohjepohja

Muratalle laaditut työohjeet tehtiin käyttäen yrityksen toimittamaa työohjepohjaa. Työohjeiden ulkoasu pyrittiin pitämään mahdollisimman helppolukuisena ja selkeänä. Työohjepohjan takia työohjeet ovat hyvin samantyyliisiä ja henkilöstön on helppo lukea niitä. Työohjeet ovat yksinkertaisia, ja niissä kerrotaan selkeästi, mitä missäkin työvaiheessa kuuluu tehdä.

Työohjeet laadittiin käyttäen Confluence 6.14.1 -organisaatiowikiohjelmistoa. Confluence on Atlassian-ohjelmistoyrityksen kehittämä ohjelmisto, joka sallii verkkosivujen muokkaamisen suoraan selaimella. Muokkaamista varten riittää siis verkkoselain sekä sivuston ylläpitäjältä saadut käyttöoikeudet. Verkkosivueditori tarjoaa mahdollisuuden lisätä mm. kuvia, videoita, taulukoita ja matemaattisia yhtälöitä wikisivulle.



Kuva 2. Esimerkki työohjepohjasta.

Työohjeen alussa esitellään työohjeen kohde, siihen liittyvät dokumentit ja linkit laitesivuille. Kuvan 2 esimerkistä näkee, että ohjeen alussa esitellään työohjeen aihe, aiheeseen kuuluvat laitteet ja muut oleelliset tiedot kuten työohjeen versionhallinta. Oikealla puolella sivua löytyy työohjeen tila, työturvallisuustiedot, erityistä huomiota tarvitsevat asiat sekä linkit ongelmatilanteissa toimimiseen ja 5S-ohjeisiin. Työohjeen esittelyn jälkeen tulee johdanto, jossa esitellään työohjeen kohde.

The screenshot shows a workspace titled "Testin työvaiheet" (Test Work Stages) in the muRata application. The interface includes a sidebar with navigation icons and a main content area with three sections:

- Alkuvalmistelut** (Preparation): A table with two columns: "Työvaihe" (Work Stage) and "Kuva ja lisäohjeet" (Image and additional instructions). It contains one row with stage "1" and sub-points: "Kuvaus" (Description), "Avainkohta" (Key point), and "Miksi" (Why). The "Kuva ja lisäohjeet" column contains an image placeholder labeled "Kuva työvaiheesta".
- Mittaus** (Measurement): A similar table structure with one row for stage "1". The "Kuva ja lisäohjeet" column contains a video placeholder labeled "Video aiheesta".
- Tulosten käsittely** (Result processing): A similar table structure with one row for stage "1".

At the bottom, there is a section titled "Mahdolliset ongelmatilanteet" (Possible problem situations) with a small table:

	Kuvaus	Ratkaisu
1		
2		

Kuva 3. Esimerkki työohjeen rakenteesta; testin työvaiheet, johon kuuluvat alkuvalmistelut, mittaus ja tulosten käsittely.

3.3 Testin työvaiheet

Työohje-esimerkissä (kuva 3) testin työvaiheet jaettiin kolmen osiota kuvaavan otsikon alle:

- Alkuvalmistelut
- Mittaus
- Tulosten käsittely.

Otsikon alla taulukossa on osioon liittyvät työvaiheet suoritusjärjestyksessä. Jokaisessa työvaiheessa on sen kuvaus, avainkohta ja selitys siitä, miksi työvaihe tehdään. Tarvittaessa työvaiheisiin on lisäselitteenä laitettu kuvia, videoita tai taulukoita. Työohjeiden lopussa on esitelty ratkaisuja yleisimpiin ongelmatilanteisiin.

Alkuvalmistelut

Alkuvalmistelut-osiossa on pyritty käymään läpi sellaiset työvaiheet, jotka tulee suorittaa ennen laitteiston käyttöä. Osiossa on esitelty testauslaitteiston kunnon selvittäminen, testausohjelmiston käynnistäminen ja raportointisivustoon kirjautuminen. Alkuvalmisteluihin ei lukeudu siis yleensä mitään erityistä itse mittaukseen liittyvää toimintaa vaan samat asiat tulee tehdä riippumatta siitä, mitä laitteella testataan.

Mittaus

Murata valmistaa useita erilaisia antureita, ja laboratoriossa suoritetaan validointeja koskien lähes kaikkia näitä. Laitteiden käyttöä käsittelevän osion nimi on mittaus, jossa käydään läpi ne vaiheet, joiden avulla saadaan laite käyntiin oikeilla asetuksilla. Osiossa kerrotaan, miten anturit saadaan mittauksia varten oikein testilaitteeseen ja mitä laitteelle pitää tehdä ennen mittauksen käynnistämistä. Mittausosiossa kerrotaan myös, miten mittaus käynnistetään mittausohjelmistosta oikeilla asetuksilla. Mittauslaitteen oikeanlaiset asetukset käynnistäessä takaavat sen, että mitataan haluttuja asioita.

Tulosten raportointi

Tulosten raportointiluvun tehtävänä on kertoa, miten onnistuneesti suoritettujen mittausten tulokset raportoidaan. Raportointisivustoon kirjoitetaan mittauksen jälkeen kommentti, jossa kerrotaan mittaustulokset, missä testatut tai testaamattomat anturit ovat ja testauksen senhetkinen tilanne. Tuloksien raportoinnin tulee tapahtua aina samalla tavalla. Oikealla tavalla raportoituja tuloksia voidaan verrata aiempiin tuloksiin ja niiden pohjalta validointi-insinöörit voivat tehdä päätöksen mahdollisista uudelleenmittauksista. Raportointiosioon kuuluu malliesimerkki hyvästä kommentista, jota testaushenkilöstö voi mukailla.

4 Työohjeen laatiminen

Työohjeiden laatiminen on jaettu vaiheisiin. Jokaisella vaiheella on oma tehtävänsä ja vaiheessa keskitytään vain siihen kuuluviin asioihin. Jaottelulla saadaan selkeyttä siihen, mitä kuuluu tehdä missäkin laatimisen vaiheessa. Laitteiden käyttöä koskevat ohjeet sisältävät paljon samankaltaisia osioita, joita pystyy hyödyntämään muissa laite-ohjeissa.

Työohjeiden laatiminen alkaa suunnittelulla. Suunnitellessa pyritään vastaamaan kysymykseen; minkälainen on selkeä työohje? Suunnitellessa kirjataan ylös kyseiseen työohjeeseen liittyvät erityishuomiot. Esimerkiksi minkälainen jaottelu työvaiheista olisi toimiva, mistä kohteista olisi hyvä ottaa kuvia jne. Suunnitellut huomiot ovat työohjeen laatimisen ajan esillä, jolloin työn edetessä niitä pystyy hyödyntämään.

Kun suunnitteluvaihe päättyy, siirrytään ottamaan kuvia ja videoita työohjeen kohteena olevasta testilaitteistosta. Jotkin kuvista on määritetty otettavaksi suunnitteluvaiheessa, mutta usein laitteen luona otetaan lisäkuvia. Kuvien ottamisessa tärkeintä oli kuvata selkeää kohdetta, niin että työohjeen lukija ymmärtää mitä kuvassa on. Vaikeista työvaiheista otetut kuvat ja videot selkeyttävät lukijalle, mitä työvaiheessa tapahtuu. Ohjelmistonkäyttöä käsittelevissä kohdissa on ruudunkaappauksia. Kaikkia kuvia muokataan vielä Paintilla rajaamalla ja lisäämällä nuolia ja selitteitä kuvaan.

Kuvien ja videoiden ottamisen jälkeen voidaan aloittaa kirjoittamisvaihe. Kirjoittamisvaiheessa kootaan suunnitelman mukaan kuvia apuna käyttäen työohje. Ajatustyö on tehty jo suunnitellessa, joten kirjoittaminen on helppoa. Kirjoittamisvaiheessa ilmaantuvat puutokset esimerkiksi kuvissa kirjataan ylös. Näihin puutoksiin voidaan palata, kun työohjeen kirjoitusosuus on valmiina. Kirjoitusvaiheessa tärkeintä on saattaa työohje kuvista, videoista ja suunnitelluista jaotteluista toimivaksi kokonaisuudeksi.

Työohjeen kirjoittamisosuuden jälkeen työohjeesta keskustellaan kollegojen kanssa ja pyritään löytämään parannuskohtia. Tämän jälkeen korjataan mahdolliset löydetyt virheet tai parantamista tarvitsevat kohteet. Kun työohjeesta on valmis versio, se annetaan validointi-insinöörille katselmukseen. Katselmuksessa validointi-insinööri käy työohjeen oikeellisuuden ja ajantasaisuuden läpi. Insinööri voi hyväksyä työohjeen sellaisenaan tai pyytää muutoksia. Jos muutoksia ei tarvita, työohje on valmis käyttöön.

Opinnäytetyön aikana yritykselle laadittiin 14 työohjetta, joista 11 käsittelee mittauslaitteiden käyttöä ja 3 ohjeista antureille suoritettavia käsittelyjä ja rasiuksia. Laitteiden nimiä ei voinut tähän raporttiin listata, mutta niille on keksitty kuvaavat nimet. Taulukko 1 esittää laaditut työohjeet aiheineen.

Taulukko 1. Yritykselle laaditut työohjeet.

Työohjeet	Tyyppi
Vaakatasossa pyörittävä laite (lämpötilamittaus)	Laite
Sentrifugi (lämpötilamittaus)	Laite
Esikäsittely	Käsittely
Kääntelevä laite (lämpötilamittaus) A1	Laite
Kääntelevä laite (lämpötilamittaus) B1	Laite
Kääntelevä laite (lämpötilamittaus) B2 ja B3	Laite
Paine-, lämpötila- ja kosteus-olosuhdetesteri	Laite
Kääntelevä laite (lämpötilamittaus) X1	Laite
Kääntelevä laite (lämpötilamittaus) X2	Laite
Pudotus-testi	Rasitus
Kääntelevä laite (lämpötilamittaus) Y1	Laite
Liittimen kiinnitys	Laite
Uunin käyttö	Käsittely
Shokkitesterit 1 ja 2	Laite

5 Sentrifugi



Kuva 4. Sentrifugi eli linko. [7.]

Sentrifugi on laite, jolla voidaan tuottaa tasaista keskeiskiihtyvyyttä. Keskeiskiihtyvyyttä tuotetaan kohteelle pakottamalla se pysymään ympyrärataa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kohde kiinnitetään yksiakselisen moottoriin akselille ja moottorilla pyöritetään kohdetta. Sentrifugia voidaan myös käyttää eri aineosia sisältävän seoksen ainesosien erottelemiseen. Menetelmää kutsutaan linkoamiseksi tai sentrifugoimiseksi ja siinä seos on voimakkaassa pyörimisliikkeessä jolloin painavimmat ainesosat ajautuvat etäämmälle pyörimisakselista kuin kevyemmät ainesosat. [8.]

Sentrifugeilla on monia käyttötarkoituksia. Arkipäivän esimerkki sentrifugista on kuivausrumpu, jossa märkiä vaatteita pyöritettäessä saadaan liika vesi eroteltua vaatteista. Lääketieteessä sentrifugia käytetään veren osien erotteluun. Kuvassa 4 on tavallinen lääkesentrifugi. [8.] Muratan validointilaboratoriossa sentrifugia käytetään tasaisen keskeiskiihtyvyyden tuottamiseksi antureille.

Keskihakuvoima

Keskihakuvoima on kokonaisvoima, joka pitää kohteen, jonka massa on m ja vauhti on v , r -säteisellä ympyräradalla. Keskihakuvoima aiheuttaa vain nopeuden suunnan muutoksen. Se ei tee työtä, koska voimalla ei ole komponenttia siirtymän suuntaan. Keskihakuvoima lasketaan kaavalla 1.

$$F_r = ma_r = m \frac{v^2}{r} = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (1)$$

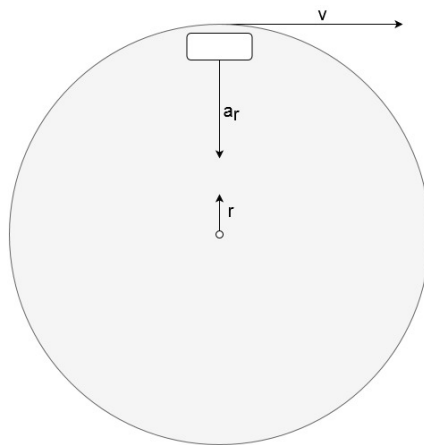
Keskihakuvoiman suuruutta voidaan kasvattaa kasvattamalla kulmanopeutta, kohteen massaa tai ympyräradan sädettä. [9.]

6 Sentrifugin kyvykkyyden laskeminen

Uusien työohjeiden myötä haluttiin yrityksen puolelta myös selvittää laitteista kyvykkyyteen liittyviä laskelmia laitteistosivulle. Laskelmat rajattiin koskemaan sentrifugia. Laitteen moottori pyörittää vaakatasossa ympyränmuotoista levyä, jonka reunoille testattavia antureita voidaan kiinnittää. Pyöritettävä levy on lämpökaapin sisällä, joten mittaus voidaan suorittaa eri lämpötiloissa. Laitteella pyöritetään antureita tietyllä kulmanopeudella tuottaen niille tietty keskeiskiihtyvyys. Tarkoitus on selvittää, miten etäisyys levyn keskipisteestä vaikuttaa tuotettuun keskeiskiihtyvyyteen. Etäisyyteen keskipisteestä vaikuttaa lämpölaajeneminen ja anturin kiinnittäminen levyyn.

6.1 Keskeiskiihtyvyys

Tasaisessa ympyräliikkeessä keskeiskiihtyvyys pitää kappaleen radallaan. Keskeiskiihtyvyys a_r on aina kohti ympyrän keskipistettä ja kohtisuorassa vauhdin v suuntaan vastaan, kuten kuvasta 5 nähdään. Keskeiskiihtyvyyden nimityksiä ovat radiaalinen kiihtyvyys, normaalikiihtyvyys ja sentripetaalinen kiihtyvyys. Keskeiskiihtyvyys lasketaan kaavalla 2.



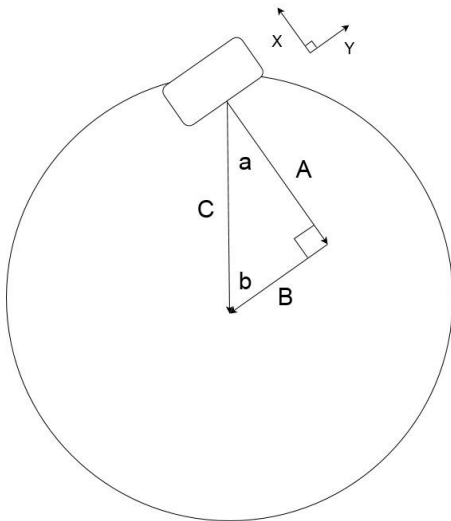
Kuva 5. Vakionopeus ympyräradalla: kiihtyvyys kohti ympyrän keskipistettä eli kohtisuorassa nopeuden suuntaan nähden.

$$a_r = \frac{v^2}{r} = r \cdot \omega^2 \quad (2)$$

a_r on keskeiskiihtyvyys (m/s^2 tai g), v on nopeus (m/s), r on ympyrän säde (m) ja ω on kulmanopeus ($\text{rad/s} = 1/\text{s}$). [8, s. 3.]

6.2 Keskeiskiihtyvyyden jakautuminen eri suuntiin

Antureilla on kolme kiihtyvyyden mittaussuuntaa. Mittaussuunnat ovat X, Y ja Z. Normaalitylanteessa halutaan mitata yhtä mittaussuuntaa kerrallaan, jolloin yksi anturin mittaussuunnista on keskeiskiihtyvyyden suuntainen. Esimerkiksi, jos halutaan mitata anturin X-suunnan kiihtyvyys, anturin X-mittaussuunta on kohti ympyrän keskikohtaa. X-suunnan ollessa keskeiskiihtyvyyden suuntainen muiden mittaussuuntien kiihtyvyys on nolla. Suunta keskeiskiihtyvyyteen päin on nimeltään radiaalinen suunta ja sitä kohtisuorassa oleva suunta tangentiaalinen suunta. Mittaussuunnan ollessa hieman viivossa keskeiskiihtyvyyteen nähden jakaantuu keskeiskiihtyvyys anturin radiaalisen X-suunnan lisäksi joko tangentiaaliselle Y- tai Z-suunnalle, kuten kuvasta 6 voidaan nähdä.



Kuva 6. Kiihtyvyyden jakaantuminen eri suuntiin

Kuvan 6 selitykset ovat seuraavat:

- C on keskeiskiihtyvyys kohti ympyrälevyn keskipistettä.
- A ja B ovat anturin kiihtyvyydet sen X ja Y- suuntiin.
- a on kulma A:n ja C:n välillä.
- b on kulma C:n ja B:n välillä.
- X ja Y ovat anturin mittaussuunnat. [10.]

Laskukaavoja kiihtyvyyden jakautumisen selvittämiseksi kuvasta 6 ovat kaavat 3, 4, 5 ja 6.

$$\cos(a) = \frac{A}{C} \quad (3)$$

$$\sin(a) = \frac{B}{C} \quad (4)$$

$$A = C \cdot \cos(a) \quad (5)$$

$$B = C \cdot \sin(a) \quad (6)$$

6.3 Anturin virheasennosta johtuvan virheen määrä

Kaavoissa 7, 8 ja 9 esiintyvä mg tarkoittaa putoamiskiihtyvyyden monikertaa 10^{-3} maassa ($g = 9,81\text{m/s}^2$). Sitä on käytetty kiihtyvyyden yksikkönä. Anturin kiertymä aiheuttaa virhettä tuotettuihin kiihtyvyyksiin. Seuraavassa esitetään laskukaavoja virheiden laskemiseen. Kaavat 7, 8 ja 9 antoi käyttöön yrityksen mittausasiantuntija.

Virheenlaskukaava (merkitään virhettä E kirjaimella):

$$\text{Virhe } E = |\text{Arvo ennen kiertymää} - \text{Arvo kiertymän jälkeen}| \quad (7)$$

Virhe E laskettuna radiaalisesta suunnasta eli 1000 mg:stä:

$$E_{1000mg} = |1000 - 1000 \cdot \cos(a)|. \quad (8)$$

Virhe E laskettuna tangentialisesta suunnasta eli 0 mg:stä:

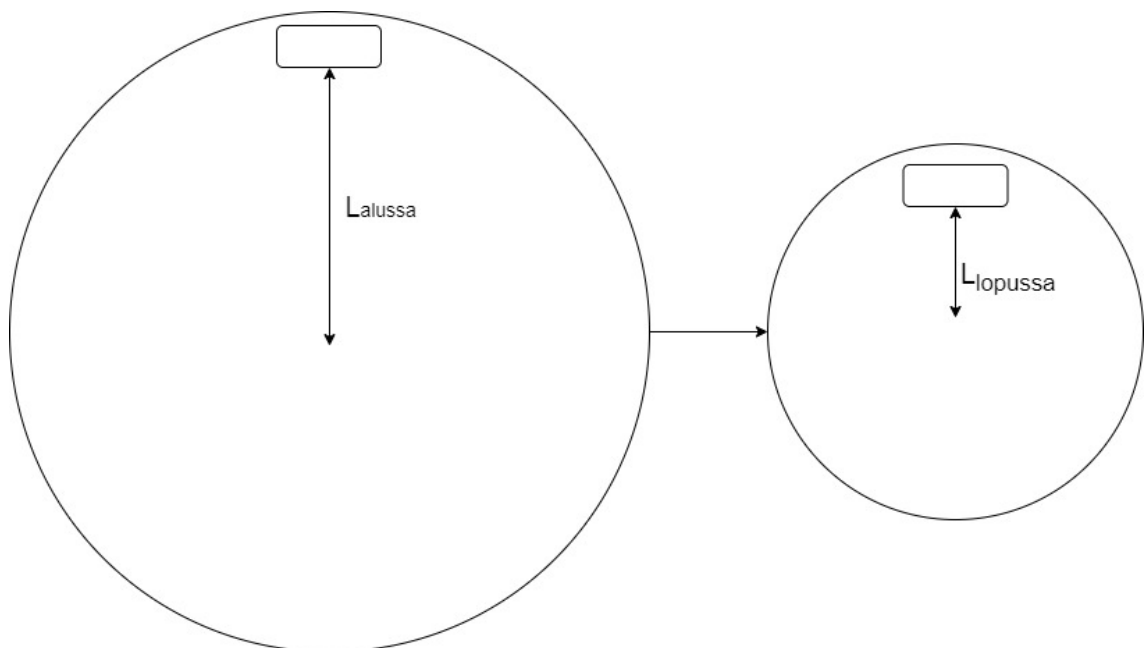
$$E_{0mg} = |0 - 1000 \cdot \sin(a)|. \quad (9)$$

6.4 Lämpölaajeneminen pyörittäjässä

Pyörittäjän alumiinikiekon lämpölaajeneminen aiheuttaa paikan muutosta keskipisteeseen nähden, kuten kuvasta 7 voi nähdä. On hyödyllistä tutkia, kuinka paljon muutosta tapahtuu milläkin lämpötilanmuutoksella. Kaavan 2 mukaan säteen kasvaessa keskeiskiihtyvyyks kasvaa. Lämpölaajenemisen laskemiseen voidaan käyttää lineaarisen lämpölaajenemisen kaavaa, koska tutkitaan, miten paikan muutos tiettyyn suuntaan vaikuttaa keskeiskiihtyvyyteen. Lämpölaajeneminen lasketaan kaavalla 10. [11.]

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T \quad (10)$$

- Δl on lineaarinen pituuden muutos eli paikan muutos (mm)
- α on materiaalista riippuva pituuden lämpötilakerroin ($1/^\circ\text{C}$)
- l_0 on alkuperäinen pituus (mm)
- ΔT on lämpötilan muutos (K tai $^\circ\text{C}$).



Kuva 7. Lämpölaajeneminen aiheuttaa muutoksen anturin paikassa keskipisteen suhteen. L_{alussa} on matka keskipisteeseen ennen lämpölaajenemisen aiheuttamaa muutosta, $L_{lopussa}$ on matka keskipisteeseen lämpölaajenemisen jälkeen.

7 Sentrifugin kyvykkyys

7.1 Anturin virheasento

Anturin ollessa vinossa sen mittaamassa kiihtyvyydessä on virhettä. Lasketaan paljonko anturi saa olla vinossa, kun tiedetään maksimivirheen määrä. Laskuissa käytetyt arvot ovat esimerkkitapauksia, eivät oikeita laitteeseen liittyviä arvoja.

Suurin sallittu kiertymä, kun radiaalinen kiihtyvyys on 1000 mg

Sivun 17 kuvasta 6 nähdään, että keskeiskiihtyvyys C jakaantuu anturin X ja Y mittaus-suunnille ja niiden suuntien kiihtyvyyksiä merkitään A:lla ja B:llä. Radiaalisuuntaisen C:n ollessa 1000 mg saa kiihtyvyys A olla maksimissaan +-2 % (+-20 mg) C:n arvosta. Käytetään laskennassa taulukossa olevaa arvoa 980 mg. Taulukossa 2 on esitetty laskemiseen tarvittavat arvot.

Taulukko 2. Laskemiseen tarvittavat arvot 1000 mg.

Putoamiskiihtyvyys g	9,81 m/s ²
Keskeiskiihtyvyys C	1000 mg
Maksimivirhe	+20 mg (+2%)
Anturin X suunnan kiihtyvyys A	980 mg

Kaavasta 3 saadaan:

$$a = \cos^{-1} \frac{A}{C} .$$

josta voidaan ratkaista a sijoittamalla lukuarvot:

$$a = \cos^{-1} \frac{980mg}{1000mg} = 11,5^\circ .$$

Edellä laskettujen arvojen mukaan, jos maksimivirhe 1000 mg:lle on +-2 %(+20 mg), niin anturi saa olla maksimissaan 11,5° vinossa pyörittäjän keskipistettä kohden.

Suurin sallittu kiertymä, kun tangentiaalinen kiihtyvyys on 0 mg

Radiaalisuuntaisen C:n ollessa 1000 mg tulee C:stä nähden kohtisuorassa olevan tangentiaalisen suunnan kiihtyvyyden olla 0 mg. Eli seuraavaksi lasketaan miten paljon anturi saa olla kiertyneenä, kun C:tä kohtisuoran 0 mg:n maksimivirhe on +-2 % C:stä eli +-20 mg. Taulukossa 3 on esitetty laskemiseen tarvittavat arvot.

Taulukko 3. Laskemiseen tarvittavat arvot 0 mg.

Putoamiskiihtyvyys g	9,81 m/s ²
Keskeiskiihtyvyys C	1000 mg
Maksimivirhe	+20 mg (+2 %)
Anturin Y suunnan kiihtyvyys B	20 mg

Kaavasta 4 saadaan:

$$a = \sin^{-1} \frac{B}{C} .$$

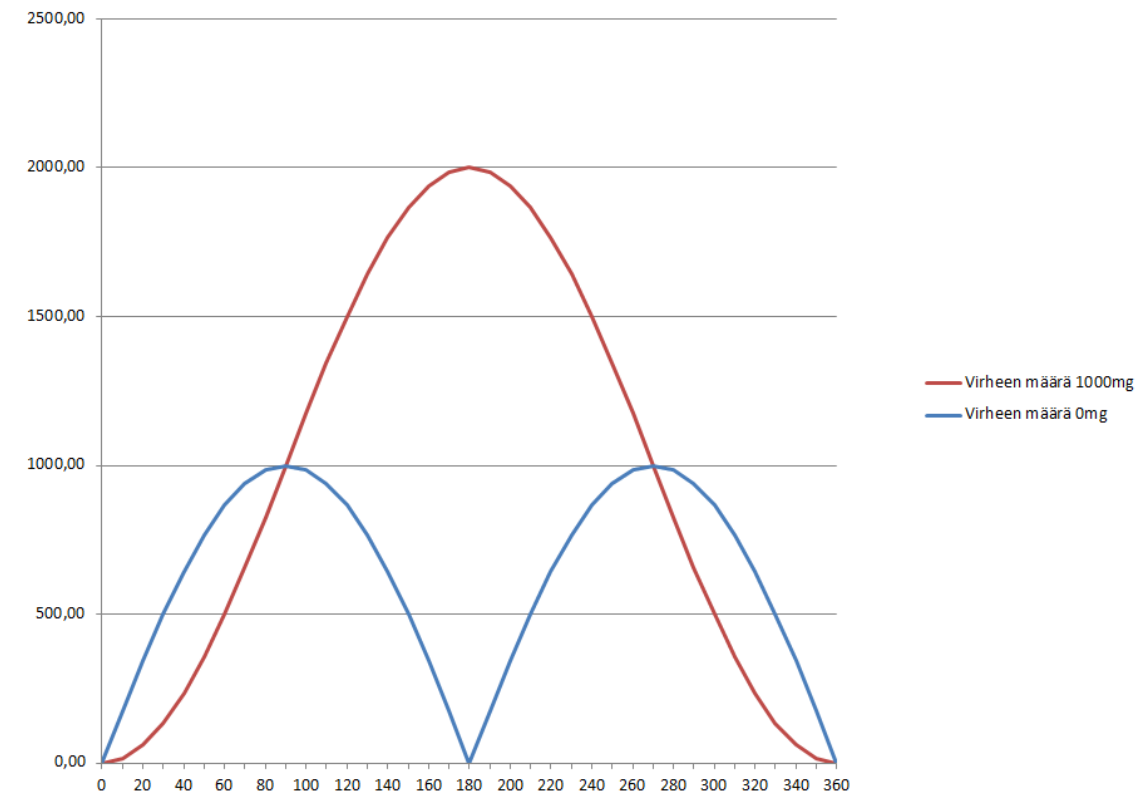
josta voidaan ratkaista a sijoittamalla lukuarvot:

$$a = \sin^{-1} \frac{20\text{mg}}{1000\text{mg}} = 1,1^\circ .$$

Taulukko 4. Virheen määrä eri C:n ja A:n välisen kulman a arvoilla.

Kulma (°)	X-suunnan virheen määrä 1000mg:stä	Y-suunnan virheen määrä 0mg:stä
0	0,00	0,00
10	15,19	173,65
20	60,31	342,02
30	133,97	500,00
40	233,96	642,79
50	357,21	766,04
60	500,00	866,03
70	657,98	939,69
80	826,35	984,81
90	1000,00	1000,00
100	1173,65	984,81
120	1500,00	866,03
140	1766,04	642,79
160	1939,69	342,02
180	2000,00	0,00
200	1939,69	342,02
220	1766,04	642,79
240	1500,00	866,03
260	1173,65	984,81
280	826,35	984,81
300	500,00	866,03
320	233,96	642,79
340	60,31	342,02
360	0,00	0,00

Taulukkoon 4 on laskettu virheen arvoja eri kulman a arvoilla. Virheenlaskukaavat esitellään teorialuvussa 6. Taulukosta voidaan huomata, että pienillä kulman arvoilla 0 mg:n suuntaan tulee huomattavasti enemmän virhettä kuin 1000 mg:n suuntaan. Täten 0 mg:n suunta on herkempi virheille kuin 1000 mg:n. Taulukosta voidaan myös huomata virheen määrän olevan molemmilla kiihtyvyyksillä 90°:n kohdalla 1000 mg. Eli kohtisuorassa oikeaan suuntaan nähden X-suunnalle tarkoitettu kiihtyvyys on nyt Y-suunnassa ja toisinpäin. Yli 1000 mg:n virhettä tulee X-suunnalle 90°:n jälkeen, koska silloin mittaussuunta alkaa osoittamaan vastakkaiseen suuntaan haluttuun mittaussuuntaan nähden. 180°:n kohdalla mittaussuunta on täysin vastakkainen kuin haluttu, jolloin virhettä on niin paljon, että X-mittaussuunnan kiihtyvyys on -1000 mg. Kuvassa 8 on esitetty kiertymän aiheuttaman virheen määrää graafisesti.



Kuva 8. Kiertymän aiheuttaman virheen määrä välillä 0°...360°. Virheen määrä 1000mg tarkoittaa radiaalista suuntaa. Virheen määrä 0mg tarkoittaa tangentiaalista suuntaa.

7.2 Lämpölaajenemisen aiheuttama virhe

Pyörittelijän lautanen on valmistettu alumiinista ja seuraavaksi lasketaan, millaista virhettä sen lämpölaajeneminen mahdollisesti aiheuttaa. Mittauksia tehdään erilaisissa lämpötiloissa, joten lämpölaajeneminen saattaa aiheuttaa virhettä. Taulukkoon 5 on koottu lämpölaajenemisen laskemiseen tarvittavia arvoja.

Taulukko 5. Lineaarisen lämpölaajenemisen laskemiseen tarvittavat arvot, jossa α tarkoittaa materiaalin (alumiini) lämpötilakerrointa, L_0 alkupituutta 23 °C lämpötilassa, ΔT lämpötilan muutosväliä.

α	$23,1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{^\circ\text{C}}$
L_0 (+23 °C)	L_0
ΔT	-20 °C ... +200 °C

Lasketaan aluksi esimerkkinä, paljonko lämpölaajeneminen on lämpötilan muutoksena +23 °C ... -20 °C. Lasketaan kaavaa 10 käyttäen muutos Δl . Pituus L_{loppu} on pituus alussa L_0 summattuna pituuden muutoksella Δl . Taulukkoon 6 on laskettu lämpölaajenemisen arvoja eri lämpötilanmuutoksilla.

$$\Delta l = -0,001L_0 = -0,1 \%$$

$$L_{\text{loppu}} = L_0 + \Delta l = 0,999L_0 \quad (11)$$

Taulukko 6. Lämpölaajenemisen arvoja eri lämpötilanmuutoksilla.

ΔT	ΔL	pituus L_{loppu}
+23 °C...-20 °C	-0,1 %	$0,999L_0$
+23 °C...+100 °C	+0,2 %	$1,002L_0$
+23 °C...+200 °C	+0,4 %	$1,004L_0$

Pyörittelijän vakiokulmanopeus 1000 mg:llä

Kaavasta 2 voidaan selvittää, paljonko on kulmanopeus keskeiskiihtyvyyden ollessa 1000 mg ja säteen ollessa L_0 . Vakiokulmanopeus kaavasta 2:

$$\omega_{1000mg} = \sqrt{\frac{1000mg}{L_0}}$$

Virheellinen kiihtyvyys laskettuna lämpötilassa -20 °C kaavalla 2:

$$a_r = 999,0 \text{ mg.}$$

Lämpölaajenemisen aiheuttaman virheen määrä voidaan laskea kaavalla (merkitään virhettä E kirjaimella):

$$\text{Virhe } E = |\text{Arvo ennen laajenemista} - \text{Arvo laajenemisen jälkeen}|.$$

Taulukkoon 7 on laskettu keskeiskiihtyvyyksiä ja virheitä eri lämpötilanmuutoksen arvoilla.

Taulukko 7. Keskeiskiihtyvyyksiä ja virheitä eri lämpötilan muutoksilla.

ΔT	a_r (mg)	Virhe (mg)
+23°C...-20°C	999,0	0,99
+23°C...+100°C	1001,8	1,78
+23°C...+200°C	1004,1	4,09

7.3 Virhelähteiden vertailu

Taulukoidaan virhelähteitä, jotta voidaan vertailla niiden kriittisyyttä. Taulukoista 8 ja 9 voidaan lukea, että lämpötilan tulee muuttua paljon (+23 °C ...+834 °C), jotta päästään maksimivirheen arvoon 20 mg (2 %). Radiaalisessa suunnassa (1000 mg) maksimivirhe saavutetaan 12°:n kiertymässä. Tangentiaalisessa suunnassa (0 mg) maksimivirhe saavutetaan 1,2°:n kiertymässä.

Taulukko 8. Lämpötilasta johtuva virhe.

ΔT	Virhe (mg)	Virhe %
+23°C...-20°C	0,99	0,10
+23°C...+100°C	1,78	0,18
+23°C...+200°C	4,09	0,41
+23°C ...+834°C	20,00	2,00

Taulukko 9. Kiertymästä johtuva virhe. Taulukossa on harmaalla merkitty kohdat, joissa on saavutettu maksimivirhe 2 %.

Kulma (°)	Virheen määrä 1000mg:stä (mg)	(%)	Virheen määrä 0mg:ssä (mg)	(%)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,00	0,00	0,17	0,02
0,05	0,00	0,00	0,87	0,09
0,2	0,01	0,00	3,49	0,35
0,4	0,02	0,00	6,98	0,70
0,6	0,05	0,01	10,47	1,05
0,8	0,10	0,01	13,96	1,40
1	0,15	0,02	17,45	1,75
1,2	0,22	0,02	20,94	2,09
1,1	0,18	0,02	19,20	1,92
5	3,81	0,38	87,16	8,72
10	15,19	1,52	173,65	17,36
11	18,37	1,84	190,81	19,08
12	21,85	2,19	207,91	20,79

8 Yhteenveto

Validointien onnistumisen kannalta on tärkeää, että työohjeet ovat ajan tasalla. Työohjeiden tehtävänä on ohjata henkilöstön työtä niin, että saadaan luotettava validointitulokset. Validointitulosta tärkeämpää on kuitenkin, että työvaiheet suoritetaan turvallisesti. Ohjeistuksen tulee aina olla henkilöstölle selkeää ja työturvallisuuden huomioivaa. Työohjeissa ei vain neuvota työvaiheiden järjestystä vaan tärkeää on myös tapa, jolla työvaiheet tehdään.

Virheelliset työohjeet voivat aiheuttaa vaaratilanteita mittauslaitteistoa käyttävälle työntekijälle. Validointien vertaaminen aiempiin validointituloksiin on mahdollista vain, jos validointiin käytettävät testit on suoritettu samalla tavalla. Ajantasaisia työohjeita noudattamalla ei synny vääriä käytäntöjä, vaan työvaiheet suoritetaan uusimman tiedon mukaan. Kun työohjeet ovat ajan tasalla, niitä voidaan käyttää myös henkilöstön kouluttamisessa apuna.

Työohjeen laatiminen kannattaa jaotella selkeästi eri tekovaiheisiin. Tekovaiheet tulee määritellä ennen työohjeen laatimisen aloittamista. Jokaisella vaiheella on oma tärkeä tehtävänsä työohjeen valmistumisessa. Vaiheittaisen laatiminen auttaa laatimistyön edistymistä, koska laatija tietää mitä missäkin vaiheessa kuuluu tehdä.

Sentrifugin kyvykkyyslaskelmissa pyrittiin vertailemaan eri virhelähteitä. Valittuja virhelähteitä olivat anturin kiertymän aiheuttamat virheet, sekä lämpölaajenemisen aiheuttamat virheet. Tangentiaalisessa suunnassa $1,2^\circ$:n kiertymä aiheutti maksimivirheen (2 %). Radiaalisessa suunnassa maksimivirheeseen päästiin, kun anturi oli kiertynyt 12° . Lämpölaajeneminen aiheuttaa maksimivirheen, kun lämpötila ylittää $+834^\circ\text{C}$. Verrattuna lämpölaajenemisen aiheuttamaan virheen määrään, anturin kiertymä aiheuttaa paljon herkemmin virhettä. Lämpölaajeneminen ei ole laboratorion käyttämissä mittauslämpötiloissa ongelma.

Opinnäytetyössä tavoitteena oli laatia ajantasaisia työohjeita ja selvittää laitteiston kyvykkyyttä. Työohjeiden laatiminen onnistui hyvin ja niitä voidaan ottaa suoraan käyttöön. Laitteiston kyvykkyyteen liittyvien selvitysten tarkoituksena oli koota laitteiston tietoja yhteen paikkaan. Selvityksistä on hyötyä, kun laitteistosta etsitään tietoja tai pyritään selvittämään virhelähteitä.

Lähteet

- 1 Overview 2019. Verkkoaineisto. Murata Electronics Oy.
<<https://www.murata.com/en-us/about/company/muratalocations/europe/mfi/overview>>. Luettu 28.11.2019.
- 2 Hägg, Margareta 2016. Validoinnin suunnittelun opas. Verkkoaineisto. VTT Technology 276. <<https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T276.pdf>>. Julkaistu Lokakuu 2016. Luettu 15.11.2019.
- 3 Lucander, Henrik 2018. Data Collection in Virtual Reality Control Room Validation. Verkkoaineisto. Metropolia ammattikorkeakoulu.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/140546/Lucander_Henrik.pdf?sequence=1>. Julkaistu 16.01.2018. Luettu 15.11.2019.
- 4 Julkunen, Juha 2003. Planray Oy:n ESD-sojauksen kartoitus ja parannus. Verkkoaineisto.
<<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/10742/TEL9SJuhaJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Julkaistu 06.04.2003. Luettu 28.11.2019.
- 5 Haag, Mikael. Salonen, Tapio. Siltanen, Pekka. Järvinen, Paula. 2011. Työohjeiden laadintamenetelmiä kappaletavaratuotannossa. Verkkoaineisto. VTT.
<<https://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W162.pdf>>. Julkaistu 2011. Luettu 2.12.2019.
- 6 Anias, Pasi. Koskenvesa, Anssi. Mäkeläinen, Jukka 2014. Esimiehen työsuojeluopas. Verkkoaineisto. TTK.
<https://ttk.fi/files/6400/Esimiehen_tyosuojeluopas_netti.pdf>. Julkaistu 2014. Luettu 2.12.2019.
- 7 Sentrifugi 2017. Verkkoaineisto. Wikipedia.
<<https://fi.wikipedia.org/wiki/Sentrifugi>>. Päivitetty 7.7.2017. Luettu 15.12.2019.
- 8 Centrifuge 2018. Verkkoaineisto. Encyclopedia britannica.
<<https://www.britannica.com/technology/centrifuge>>. Päivitetty 30.4.2015. Luettu 3.12.2019.
- 9 Karhunen & Haarto. Ympyräliike. Verkkoaineisto.
<http://fysiikka.turkuamk.fi/fysiikka/Infya/4a_ympyraliike.pdf>. Luettu 5.11.2019.
- 10 How tilt of DUTS affect output. Yrityksen sisäinen verkkoaineisto. Murata Electronics Oy.
- 11 Timonen, Mika. Lämpölaajeneminen. Verkkoaineisto.
<<https://peda.net/p/Mika%20Timonen/jopo/fysiikka->

8/!%C3%A4mp%C3%B6laajeneminen/!%C3%A4mp%C3%B6laajeneminen2>.
Luettu 5.11.2019.