

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Modernit tuotantojärjestelmät
Tuulikki Dahlström

Opinnäytetyö

Mittakellon kalibrointilaitteiston uusimisen valmistelu

Työn ohjaaja
Työn tilaaja

Kone- ja metsäteknologian lehtori Pauliina Paukkala
Finnair Technical Services Oy, ohjaajana laatuinsinööri
Pekka Paananen

Tampere 6/2010

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Modernit tuotantojärjestelmät

Tuulikki Dahlström	Mittakellon kalibrointilaitteiston uusimisen valmistelu
Tutkintotyö	37 sivua + 5 liitesivua
Valmistumisaika	6/2010
Työn ohjaaja	Kone- ja metsäteknologian lehtori, Pauliina Paukkala
Työn tilaaja	Finnair Technical Services Oy

Tiivistelmä

Finnair Technical Services Oy tuottaa lentokoneiden huolto- ja korjauspalvelua Finnair Oyj:lle, sekä useille muille lentoyhtiöille. Mittalaitetarkastus vastaa huolloissa käytettävien mitta- ja testilaitteiden kalibroinneista ja valvontajärjestelmästä. Vuodesta 1983 se on ollut akkreditoitu kalibrointilaboratorio K009 (pituus ja paine).

Opinnäytetyössä etsittiin markkinoilla olevat mittakellojen kalibrointilaitteistot ja vertailtiin niitä valmistajien esitteiden perusteella. Tutkittiin myös mahdollisuutta päivittää nykyinen laitteisto käyttäen mittalaitetarkastuksen oman henkilöstön osaamista.

Työssä tutustuttiin aluksi mittalaitetarkastuksen toimintaan sekä metrologian historiaan ja nykypäivään.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että saatavilla on laitteistoja useilta eri valmistajilta.

Tarkkuudessa ei esitteiden perusteella ole suurtakaan eroa. Laitteistot jakaantuvat toimintaperiaatteeltaan kolmeen eri tyyppiin: täysin manuaalisiin, osittain automaattisiin ja täysin automaattisiin. Tutkimuksen jälkeen myös nykyisen laitteiston päivittäminen uudella ohjelmalla ja anturilla vaikutti vahvalta vaihtoehdolta.

Avainsanat mittakello, kalibrointi, metrologia, käyttönormaali

Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Modern Production Systems

Dahlström Tuulikki	Preparation of acquisition of a new calibration unit for dial gauges
Engineering Thesis	37 pages + 5 appendices
Graduation time	6/2010
Thesis supervisor	lecturer Pauliina Paukkala
Co-operating company	Finnair Technical services Ltd

Abstract

Finnair Technical Services Ltd provides maintenance and repair services to in-house and third party customers. The Calibration laboratory takes care of the measuring and test equipments calibration and control.

Final thesis compares the calibration unit for dial gauges available at the market, as well as the opportunity to upgrade existing hardware and software, using the skills of the laboratory's own staff.

There is also a short view to the operation in Finnair's Calibration laboratory and metrology's history and present.

The investigation revealed that there is availability of equipment from various manufacturers. Equipment operating principles are divided into three types: fully manual, semi-automatic and fully automatic. After investigation, updating the existing equipment with a new program and a probe appeared to be a strong option.

Keywords dial gauge, calibration, metrology, working standard

Sisällysluettelo

1.	Johdanto	8
2.	Finnair Technical Services Oy	9
2.1.	Mittalaitetarkastus	11
2.2.	Standardi ISO/IEC 17025	11
2.3.	Mitta- ja kokelulaiteiden merkinnät	13
3.	Metrologia ja kalibrointi	14
3.1.	Metrologian pääalueet	15
3.2.	Metrologian luokittelu	15
3.3.	Pituus fysikaalisena suurena	16
3.4.	Kalibrointi.....	17
3.5.	Jäljitettävyys	17
4.	Mittakello	18
5.	Mittakellon käyttökohteita finnairin huoltopalveluissa	19
6.	Kellojen kalibroinnin nykytilanne.....	23
7.	Markkinoilla olevat laitevaihtoehdot	28
7.1.	Manuaaliset tarkastuslaitteet	28
7.2.	Moottoroidut täysi - puoliautomaattiset tarkastuslaitteet	28
7.3.	Moottoroidut täysautomaattiset tarkastuslaitteet.....	30
8.	Laitteiston päivitys uudella anturilla ja ohjelmalla	31
9.	Kalibrointimahdollisuudet muualla.....	32
9.1.	MittaComp.....	32
9.2.	Pirkanmaan kalibrointipalvelu.....	32
10.	Johtopäätökset.....	32
10.1.	Työpisteen ergonomia.....	32
10.2.	Kalibrointilaitteisto	34
11.	Jatkotoimenpiteet	35
	Lähteet.....	36
	Liitteet	37

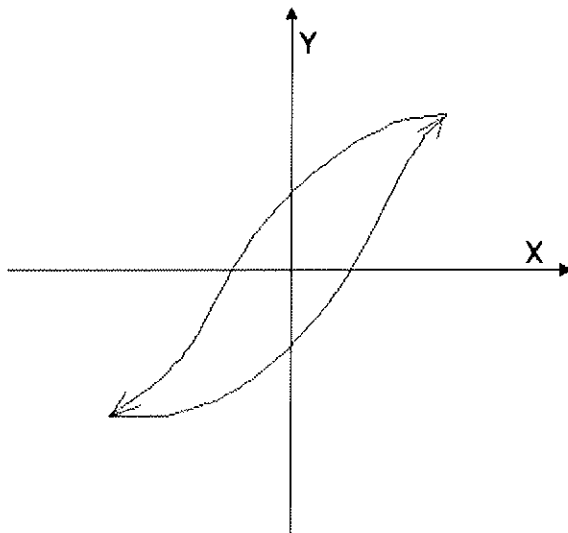
Sanasto

Akreditoitu laboratorio = laboratorio, joka on muodollisesti todettu päteväksi suorittamaan määrättyjä tai määrätynlaisia tehtäviä.

CGPM = yleinen paino- ja mittakonferenssi (Conférence Générale des Poids et Mesures)

FINAS = Finish Accreditation Service.

Hystereesi kuvaa sitä, kuinka mittausrvo riippuu todellisen arvon muutoksen suunnasta (onko suure kasvava vai vähenevä). Y-akselilla "viivästytvä suure", X-akselilla "vaikuttava suure" (kuvio 1).



Kuvio 1: Hystereesi

Jäljitettävyyys = mittaustuloksen tai mittanormaanin yhteys ilmoitettuihin referensseihin, yleensä kansallisiin tai kansainvälisiin mittanormaaleihin, sellaisen aukottoman vertailuketjun välityksellä, jossa kaikille vertailuille on ilmoitettu epävarmuus.

Jäljitettävyyshetju = aukoton vertailuketju.

Kalibrointi = toimenpiteet, joiden avulla spesifioiduissa olosuhteissa saadaan mittauslaitteen tai mittausjärjestelmän näyttämän tai kiintomittan tai vertailuaineen edustamien suureen arvojen ja vastaavien mittanormaaleilla realisoitujen arvojen välinen yhteys.

Käyttönormaali = mittanormaali, jota käytetään rutiiniluonteisesti kiintomittojen, mittauslaitteiden tai vertailuaineiden kalibrointiin tai tarkastukseen.

MIKES = Mittatekniikan keskus

Mittanormaali = kiintomitta, mittauslaite, vertailuaine tai mittausjärjestelmä, jolla määritellään, toteutetaan, säilytetään tai toistetaan suureen mittayksikkö tai suureen yksi tai useampi referenssiarvo.

Mittausepävarmuus = mittaustulokseen liittyvä parametri, joka kuvaa mittaussuureen arvojen oletettua vaihtelua.

Parallaksivirhe = Jos silmä ei ole tarkalleen esim. analogisen mittarin osoittimen ja taustan numerotaulun viivan muodostamalla optisella akselilla, syntyy parallaksivirhe, ts. optinen akseli ja visuaalinen akseli ovat hieman erillään toisistaan.

Primäärinormaali = korkeimman metrologisen laadun omaava mittanormaali, jonka arvo on hyväksyttävissä ilman vertailua muihin saman suureen mittanormaaleihin.

Referenssinormaali = mittanormaali, jolla on tietyssä paikassa tai organisaatiossa yleensä paras saatavissa oleva metrologinen laatu ja johon siellä tehtävät mittaukset perustuvat.

SI-yksikkö = kansainvälisen (mitta)yksikköjärjestelmän mukainen yksikkö.

Viruma = plastinen, pysyvä muodonmuutos. Syntyy asteittaisena, lisääntyen ajan suhteen, kun rakennetta kuormitetaan.

1. Johdanto

Tässä raportissa selvitetään markkinoilla olevat mittakellon kalibrointilaitteistot.

Finnair Technical Services Oy:ssä (myöh. Tekniikka) on käytössä useita satoja mittakelloja. Kaikki mittakellot kalibroidaan mittalaitetarkastuksessa vähintään kerran vuodessa. Nykyisin käytössä oleva laitteisto on melko iäkäs eikä kaikilta osin vastaa tarpeita. Tavoitteena oli selvittää, mitä laitteistovaihtoehtoja on markkinoilla. Oli selvitettävä myös, onko nykyistä laitteistoa mahdollista päivittää niin, että kalibrointien laatu, järjestelmän toimintavarmuus ja käytön ergonomisuus paranisivat.

Lähteinä on käytetty alan kirjallisuutta, standardeja, oppimateriaaleja, internet-sivustoja, mittakellovalmistajien tuoteluetteloita ja kalibrointilaitteistojen valmistajien esitteitä.

2. Finnair Technical Services Oy

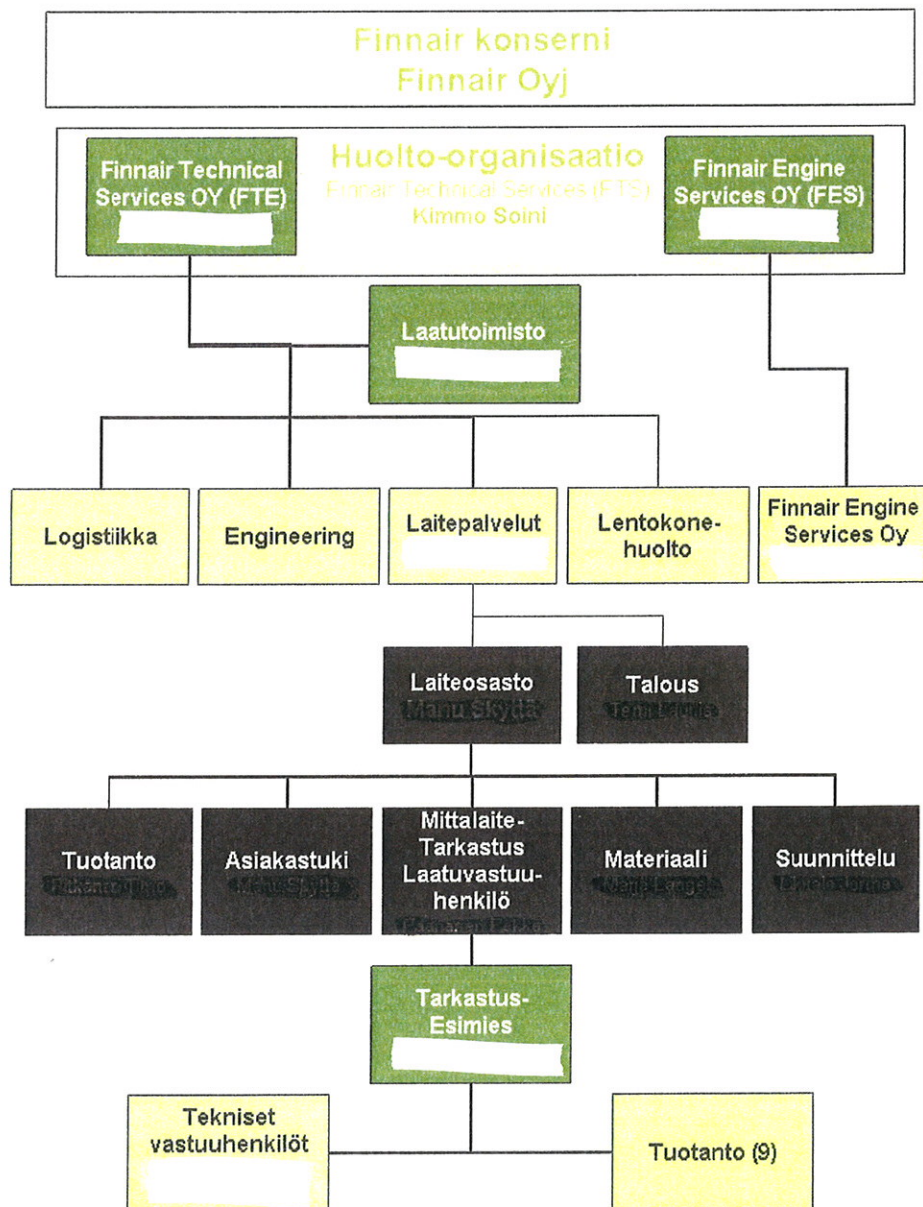
Finnair perustettiin 1.11.1923. Se on yksi maailman vanhimmista edelleen toimivista lentoyhtiöistä. Aivan alusta lähtien on oma huolto-organisaatio ollut osa Finnairin toimintaa. Ensimmäiset huollot tehtiin taivasalla, pilotin ja yrityksen ainoan mekaanikon voimin. Nykyään lentokaluston lentokelpoisuudesta vastaa noin 1800 ammattilaisen joukko. Teknillinen toimisto, materiaaliosasto sekä erillinen laatuorganisaatio tukevat lentokoneiden huolto- ja korjaustoimintaa. Huoltopalvelua tarjotaan emo Finnairin lisäksi myös ulkopuolisille asiakkaille. Vuoden 2010 alussa Finnairin Tekniikasta muodostettiin kaksi itsenäistä osakeyhtiötä (kuvio 2): Finnair Technical Services Oy ja Finnair Engine Services Oy (kuvio 2). Finnair Oyj omistaa kummankin yhtiön 100 %:sti.

Teknistä tukea annetaan seuraaville konetyypeille (www.finnair.fi):

- MD11
- ATR42/72
- A320 FAMILY
- A330 JA A340
- Boeing 757
- Embraer 170/190.

Finnairin tekniikan huolto-organisaation sertifikaatit (www.finnair.fi):

- FAA Repair Station Certificate
- Bermuda Repair Station Certificate
- EASA Part 145 Maintenance Organization Approval
- Part-147 Maintenance Training Organisation Approval Certificate
- Production Organization Approval FI.21G.0003
- Russian Maintenance Organisation Certificate
- Design Organisation Certificate EASA.21J.263



Kuvio 2: Finnair konsernin huolto-organisaatio, laitepalvelut, mittalaitetarkastus 2010 (Finnairin intranet).

2.1. Mittalaitetarkastus

Finnairin tekniikan mittalaitetarkastus perustettiin 1969 vastaamaan kalibroinneista ja mittalaitteiden valvontajärjestelmästä. Vuodesta 1983 se on ollut akkreditoitu kalibroitilaboratorio K009 (pituus ja paine). Tavoitteena on tulevaisuudessa palauttaa tasajännitteen akkreditointi, josta on laiterikon vuoksi jouduttu luopumaan.

Koska suurejakauma on laaja, käytetään myös ulkopuolisia alihankkijoita. Omien referenssi-, käyttö- ja siirtonormaalien kalibrointi, sekä sellaisten (suureiden) mittalaitteiden kalibrointi, joihin mittalaitetarkastuksella ei ole valmiuksia, teetetään alihankintana. Referenssi-, käyttö- ja siirtonormaalien kalibrointiin käytetään kansallisia ja kansainvälisiä akkreditoituja kalibroitilaboratorioita (esim. Lentotekniikkalaitos, SGS Fimko, Agilent) tai kansallisen tason mittanormaallaboratorioita (esim. MIKES, SP, Lahti Precision Oy). Niille mittalaitteille joiden kalibrointiin ei ole valmiuksia tulee jäljitettävyys laitteen valmistajalta tai sen valtuuttamalta kalibroitilaboratoriolta.

Eri ryhmien kalibrointituloksia myös käsitellään eri tavalla. Omien referenssi-, käyttö- ja siirtonormaalien tulokset epävarmuuksineen kirjataan stabiiliusseurantaan ja analysoidaan. Toisessa ryhmässä haetaan ko. mittalaitteen omien vaatimusten täyttymistä, perspektiivinä myös jäljitettävyys. Jäljitettävyysvaatimukset tulevat standardeista ISO/IEC 17025, sekä yleisilmailumääräyksistä FAR-145 (USA) ja PART-145 (EU).

2.2. Standardi ISO/IEC 17025

Standardi määrittelee yleiset vaatimukset kalibroinneille ja testauksille ja soveltuu kaikille ko. toimintaa harjoittaville organisaatioille laajuudesta riippumatta. Se sisältää mm. seuraavat vaatimukset:

- laboratorioille yleensä
- johtamisjärjestelmälle
- toiminnan yleisille periaatteille
- johtamisjärjestelmän ja muun toiminnan jatkuvalla parantamiselle
- inhimillisille tekijöille

- tiloille
- ympäristötekijöille
- testaus- ja kalibrointimenetelmille
- mittausten jäljitettävyydelle
- tulosten laadun varmentamiselle.

Standardi ei kata laboratorioiden toimintaa koskevia viranomais- ja turvallisuusvaatimuksia (Suomen Standardoimisliitto SFS. Standardi SFS-EN-ISO/IEC 17025, 2. painos. 2005).

Koska mittalaitemäärä on suuri, avainasemassa on valvontajärjestelmä. Erityisesti hallittaessa sijainteja (myös kalibroinnissa tai korjauksessa olevat), kalibrointijaksoja, stikkereitä ja historiatietoja.

Suurin osa kalibroinneista tehdään sisäisille asiakkaille, Tekniikan muille osastoille. Kalibrointitapahtumia sisäisille asiakkaille oli vuonna 2009 noin 6700. Joka kuun alussa julkaistaan lista, jonka avulla mittalaitteet kutsutaan kalibrointiin. Listassa olevat mittalaitteet ovat vanhentumassa ko. kuukauden aikana tai ovat jo vanhentuneet. Työnkulku mittalaitetarkastuksessa käy ilmi liitteistä 1, 2 ja 3 (Finnairin intranet).

Toimittaessa konsernin ulkopuolisten asiakkaiden kanssa käytetään asiakaslähtöistä työtilausta. Työn kulun kirjaaminen, tiedottaminen ja pöytäkirja ovat ISO/IEC 17025 vaatimusten mukaisia. Mittalaitetarkastuksessa tehtiin vuonna 2009 hiukan alle 500 ulkopuolista asiakastyötä.

Mittalaitteiden valvonnassa käytetään Fluke Met/Cal plus -ohjelmistoa. Ohjelmisto otettiin käyttöön vuonna 1999. Tällä hetkellä on käytössä versio 7.20. Mittalaitteet sisältävässä tietokannassa on noin 13000 laitteen tiedot. Noin 6000 kpl näistä laitteista on säännöllisen kalibroinnin piirissä.

Met/Cal proseduureja, joiden avulla suuri osa kalibroinneista tehdään, on tällä hetkellä olemassa noin 160 kpl. Proseduurien käyttöönottoa edeltää hyväksymismenettely. Met/Cal -kalibrointeja tehdään eniten mekaanisille suureille.

2.3. Mitta- ja kokeilulaiteiden merkinnät

Mitta- ja kokeilulaitteet merkitään seuraavilla tarroilla (kuvio 3) (Finnairin intranet):

- **Next Insp.** tarra on hopeanvärinen. Tarra ilmoittaa minkä kuukauden aikana mittalaite on toimitettava kalibrointiin. Ajankohta ilmoitetaan muodossa kk.vvvv.
- **Next Insp./Limited Calibration** tarra on oranssilla merkitty. Se ilmaisee, että kalibrointia on jotenkin rajoitettu. Rajoituksesta ilmoitetaan kirjallisesti aina käyttävälle osastolle, kun mittalaite palautetaan kalibroinnista. Työnjohtajan on kiinnitettävä tieto rajoituksesta mittalaitteeseen tai välittömään läheisyyteen.
- **Reference Only** tarra on oranssilla merkitty. Se ilmoittaa, että mittalaite ei ole säännöllisen kalibroinnin piirissä ja on tarkoitettu vain viitteelliseen käyttöön. Päätös perustuu suunnittelijan, valmistajan, Teknillisen Toimiston tai käyttävän osaston ilmoitukseen, laitteen rakenteeseen tai käyttötarkoitukseen. Tällä tarralla varustetuilla laitteilla ei saa suorittaa osien tai järjestelmien hyväksyntämittauksia. Perustelu kirjataan mittalaitetarkastuksen ylläpitämään seurantajärjestelmään.
- **No Calibr Req** tarra on vihreällä merkitty. Se ilmaisee, että mittalaitetta ei tarvitse kalibroida. Yleensä päätös perustuu valmistajan ilmoitukseen. Myös käyttötarkoitus voi olla perusteena, mutta tulee huomata, että jos tällaisessa mittalaitteessa on jokin mittari, sillä saatuihin mittaustuloksiin ei voi luottaa.
- **Test Before Use** tarra on ruskealla merkitty. Se ilmaisee, että tällä varustetun mittalaitteen toiminta on varmistettava ennen käyttöä. Varmistus tehdään tavallisesti jonkun vertailumateriaalin tai -kappaleen yms. avulla.

- **Calibration Not Valid** on mustalla painettu punainen tarra. Tällä tarralla varustettua mittalaitetta ei ole kalibroitu, eikä sillä tehtyihin mittauksiin voi luottaa. Tarraa käytetään tavallisesti mittalaitteissa, jotka on tilapäisesti poistettu käytöstä tai jotka ovat käyttökiellossa.



Kuvio 3: Mitta- ja testilaitteiden merkintätarrat (Finnairin intranet)

3. Metrologia ja kalibrointi

Metrologia on tärkeä osa meidän kaikkien jokapäiväistä elämää, ja sillä on myös pitkät perinteet. Jo muinaiset egyptiläiset käyttivät mustasta graniitista valmistettua ns. kyynärmittaa, jonka valvonta ja kalibrointi oli työmaan arkkitehtien vastuulla. Raskain rangaistus valvonnan laiminlyöjälle oli kuolema. Nykyään metrologia esiintyy elämässämme esimerkiksi ostaessamme hedelmiä painon mukaan tai kangasta pituuden mukaan.

Metrologian kehittyminen alkoi kaaoksesta. Jokaisella maalla, jopa kylällä oli oma mittausjärjestelmänsä. Käytettiin muuntokertoimia, eivätkä mittaustulokset sittenkään olleet vertailukelpoisia. Kansainvälisen kaupankäynnin lisääntyminen vahvisti halua saada yhtenäinen mittajärjestelmä. Yhteistyön tuloksena solmittiin vuonna 1875 metrisopimus, josta nykyisen SI-järjestelmän kehitystyö alkoi.

3.1. Metrologian pääalueet

Metrologia on tieteenala, joka käsittelee mittauksia. Se kattaa kolme pääaluetta:

- 1 kansainvälisesti hyväksytyjen mittayksiköiden määritelmät (SI-yksiköt)
- 2 mittayksiköiden raelisointi tieteellisin keinoin
- 3 jäljitettävyysetjun muodostaminen mittausten tarkkuuden dokumentointia varten.

Näiden lisäksi metrologiaan kuuluvat, mittaustarkkuudesta riippumatta, sekä teoreettiset että käytännölliset mittausingelmat (Mikes, Metrologiasta lyhyesti, suomennettu painos, 4. painos, Multiprint, 2008).

3.2. Metrologian luokittelu

Metrologiatoiminnot voidaan luokitella kolmeen osaan:

- 1 tieteellinen metrologia (mittanormaalinen ja niiden ylläpidon kehitystyö ja organisointi)
- 2 teollisuusmetrologia (teollisuuden tuotannossa ja kehitystyössä käytettävien mittavälineiden asianmukaisuuden varmistaminen)
- 3 lakisääteinen metrologia (mittausten, joilla on vaikutusta taloudellisten toimien läpinäkyvyyteen, terveyteen ja turvallisuuteen, tarkkuustasosta huolehtiminen).

Perusmetrologialle ei ole kansainvälistä määritelmää. Se edustaa korkeinta tarkkuustasoa kyseessä olevalla alueella ja sitä voidaan kutsua tieteelliseksi metrologiaksi täydennettynä tieteellistä tarkastelua vaativilla teollisuusmetrologian ja lakisääteisen metrologian osa-alueilla (Mikes, Metrologiasta lyhyesti, 2008).

3.3. Pituus fysikaalisena suureena

Pituus on SI-mittayksikköjärjestelmän ja fysiikan perussuure, jota voidaan toisissa yhteyksissä kutsua etäisyydeksi tai matkaksi. Matkasta käytetään yleensä tunnusta s , kappaleen mittana pituudesta käytetään useimmiten tunnusta l . Pituutta mitataan SI-järjestelmässä metreinä. Yksinkertaisin pituuden mittaväline on mittanauha. Vaativammissa mittauksissa käytetään interferometriaan perustuvia optisia mittavälineitä.

Suure on ominaisuus, jonka määrän voi mitata ja laatu on tunnistettavissa. Mittaamisen tarkoituksena on selvittää arvo yksittäistapaukselle eli yksilösuurelle. Suureen arvo on lukuarvon ja mittayksikön tulo. Lukuarvolla esitetään, kuinka monesta mittayksiköstä on kyse ja mittayksiköllä kuvataan suureen laatu .

Metrin määritelmän historiaa

1872 Ranskassa valmistettiin metrin prototyyppi silloisen määritelmän mukaan, joka oli 1 metri = $1/10\,000\,000$ maan halkaisijan neljänneksestä pohjoisnavalta Pariisiin kautta päiväntasaajalle mitattuna.

1875 Metrisopimus allekirjoitettiin.

1889 Metrin prototyyppi valmistettiin platinairidiumista.

1893 Michelson mittasi interferometrillään metrin pituuden kadmium-lampun punaisen valon aallonpituuksina.

1927 Metri sai rinnakkaismääritelmän kadmiumin punaisen viivan aallonpituuden avulla.

1960 CGPM muutti metrin määritelmää : metri on $1650763,73$ aallonpituutta krypton⁸⁶ atomin määrättyjen energiatilojen välisen siirtymän aiheuttamaa säteilyä tyhjiössä.

1975 CGPM suosittelee arvoa valon nopeudelle tyhjiössä

1983 CGPM määrittelee metrin uudelleen : metri on matka jonka valo kulkee tyhjiössä $1/299\,792\,458$ sekunnin ajassa. Tämä määritelmä kiinnittää metrin luonnonvakioon, valonnopeuteen tyhjiössä. Samalla määritelmä sitoo metrin ajanyksikköön s .

3.4. Kalibrointi

Kalibrointi on mittalaitteen ominaisuuksien selvittämistä. Kalibroinnissa määritetään mittalaitteen näyttämän ja vastaavan mittanormaalien arvon välinen yhteys, kalibrointiolosuhteissa ja kalibrointihetkellä. Kalibroinnin tuloksena syntyy kalibrointitodistus, joka kertoo

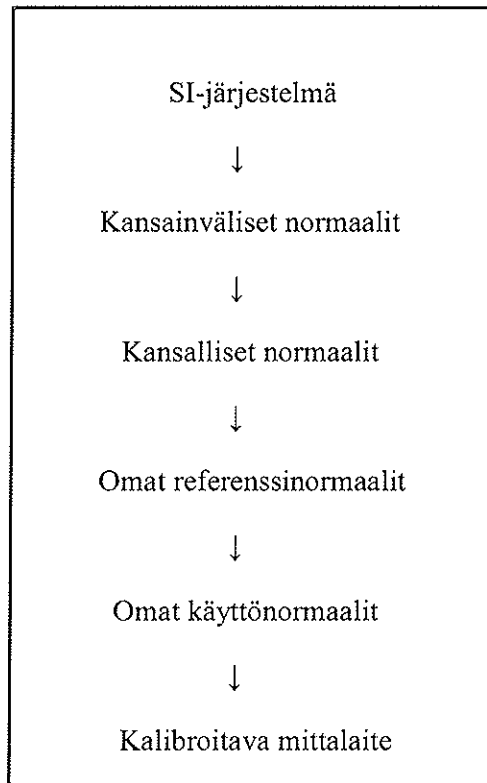
- kalibroinnin tuloksen (epävarmuus mukaan lukien)
- kalibrointiolosuhteet
- kalibrointiajankohdan
- onko laitetta viritetty (ja yleensä virituksen vaikutuksen, jos on tehty)
- jäljitettävyyden.

Kalibrointitodistus ei kerro

- miten laite toimii kalibrointiolosuhteista poikkeavassa ympäristössä
- miten laite käyttäytyy pidemmällä aikavälillä
- milloin laite pitää kalibroida uudelleen (Finnairin mittalaitetarkastuksen sisäisille asiakkaille tehdyissä todistuksissa on tieto seuraavasta kalibrointiajankohdasta, ulkopuolisille asiakkaille se merkitään asiakkaan pyynnöstä.)
- soveltuuko laite asiakkaan käyttökohteeseen

3.5. Jäljitettävyys

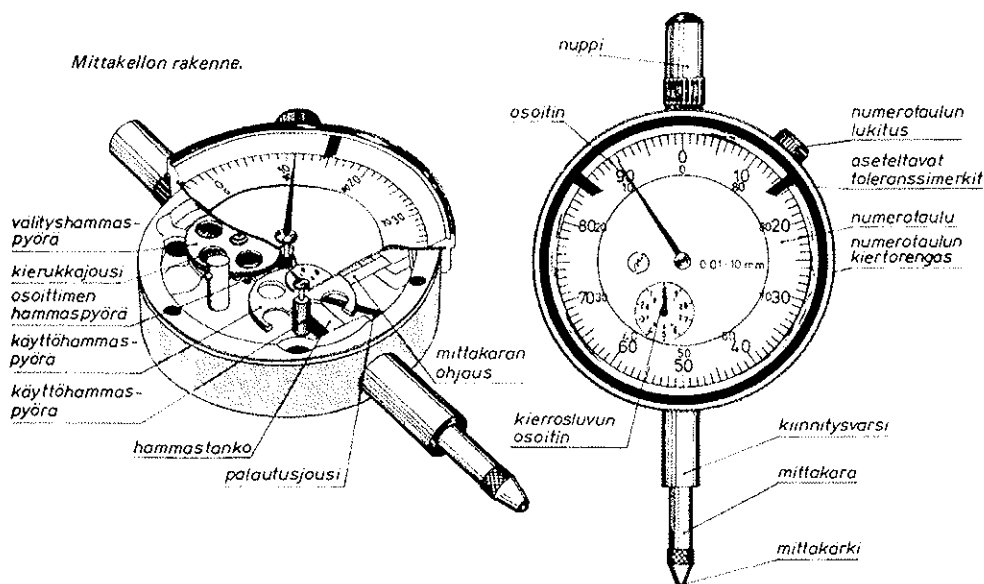
Kalibrointilaboratorion omien mittanormaalien ja mittalaitteiden jäljitettävyys kansainväliseen mittayksikköjärjestelmään perustuu katkeamattoman kalibrointi- ja vertailuketjun välityksellä asianomaisten SI-yksiköiden primaarinormaaleihin (kuvio 4). Kalibrointi ei ole jäljitettävä, jollei koko kalibrointiketjun kaikille kalibroinneille ole määritelty ja ilmoitettu mittausepävarmuutta. (Liite 4. Jäljitettävyyskaavio, pituus Finnairin mittalaitetarkastus [Finnairin intranet]).



Kuvio 4: Kalibrintiketju

4. Mittakello

Mittakello (kuvio 5) on pienten pituuksien ja pituuserojen mittaamiseen käytettävä osoittava mittalaite. Mittakaran lineaarinen liike muutetaan hammastanko-hammaspyörämekanismiin ja -välityksen avulla osoittimen pyöriväksi liikkeeksi. Mittausvoiman saa aikaan kierrejousi. Tarkkuus perustuu hammastangon ja välitysmekanismiin hammaspyörien tarkkaan valmistukseen. Keskimääräinen mittausvoima on 0,8...1,5 N/1/. Tukeva kiinnitys mahdollistaa luotettavat tulokset ja vähentää satunnaisvirheitä.



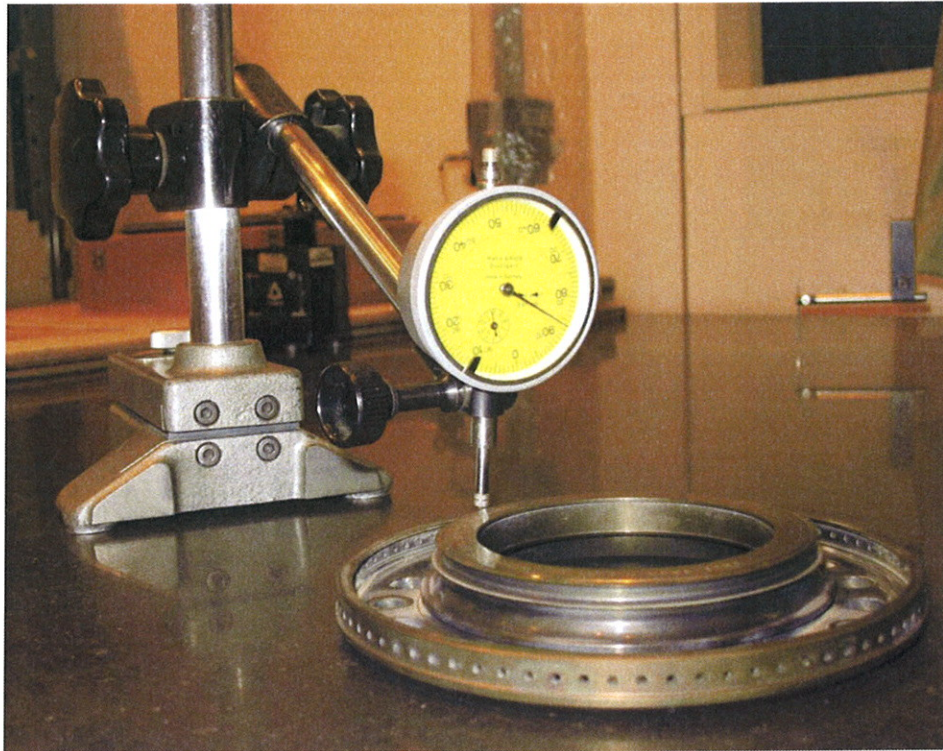
Kuvio 5: Mittakellon rakenne (Arvo Autio, Olavi Räsänen. Mittaustekniikka 1. Toinen painos. WSOY, 1986)

Mittakellon rakenne ja metrologiset vaatimukset on määritelty standardissa EN ISO 463:2006, joka on myös vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi.

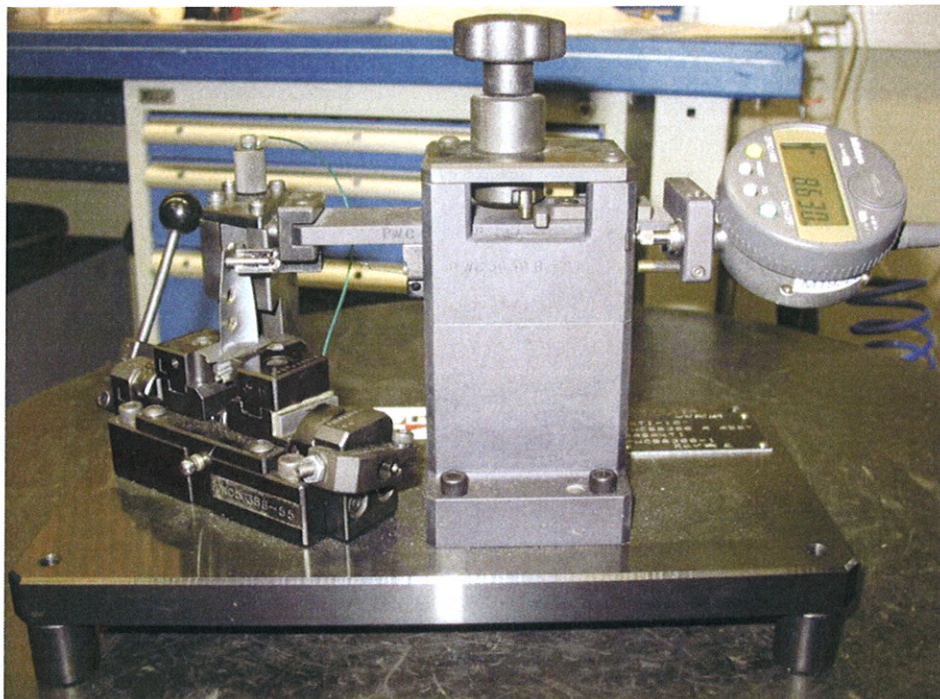
5. Mittakellon käyttökohteita finnairen huoltopalveluissa

Mittakellokanta on hyvin kirjavaa. Suurimman joukon muodostavat eri mittausmatkoille tarkoitetut viisarinäyttöiset mittakellot, digitaalisia mittakelloja on käytössä muutamia kymmeniä. Vipumittakelloja on hiukan alle 100 kpl.

Suurinta osaa kalibroitivista mittakelloista käytetään moottorikorjauksessa. Niitä käytetään esim. pyörivien kappaleiden epäkeskisyyden mittaukseen sekä olakkeiden korkeuksien ja kappaleen heiton tarkistamiseen (kuvio 6). Käytössä on myös useita mitaustasoja, joiden päällä mittakellon avulla mitataan mm. korkeuseroja. Mittakelloja on myös osana erilaisia testijigejä, jotka on tarkoitettu jonkin tietyn lentokoneosan tarkastukseen. Seuraavana muutama esimerkkikuva (kuviot 6, 7, 8, 9).

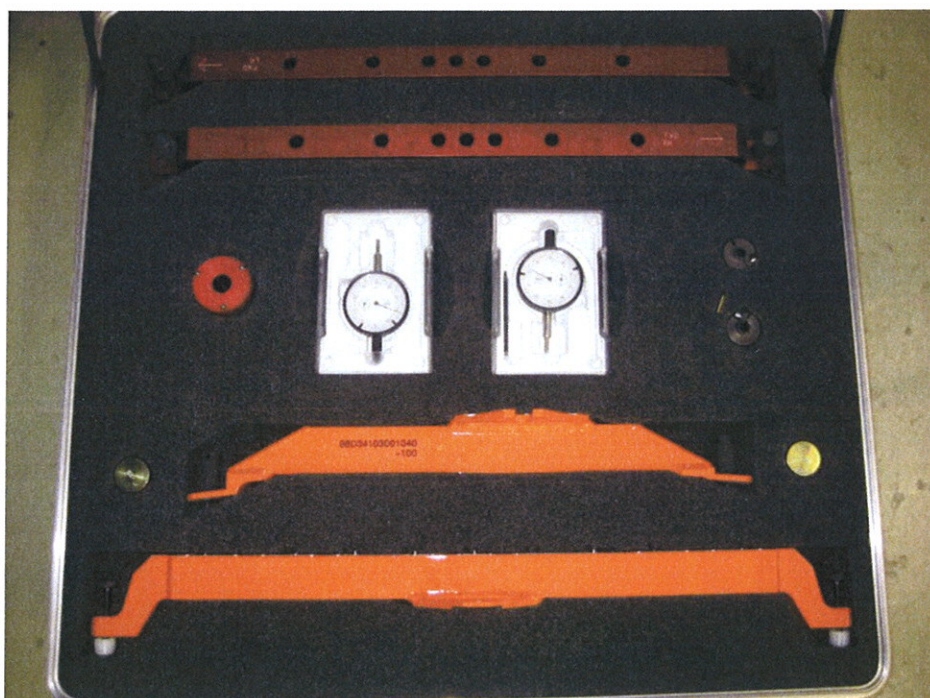


Kuvio 6: Olakkeen mittaus



Kuvio 7: Siiven viruman mittaus

Lentokoneen matalapaineturbiinin siipien viruma eli väsyminen tai kääntymä tarkastatetaan 14000 käyntitunnin jälkeen. Tarkastuksen alussa mittauslaitteen perussäätö varmistetaan master-siivellä. Tämän jälkeen jokainen siipi mitataan ja lukema kirjataan muistiin. Siipiä on yhdessä turbiinissa useita kymmeniä ja niiden mittaus pyritään tekemään yhtäjaksoisesti. Joka kymmenennen mittauksen jälkeen perussäätö varmistetaan master-siivellä. Tulosten perusteella ulkona toleranssista olevat siivet romutetaan.

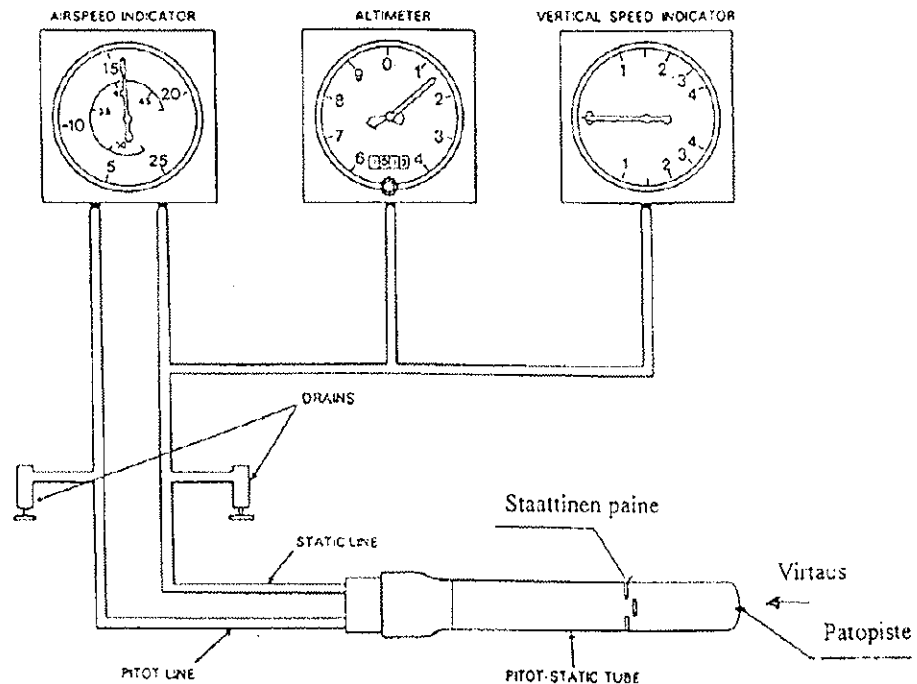


Kuvio 8: Staattisen aukon ympäristön tarkastussetti

Staattisen aukon ympäristön tulee olla vaurioitumaton, jotta pitot-staattiseen järjestelmään perustuvat mittarit antavat oikeita arvoja. Staattisen aukon ympäristön mittauksiin on jokaiselle konetyypille oma mittavälineensä (kuvio 8)

Lennonopeus ja -korkeus ovat lentämisen turvallisuuteen oleellisesti vaikuttavia tekijöitä. Lentokoneen nopeutta ympäröivään ilmaan nähden, mitataan usein miten pitot-staattisella järjestelmällä johon on liitetty nopeusmittari (kuvio 9). Järjestelmä perustuu kokonaispaineen ja staattisen paineen erotuksen mittaamiseen. Lentokorkeus saadaan staattisesta paineesta, kun niiden välinen yhteys otetaan ilmakehämallista. Koneen ympäröivän ilman paine täytyy tuntea, jotta voidaan määritellä vastaava korkeus ja pai-

neen muutosnopeus, joka ilmoittaa lentokoneen nousunopeuden. Yksinkertaisemmillaan korkeusmittari on painemittari, jossa asteikkona on korkeus paineen sijaan.



Kuvio 9: Pitot-staattinen järjestelmä (www.tkk.fi/Yksikot/Laiva/Opinnot/Kurssit/Kul-24.3000/pdf/KVTP_Lentolaitteet.pdf)

RVSM

Lentopintojen väli oli aikaisemmin 2000 jalkaa (n. 608 m), mutta lisääntynyt siviili-ilmailu on pakottanut lentopintojen määrän lisäämiseen. Kansainvälisellä sopimuksella on lentopintojen välinen etäisyys puolitettu 1000 jalkaan (n. 304 m). Puolittaminen koskee lentopintoja pinnan 290 (8840 m) ja pinnan 410 (n. 12500m) välillä. Voidakseen lentää näillä lentopinnoilla lentoyhtiön on täytettävä tietyt vaatimukset. Vaatimuksiin sisältyy mm. kaksi erillistä korkeudenmittausjärjestelmää. Jos viranomaisten asettamat RVSM-vaatimukset eivät täyty, täytyy lentoyhtiön operoida lentopinnan 290 alapuolella. Tämä aiheuttaa suuremman polttoainekulutuksen, johtuen isommasta ilman tiheydestä ja siitä seuraavasta suuremmasta vastuksesta.

6. Kellojen kalibroinnin nykytilanne

Kalibrointi tapahtuu erillisessä pituusmittaushuoneessa, jossa ympäristöolosuhteet pyritään pitämään vakiona.

Lämpötila

Konepajamittauksen ja mittavälineiden peruslämpötilaksi on sovittu 20°C. Tämä on toteutettu Tekniikan kalibrointilaboratoriossa tehokkaalla ilmastoinnilla, jolla saadaan ilmavirtauksen kulku optimaaliseksi, niin mittausten kuin henkilökunnan hyvinvoinninkin kannalta.

Mittalaitteen ja mitattavan kappaleen lämpötilaero voi aiheuttaa merkittävän virheen mittaustuloksiin. Kun mittaukset tehdään sovituksessa 20°C:n lämpötilassa, ei tarvitse tuntea mitattavan materiaalin lämpötilanmuutoksia. Mittalaitteet siirretään stabiloitumaan mittaushuoneeseen hyvissä ajoin. Tarkastettavan laitteen koosta ja toleransseista riippuen pari tuntia voi riittää, mutta useimmiten tarkastettavat laitteet siirretään huoneeseen edellisenä päivänä.

Kosteus

Kosteus pidetään 40 %:n tasolla. Talvisin tuloilmaa kostutetaan ja kesäisin kuivatetaan. Oikea kosteus ehkäisee metallien ruostumista, sitoo pölyä ja edistää myös henkilökunnan hyvinvointia varsinkin hengitysteiden osalta talviaikaan. Pituusmittaushuoneessa on erillinen mittausjärjestelmä, joka hälyttää vastuuhenkilöt raja-arvojen ylittyessä.

Valaistus

Valaistus on toteutettu kattoon sijoitetuilla loisteputkilla. Valaisimien aiheuttama lämpökuorma on otettu huomioon huonetta ja ilmastointia suunniteltaessa. 800 - 1000 lx on riittävä valaistus mittaahuoneessa. Työpisteissä ei ole kohdevalaisimia ylimääräisen lämpökuorman välttämiseksi.

Värähtelyt

Huoneen ulkopuolelta tulevien värähtelyjen ei ole katsottu tuottavan ongelmia normaalitilanteessa. Rakennuksen välittömässä läheisyydessä tapahtuviin, maanrakennustöistä johtuviin räjäytyksiin varaudutaan ennalta lisäämällä vaimennuskumeja herkkimpien laitteiden jalustojen alle sekä pyrkimällä välttämään tärinälle herkkien mittausten osumista ennalta ilmoitettuihin räjäytysajankohtiin.

Mittakellon kalibrointityöpöydän rakenne on havaittu hiukan liian kevyeksi. Kalibroijan nojautuminen pöytää vasten tai jalkojen huolimaton ojentelu saa ajoittain pöydän tärähtämään. Myös viereisen (samanlaisen) pöydän ääressä työskentely voi aiheuttaa tärähtelyä, joka siirtyy mittakellopöytään.

Ergonomia

Kalibroijat ovat hyvin erikokoisia, joten pöytä, varsinkin sen korkeus, ei ole optimaalinen kenellekään. Kalibrointilaitteistoon kuuluvan tietokoneen näyttö on vinosti kalibrointijalustan takana, joten kalibroijan on toistuvasti käänneltävä päätään.

Mittakellon koosta riippuen, se on asetettava eri korkeuksille kalibrointijalustaan. Tietyillä korkeuksilla loisteputkista tuleva valo heijastuu mittakellon lasista estäen arvojen lukemisen kohtuullisen mukavalla päänasennolla.

Kalibrointilaitteisto

Sylvac M3 kit sisältää näyttöyksikön D80, kapasitiivisen anturin, tietokoneohjelman ja jalkapolkimen (kuvio 10). D80-näyttöyksikkö kattaa pitkän matkan antureiden P10-, P25- ja P50-alueet. Käytössä on P25-anturi (25 mm). Resoluutio on 0,1 μm . Laite toimii Abben periaatteen mukaisesti (liite 5). RS232-liittimen kautta näyttöyksikkö kommunikoi tietokoneen kanssa. Ohjelmisto on päivitetty nykyisinkin myynnissä olevaksi SY-COPRO II:ksi. Ohjelmiston revisioituminen ei ole tehnyt siitä merkittävästi joustavampaa käyttöä.

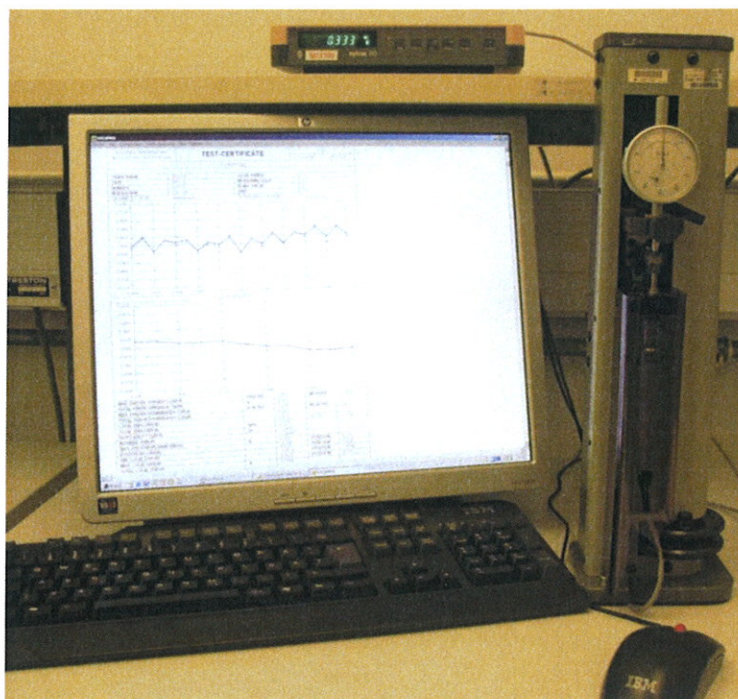
Näyttölaitteen virheeksi valmistaja lupaa enintään 2 μm , jota on mahdollista pienentää kalibroinnilla. Kalibrointi tehdään Heidenhain-mittalaitteella, joka on kalibroitu SIP-mittauskoneella. Koko alue tarkastetaan 1 mm:n välein. Sitä kohtaa jossa näyttäisi olevan suurin virhe, tarkastellaan 1 mm:n matkalla 0,1mm:n välein.

Hyväksymisrajat laitteistoa kalibroitaessa ovat

- Toistuvuus $\pm 0,3 \mu\text{m}$
- Kokonaisvirhe $\pm 2,0 \mu\text{m}$ (koko alue)
- Kokonaisvirhe 10 mm:n matkalla $\pm 1,5 \mu\text{m}$

Parempaa tarkkuutta (pienempi epävarmuus) haluttaessa hyödynnetään kalibrointituloksia valitsemalla asteikolta optimaalinen alue.

Sylvac P25-anturin hystereesi on kasvanut vuosi vuodelta, ilmeisesti ikääntymisestä johtuen. Muut laitteiston kalibroinnissa näkyvät ominaisuudet eivät ole heikentyneet yhtä selvästi. Ongelmana on myös anturin lyhyys, kalibrointikierrossa on myös yli 25 mm pitkiä kelloja jotka kalibroidaan nykyään Trimos-pituudenmittauslaitteella. Sylvac M3 -laitteistoon on saatavilla myös 50 mm:n anturi, mutta sitä ei ole hankittu, koska suurempi tarve on vielä pidemmälle. M3 jalusta on myös todettu hiukan huteraksi, erityisesti pidemmällä mittaamatkalla tästä saattaisi muodostua vielä enemmän ongelmia.



Kuvio 10: Nykyinen kalibrointilaitteisto

Mittausvoima tarkastetaan erillisellä voimamittarilla. Kellon kara työnnetään hitaalla liikkeellä kohtisuoraan voimamittarin kieltä vastaan. Lukemat otetaan ylös karaa liikuttaen molempiin suuntiin.

Mittakellon kalibrointivaatimukset

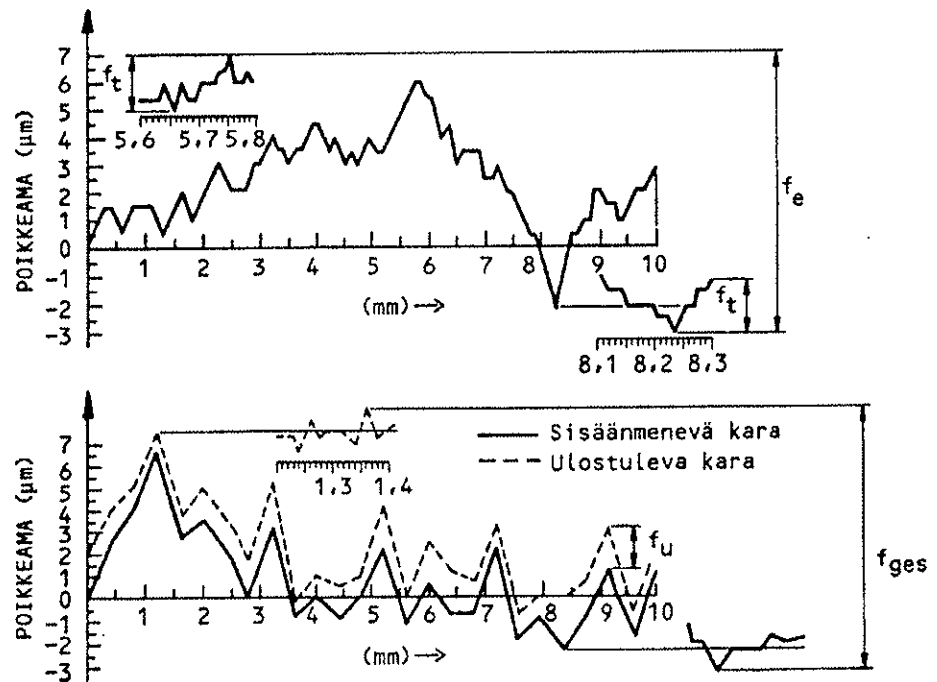
Mittakellon rakenne ja metrologiset vaatimukset on määritelty standardissa EN ISO 463:2006, joka on myös vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi. Kalibroinnin kannalta oleellimmat vaatimukset liittyvät metrologisiin ominaisuuksiin. EN ISO 463 ei kuitenkaan anna suoria numeerisia vaatimuksia näille ominaisuuksille, vaan kertoo, miten valmistajan on ne ilmoitettava.

Mittalaitetarkastuksen kalibrointiohjeistus pohjautuu saksalaiseen standardiin DIN 878:1983. Tämä standardi on revisioitunut vuonna 2006 vastaamaan standardin EN ISO 463 määritelmiä. Mittalaitetarkastuksessa ei ole tehty päätöstä ottaa uusittu standardi käyttöön. On katsottu, että vanha menetelmä vastaa tarpeita ja sisältää sellaisenaan kaikki uusitun standardin vaatimukset, virheiden esitystapa vain on erilainen. Etuna on kellojen ominaisuuksien pitkän aikavälin muutoksien seuraaminen, kun kalibrointitulokset on aina esitetty samassa muodossa.

Suurin osa kalibroinneista tehdään soveltaen VTT:n toimintaohjetta vuodelta 1997 (taulukko 1 ja kuvio 11). Tekniikassa on käytössä myös muutamia tuumajaolla olevia mittakelloja, joita verrataan amerikkalaisen ASME B89.1.10M-2001-standardin vaatimuksiin. Vipumittakellojen kalibroinnissa tarkkaillaan samoja virheitä kuin tavallisissakin kelloissa, seuraten VTT:n ohjetta soveltuvin osin. Mittaustuloksia verrataan valmistajan speksiin.

Mittausalue mm	f_g (μm)	f_t (μm)	f_{ges} (μm)	f_w (μm)	f_u (μm)
0,4	7	5	9	3	3
0,8	7		9		
3	10		12		
5	12		14		
10	15		17		

Taulukko 1: Mittakellon sallitut asteikkovirheet (standardi DIN 878:1983).(VTT Valmistustekniikka. Toimintaohje N:o 33 Versio 2. 28.8.1997)



Kuvio 11: Mittakellon virheikäyrä (standardi DIN 878:1983). (VTT Valmistustekniikka. Toimintaohje N:o 33 Versio 2. 28.8.1997)

Mittakellon virheikäyrällä (kuva 11 ja taulukko 1) näkyvät seuraavat virheet:

- **Asteikkovirhe f_t** , virheikäyrän korkeimman ja matalimman pisteen välinen erotus mitattuna 0,1 mm:n matkalla sisäänmenevällä karalla. (Total local error)
- **Asteikkovirhe f_e** , koko virheikäyrän korkeimman ja matalimman pisteen välinen erotus sisäänmenevällä karalla. (Total error upwards curve)
- **Asteikon kokonaisvirhe f_{ges}** , virheikäyrän korkeimman ja matalimman pisteen välinen erotus sekä sisäänmenevällä että ulostulevalla karalla. (Total bias error)
- **Käännemitta f_u** on samaan asteikonkohtaan eri suunnista tultaessa saatu- jen mittojen erotus. (Max. hysteresis)
- **Toistotarkkuus f_w** , mielivaltaisissa asteikonkohdissa eri tavoin toistettu- jen mittojen erotus. (Repetability error).

7. Markkinoilla olevat laitevaihtoehdot

Tietoja vaihtoehdoista on koottuna taulukkomuotoon liitteessä 6. Kaikki laitteet noudattavat Abben-periaatetta (liite 5). Useissa laitteistoissa on mukana QMSOFT-ohjelmiston mittakellomoduuli. Vaihtoehtona voi olla laitevalmistajan oma mittakellonkalibrointiohjelma.

QMSOFT-ohjelmisto on tarkastusohjelmisto mittavälineille ja tulkeille ISO9000 mukaiseen laadunvalvontaan. Sen luvataan olevan helposti laajennettavissa käyttäjän tarpeiden mukaan. Siihen sisältyy monipuoliset raportointi- ja tiedonkeru ominaisuudet, kalibrointitodistuksien tulostus, mittalaittekortisto, kalibrointien ajoitus ja historiatietojen arkistointi. Ohjelmistossa on mm. DIN-, ISO-, BS- ja ANSI-standardit vakiona.

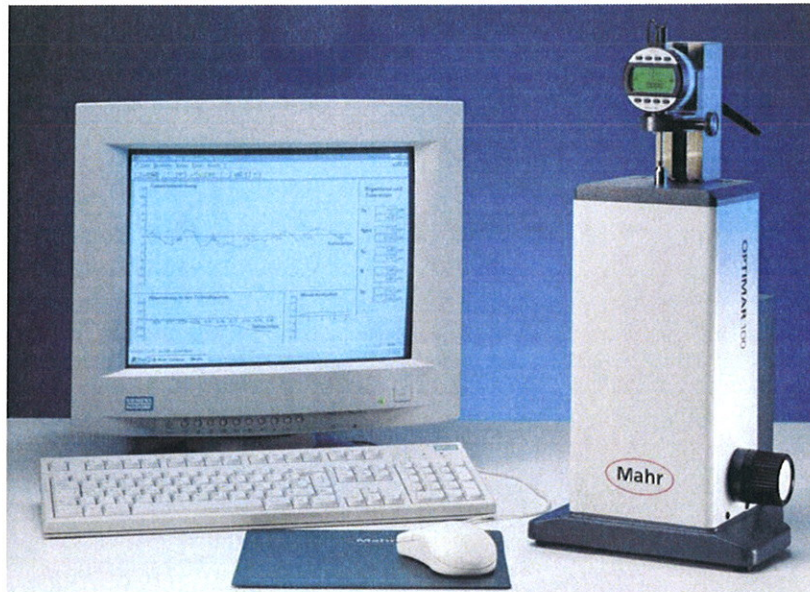
7.1. Manuaaliset tarkastuslaitteet

Näissä laitteissa kalibroija toimii moottorina. Useimpia voidaan käyttää myös vaaka-asennossa. Näitä on myytävänä kahdella eri valmistajalla. Mittakellojen tarkastusjalusta Sylvac M3 kit Sylvac:ilta ja UMP-2 HG, jonka valmistaja on Feinmess Suhl, Steinmeyer.

7.2. Moottoroidut täysi - puoliautomaattiset tarkastuslaitteet

Laitteet testaavat täysin automaattisesti digitaaliset mittakellot, joissa on laitteeseen sopiva liitäntä. Analogisten mittakellojen tarkastus tapahtuu puoliautomaattisesti. Moottori ajaa kellon viisarin lähelle seuraavaa testipistettä, ja käyttäjä viimeistelee asemoinnin. Koska viisarin asennon lukeminen on kalibroijan näkökyvyn varassa, on parallaksivirhe mahdollinen. Mittausalueet vaihtelevat 30 - 100 mm. Seuraavat laitteet kuuluvat tähän joukkoon

- I-Checker Full/Semi-Automatic inspection System, Mitutoyo (kuvio 13)
- MFP-100.01, Feinmess Suhl, Steinmeyer
- MFP-30.01
- Optimar 100, Mahr (kuvio 12).



Optimar 100
Universal Dial Indicator Testing Machine

Kuvio 12: Optimar 100 (Mahr. Precimar-esite. Mahr GmbH)

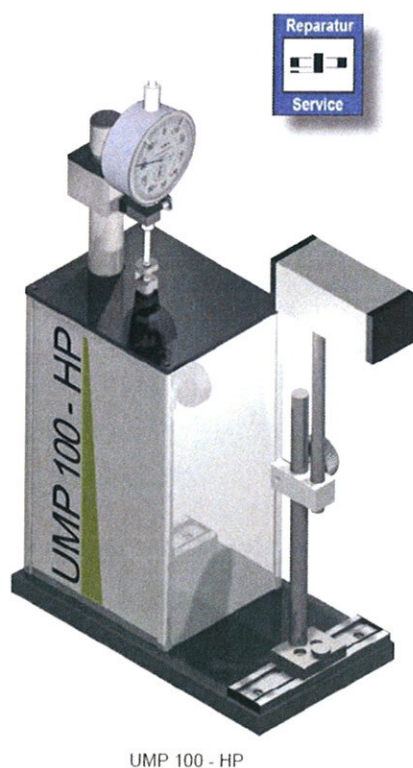


Kuvio 13: I-Checker Full/Semi-Automatic inspection System (Mitutoyo. New Product News. Bulletin No. 1563)

7.3. Moottoroidut täysautomaattiset tarkastuslaitteet

Laitteilla on mahdollista testata täysin automaattisesti sekä digitaaliset että analogiset mittakellot. Kameran käyttö poistaa tai ainakin vähentää parallaksivirheen mahdollisuutta. Mittausalueet vaihtelevat 30 – 100 mm välillä. Tähän joukkoon kuuluvat seuraavat laitteet

- MFP-30.01 BV Feinmess Suhl, Steinmeyer
- MFP-100.01 BV Feinmess Suhl, Steinmeyer (kuvio 15)
- UMP 50 HP, Günter Ballbach messzeuge
- UMP 100 HP, Günter Ballbach messzeuge (kuvio 14).



Kuvio 14: UMP 100 HP Günter Ballbach messzeuge (UMP 100 HP -esite. Günter Ballbach messzeuge).



Kuvio 15: MFP-100.01 BV (Feinmess Suhl, Steinmeyer. MFP-100.01 BV -esite)

8. Laitteiston päivitys uudella anturilla ja ohjelmalla

Finnairin laivaston uudistumisen myötä useita runsaasti aikaavieviä ja hankalasti kalibroituavia testi- ja mittalaitteita on poistunut kalibrointikierrosta, joten osastomme ohjelmointitaitajalla oli aikaa paneutua asian tutkimiseen.

Heidenhain MT25 anturi sopi hyvin Sylvac:in M3-jalustaan. Heidenhain näyttölaitteen ND 281 B:n RS 323-liitäntä on suoraan kytkettävissä tietokoneen vastaavaan porttiin. Alkuhankaluuksien jälkeen kommunikointi laitteiden välillä lähti toimimaan. Ohjelma tehtiin käyttäen Met/Cal-ohjelmointia. Ensimmäinen, 10 mm:n mittakellolle tehty kalibrointiohjelma on valmis ja toimiva.

Ohjelman käynnistämisen jälkeen kalibroija syöttää mittakellon tunnistetiedon. Seuraavaksi ohjelma pyytää mittaamaan mittaussuunnan erillisellä voimamittarilla ja syöttämään mittaustulokset tarjolla oleviin kenttiin. Tämän jälkeen ohjelma neuvoo kiinnittämään kellon tarkastusjalustaan ja nollaamaan sen. Työn etenee ohjelman antamien selkeiden ohjeiden mukaan, kunnes kaikki mittaussuunnat on saatu talteen. Lopuksi ohjelma laskee sekä standardin DIN 878:1983 että EN-ISO-463 mukaiset virheet. Mahdollisuus saada kalibrointitulokset esitettynä graafisesti on työn alla. Aikaa

tähän on mennyt noin 40 tuntia. Seuraavat, eri pituisille kelloille tehtävät ohjelmat tulevat syntymään huomattavasti nopeammin, karkea arvio on 1 tunti / kellotyyppi.

9. Kalibrointimahdollisuudet muualla

Mittakellojen kalibroinnin teettäminen alihankkijalla ei ole todellinen, varteenotettava vaihtoehto. Kelloja on useita satoja ja toimistorutiinit uloslähetyksessä ovat raskaat. Laitteita ei kuitenkaan voi yhdistää kovin suuriksi eriksi lähetystä varten, mikä kyllä vähentäisi lähettämön työtä. Kalibrointi on jaksotettu siten, että sisäisillä asiakkailla on aina tarpeellinen määrä mittavälineitä käytössä ja mittalaitetarkastuksessa kohtuullisen tasainen kuorma. Pakottavassa tilanteessa, esim. oman kalibrointilaitteiston rikkoontuessa, on kuitenkin mahdollista käyttää alihankkijaa. Luvuissa 9.1 ja 9.2 esiteltävät yritykset tarjoavat mittakellojen kalibrointipalvelua. Kalibroinnit eivät ole akkreditoituja.

9.1. MittaComp

Mittacompi:sta on mahdollista ostaa joko yksittäisen mittavälineen kalibrointi tai yrityksen koko mittavälinekannan hallinnointi ja kalibrointi. MittaComp myös tuo maahan kansainvälisesti tunnettuja ja arvostettujen mittavälinevalmistajien tuotteita.

9.2. Pirkanmaan kalibrointipalvelu

Mittakellontarkastuslaite on Mitutoyo i-Checker 1000, jolla pystytään kalibroimaan iskunpituudeltaan 100 mm:n kello tai vastaava mittalaite. Pituudenmittauskoneella voidaan kalibroida pidempi-iskuksiakin mittakelloja. Mittakelloista saadaan mitattua myös mittausvoima erillisellä voimamittarilla.

10. Johtopäätökset

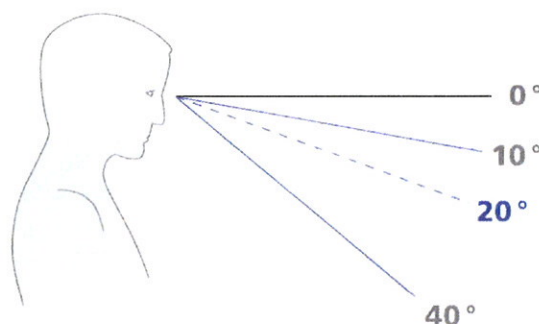
10.1. Työpisteen ergonomia

Riippumatta siitä, mikä laitteistovaihtoehdoista tullaan valitsemaan, on kalibrointipisteen ergonomian parantaminen tärkeää. Tavoitteena pitää olla luoda selkeä

työpiste ja hyödyntää käytettävissä olevaa työskentelyaluetta parhaalla mahdollisella tavalla. Työpisteen mukavuutta voidaan lisätä samalla, kun kalibroijien tehokkuus paranee. Käytettävyyden ja ergonomian huomioon ottaminen tuo etuja kaikille osapuolille. Oikein suunniteltu työpiste vähentää lihasten rasitusta ja jatkuvaa jännitystä sekä ohjaa työntekijöitä omaksumaan terveellisempiä työskentelyasentoja ja -tapoja.

Pöydän sijoittaminen eri kohtaan huonetta saattaisi vähentää yleisvalaistuksesta tulevia heijastuksia. Kohdevalaisin voisi helpottaa ikänäöstä kärsiviä työntekijöitä.

Valaisimeksi tulisi hankkia vähän lämpöä tuottava malli (LED tai energiansäästölamppu) Pöydän korkeuden erikokoisille kalibroijille tuottamaa haittaa voisi helpottaa säätöjaloilla varustetulla työpöydällä. Istuimet ovat jo säädettäviä.

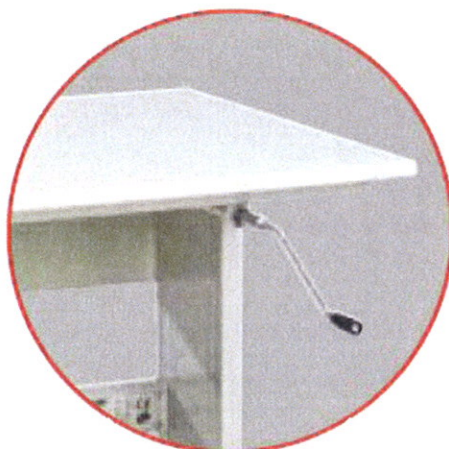


Katseen kohteen oikea sijainti

Katseen kohteen tulisi sijaita siten, että:

- Katseen jatkuva liike pysyy 30 asteen sektorilla
- Katseleminen suoraan eteenpäin tulisi tapahtua mukavasta asennosta (katseen tulisi olla 10-40 astetta vaakasuuntaisen viivan alapuolella)
- Näyttö tulisi sijoittaa 20 astetta vaakasuuntaisen viivan alapuolelle

Kuvio 16: Katseen kohteen oikea sijainti (www.sovella.fi)



Kuvio 17: Säätöjaloilla varustettu työpöytä (www.sovella.fi)

10.2. Kalibrointilaitteisto

Laitteistojen luvatussa tarkkuudessa on pieniä eroja. Erot saattavat tulla näkyviin pidemmällä aikavälillä, sillä rakenteesta johtuen anturit säilyttävät tarkkuutensa eritasoisesti. Heidenhainin lasiasteikkoiset anturit ovat osoittautuneet mittalaitetarkastuksen käytössä pitkään tarkkuutensa säilyttäviksi. Kapasitiivisista antureista ei ole niin hyviä kokemuksia.

Kaikkiin laitteistoihin on saatavilla, ainakin lisävarusteena, monipuolinen valikoima adaptereita yleisemmistä kiinnityksistä poikkeaville kellotyypeille ja antureille.

Laitteiden mukana hankittavia ohjelmia, niiden monipuolisuutta ja helppokäyttöisyyttä on vaikea arvioida ilman kokeilua.

Vertailut laitteistot jakaantuivat kolmeen selkeään ryhmään :

- manuaalisiin, joissa kalibroija pyörittää koneistoa ohjelman antamien mittapisteiden kohdalle ja hyväksyy mittauksen nappia tai jalkapoljinta painamalla
- moottoroituihin, joissa digitaalisten mittakellojen kalibrointi tapahtuu automaattisesti, mutta analogisia kelloja tarkastettaessa käyttäjän on osallistuttava tiiviimmin
- kameralla varustettuihin moottoroituihin, jotka hoitavat kalibroinnin täysin automaattisesti kaikilla kellotyypeillä.

Vastaukset kaikkiin tehtyihin hintatiedusteluihin eivät ehtineet tulla. Tiedossa olevista hinnoista voi kuitenkin päätellä, että täysautomaattinen, konenäöllä varustettu laitteisto saattaa olla liian kallis ratkaisu nykytarpeeseen. Sellainen olisi kuitenkin harkittavissa, jos mittalaitetarkastus aikoo panostaa ulkopuolisten asiakkaiden hankintaan. Se edellyttää mahdollisten asiakkaiden kartoittamista ja kyselytutkimuksen tekoa. Tämän mahdollisuuden tarkempi selvittäminen ei sisällynyt tämän tutkimuksen tehtävänantoon.

Edullisin vaihtoehto, Sylvac M3 Kit, on rakenteeltaan sama kuin nyt käytössä oleva. Mitään varsinaista parannusta vanhaan ei käynyt ilmi. Muiden manuaalisten vaihtoehtojen tiedoista jäi puuttumaan anturin tyyppi, mikä on varmasti yksi ratkaisevista tekijöistä hankintapäätöstä tehtäessä.

Puoliautomaattiset laitteistot ovat ominaisuuksiltaan käytännöllisesti katsoen tasavertaisia, ainakin paperilla.

Heidenhain-anturin kiinnittäminen nykyiseen jalkaan ja näyttölaitteen vaihtaminen Heidenhain ND 281 B:een on edullisimpien vaihtoehtojen joukossa. Suuri osa työstä on jo tehty (siis raha käytetty). Vaikka ohjelmakehitystä ei jatkettaisikaan, vaan päädyttäisiin valmiiseen laitteistoon, ei aika ole ollut hukkaanheitettyä. Se on lisännyt ohjelmoijan osaamista tällä alueella, niin ohjelmoinnin kuin pituuskalibrointien osalta. Vahvuus tässä vaihtoehdossa on oma osaaminen ja sen kautta lähituki ongelmatilanteissa. Se on samalla heikkous, koska ohjelmointiosaaminen on yhdenkahden henkilön varassa. Vanhan M3-jalustan käyttö ei poista pidempien kellojen kalibrointiongelmia ja huteruutta.

11. Jatkotoimenpiteet

Työn tarkoituksena oli kartoittaa laitteistovaihtoehdot, ei tehdä itse valintaa. Koska kaikkiin hintatiedusteluihin ei kohtuullisessa ajassa ole tullut vastausta, joudutaan kyselyt ehkä lähettämään uudestaan.

Mittalaitetarkastuksessa ei ole päätetty, onko ehdottoman tärkeää saada käyttöön nykyistä pidempi mittaussmatka. Muitakaan ominaisuuksia ei ole vielä mitenkään pisteytetty valinnan helpottamiseksi.

Heidenhain-anturi ja näyttölaitteivaihtoehdosta on selvityksen alla tulosten esittäminen graafisesti. Selvitetään myös, voiko näyttölaitteen yhteyteen hankkia pidemmän anturin.

Kun edellämäinnittuihin asioihin on saatu selvyys, yritetään saada lupaavimmat vaihtoehdot koekäyttöön. Tämä saattaa olla mahdollista ainakin niiden laitteistojen osalta, joilla on suomalainen maahantuoja. Kotimainen maahantuoja ei kuitenkaan ole tärkeimpien valintakriteerien joukossa.

Ennen laitteiston tilausta on tarkistettava, kuuluuko vakiotoimitussisältöön kaikki tarvitsemamme vai onko esim. erilaisia kiinnikkeitä tilattava erikseen ja jos päädytään vaihtoehtoon jota voidaan käyttää myös vaakatasossa, halutaanko ostaa adapteri myös kaksipistereikämittojen kalibrointia varten.

Lähteet

Painetut lähteet

Arvo Autio, Olavi Räsänen. Mittaustekniikka 1. Toinen painos. WSOY, 1986

Feinmess Suhl, Steinmeyer. MFP-100.01 BV-esite. Feinmess Suhl, Steinmeyer

Günter Ballbach messzeuge UMP 100 HP-esite. Günter Ballbach messzeuge.

Mahr. Precimar-esite. Mahr GmbH Göttingen.

Mikes. Metrologiasta lyhyesti, suomennettu painos, 4. painos. Multiprint. Tammikuu 2008.

Mitutoyo. New Product News. Bulletin No. 1563

Paul H. Andersson, Heikki Tikka. Konepajan tuotantotekniikka Mittaus- ja laatutekniikat. WSOY. Porvoo 1997.

Suomen Standardoimisliitto SFS. Standardi SFS-EN-ISO/IEC 17025, 2. painos. 2005.

Suureet ja yksiköt. SI-mittayksikköjärjestelmä. SFS-käsikirja 19, 3. uudistettupainos. Suomen Standardoimisliitto, 2001.

Sylvac SA. Tarkkuustuonti Oy. Käyttöohjeet. V1.0. 1992.

VTT Valmistustekniikka. Heikki Lehto. Kalibroitilaitteiden kalibrointi. 26.5.1998.

VTT Valmistustekniikka. Toimintaohje N:o 33 Versio 2. 28.8.1997

Sähköiset lähteet

Finnairin intranet.

www.finnair.fi

www.mikes.fi/documents/upload/pituus-interferometria.pdf

www.mit.tut.fi/MIT-1010/Mittaamisen_historia.

www.sovella.fi

www.tkk.fi/Yksikot/Laiva/Opinnot/Kurssit/Kul-24.3000/pdf/KVTP_Lentolaitteet.pdf

Liitteet

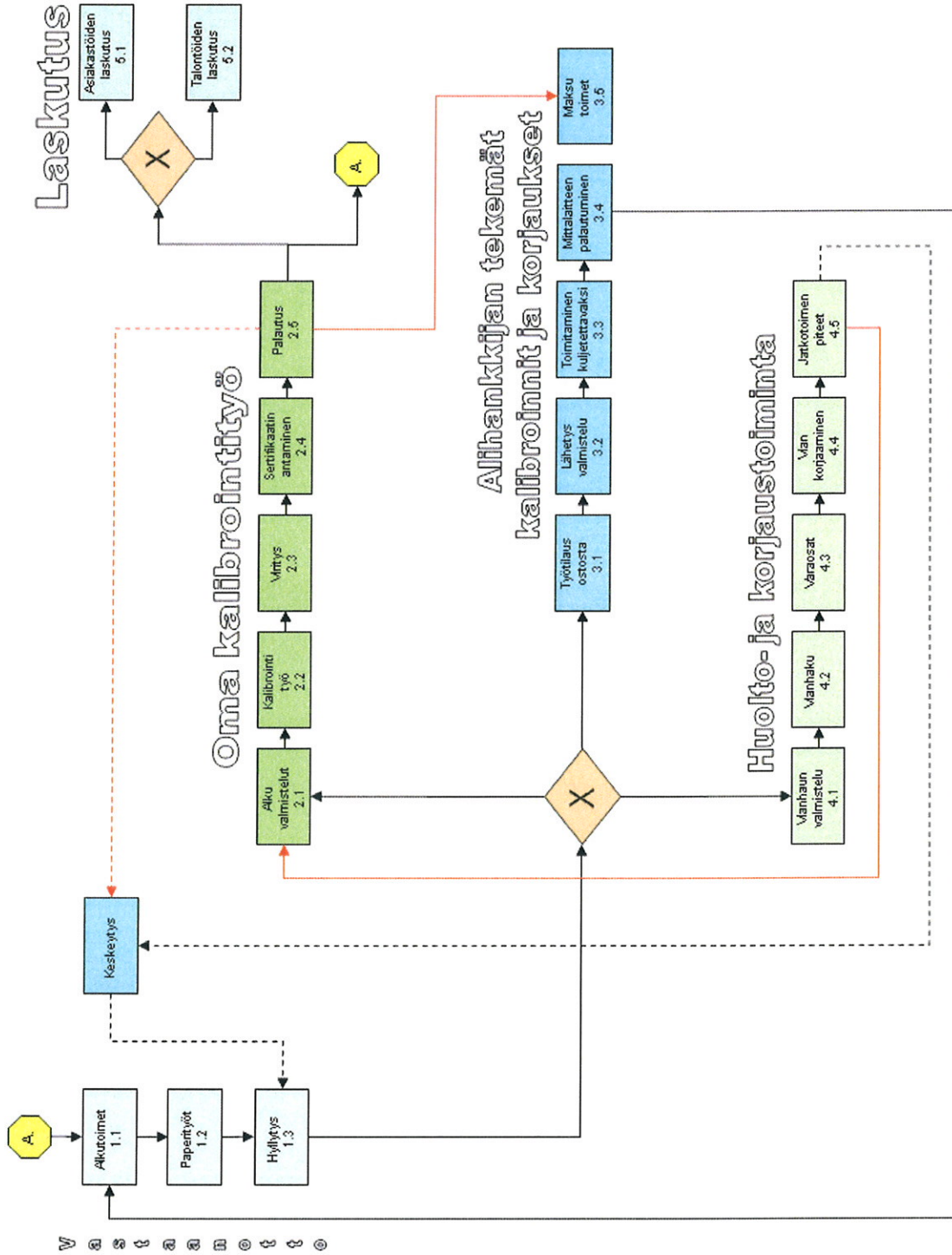
LIITE 1 Kalibroitavan laitteen kierto mittalaitetarkastuksessa (Finnairin intranet)

LIITE 2 Kalibroitavalmiuden luonti ja ylläpito (Finnairin intranet)

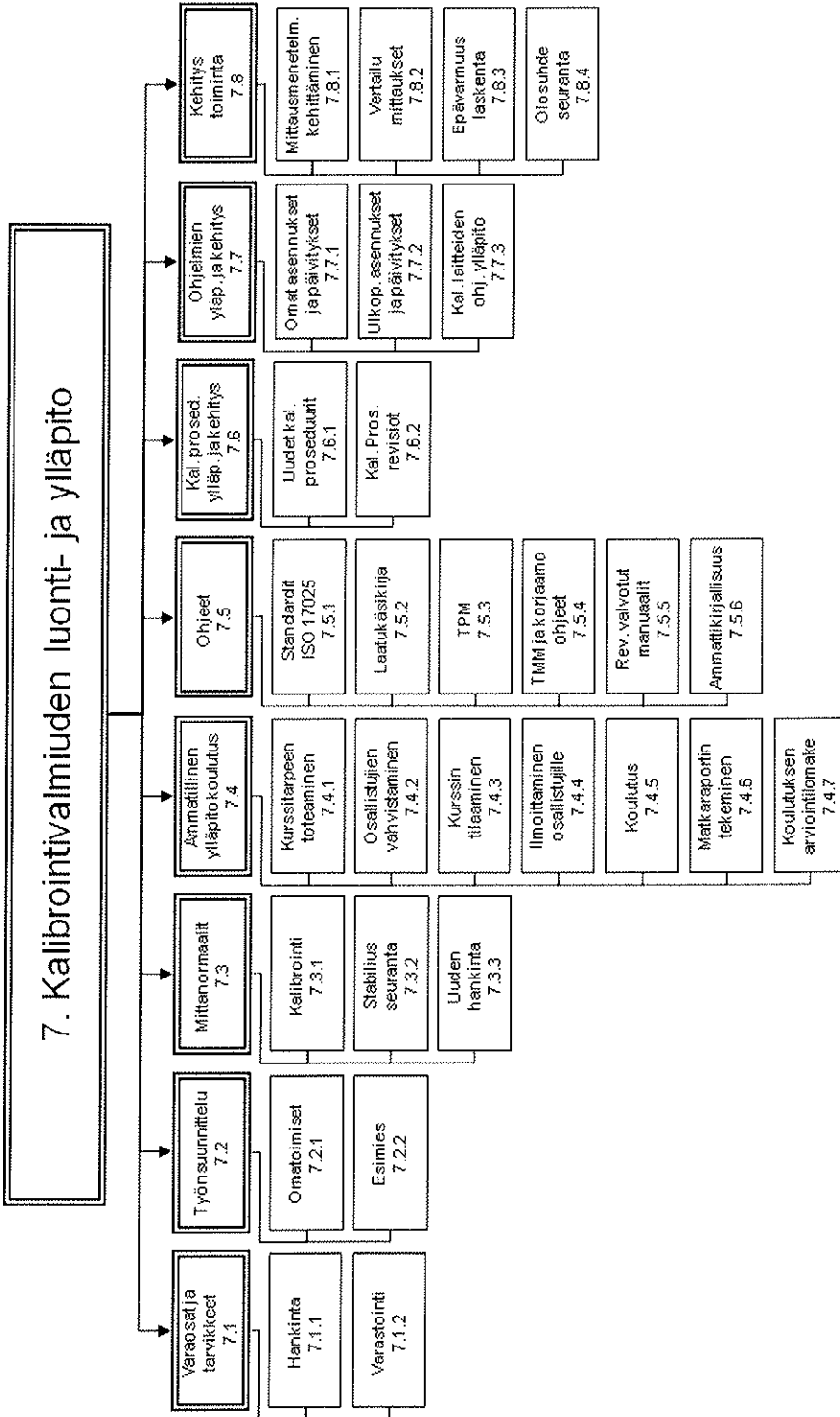
LIITE 3 Oma kalibroitamyö (Finnairin intranet)

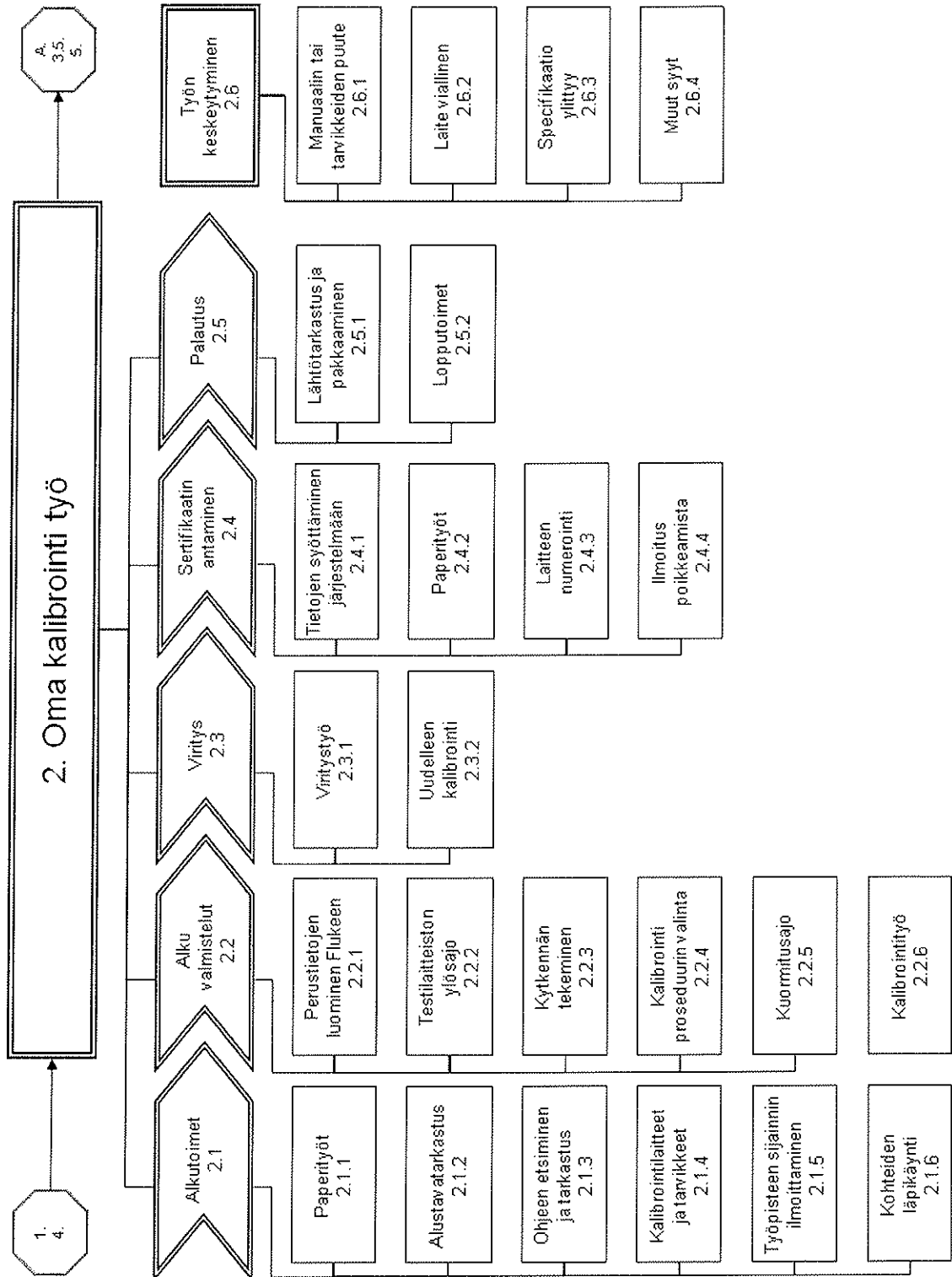
LIITE 4 Esimerkki jäljitettävyysskaaviosta, pituus (Finnairin intranet)

LIITE 5 Abben virhe ja Abben periaate (www.mikes.fi/documents/upload/pituus-interferometria.pdf)



V
a
s
t
a
a
n
e
t
t
e

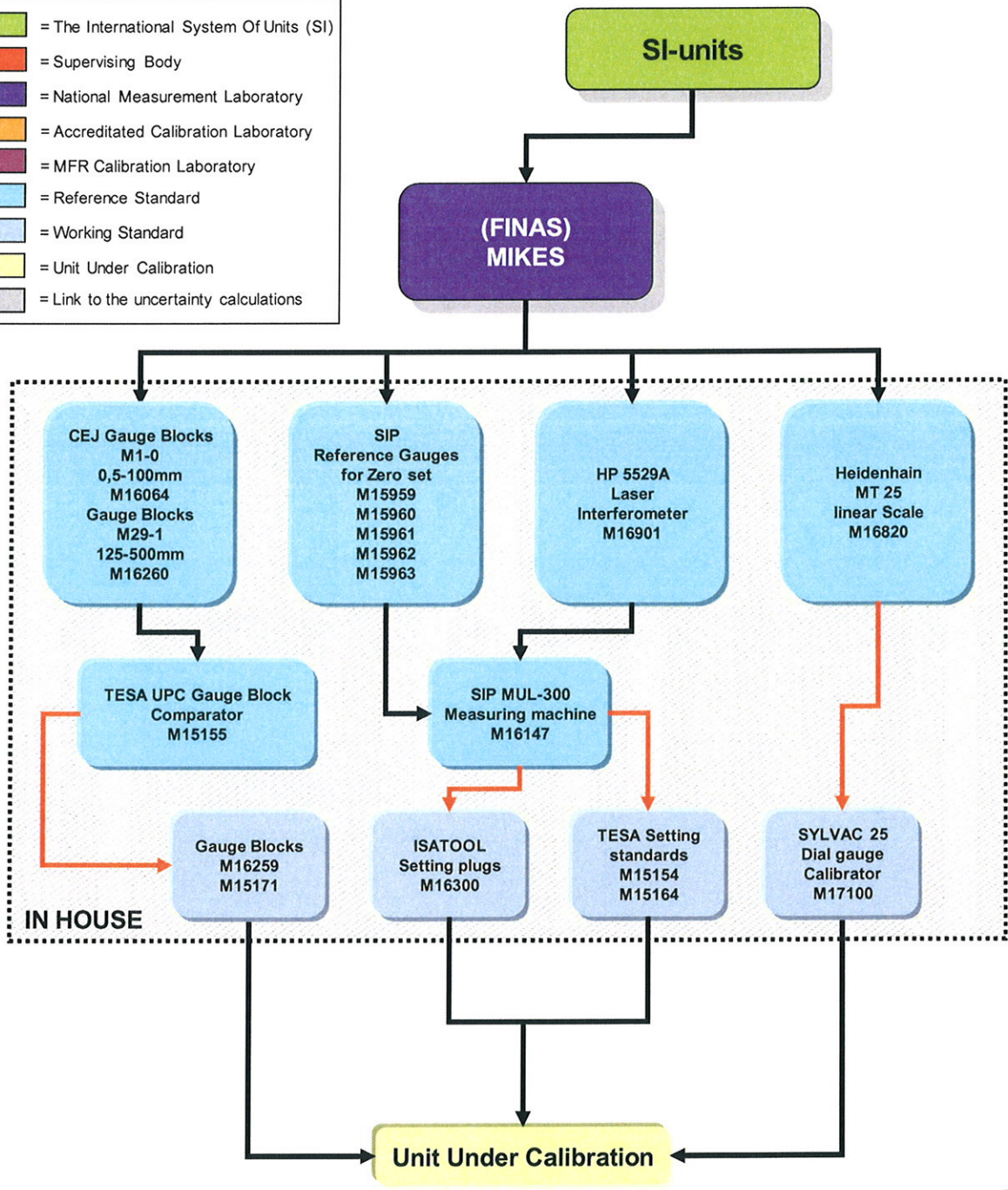




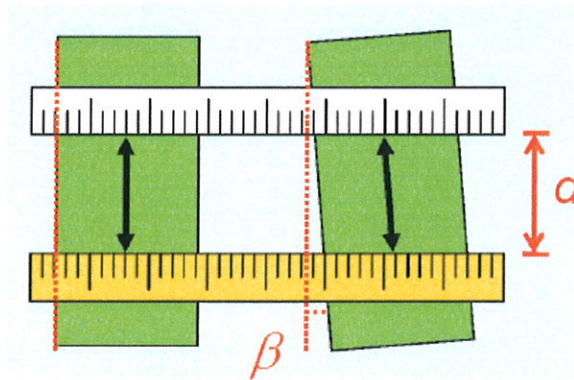
TRACEABILITY CHART

Length (accredited and non-accredited)

- = The International System Of Units (SI)
- = Supervising Body
- = National Measurement Laboratory
- = Accredited Calibration Laboratory
- = MFR Calibration Laboratory
- = Reference Standard
- = Working Standard
- = Unit Under Calibration
- = Link to the uncertainty calculations



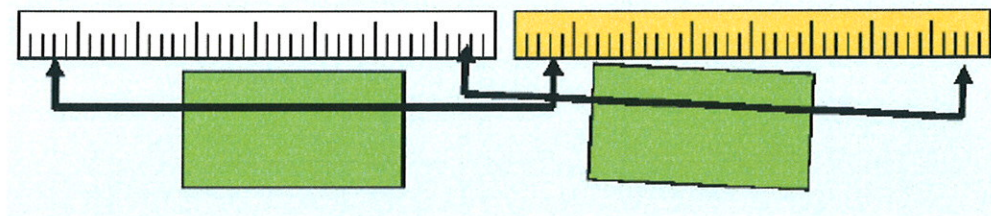
Abbe -virhe



- kulmapoikkeama β + mittausakselin ja mittavan akselin välinen etäisyys d
- Abbe-virhe
- offset/kulmapoikkeama sekä vaaka että pystysuunnassa

$$\varepsilon \cong d \sin \beta$$

Abben periaate



peräkkäiset asteikot

- sinivirhe → kosinivirheeksi
- virheen suuruus pienenee pari kertaluokkaa

