

TUOTANNON PITUUSMITTALAITTEEN KEHITTÄMINEN

Mika Salminen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2011

Paperikoneteknologian koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) SALMINEN, Mika	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 30.4.2012
	Sivumäärä 76	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi TUOTANNON PITUUSMITTALAITTEEN KEHITTÄMINEN		
Koulutusohjelma Paperikoneteknologian koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) MATILAINEN, Jorma, yliopettaja LUOSMA, Petri, lehtori		
Toimeksiantaja(t) Metso Paper Oy PITKÄNEN, Teemu, verstpäällikkö		
Tiivistelmä <p>Toimeksiantajana opinnäytetyöhön oli Metso Paper Oy Jyväskylässä ja sen perälaatikkovalmistuksen osasto. Opinnäytetyössä kartoitettiin erilaisia mittauslaitteita, joilla voidaan mitata konepajaolosuhteissa jopa 12 metrin pituinen listamainen tuote riittävän tarkasti. Mittauslaite toimisi yhdessä osastolle hankittavan työstökeskuksen kanssa. Näiden avulla osastolla vapautetaan kapasiteettia suurilta työstökoneilta ja tehostetaan tuotantoa.</p> <p>Tavoitteena opinnäytetyössä oli tutkia listamaisten tuotteiden nykyistä mittaus- ja katkaisumenetelmää sekä valita paras pituuden mittauslaite. Keskeinen tavoite opinnäytetyössä oli myös ideoida mittauslaitteelle sovelluksia käyttökohteeseen.</p> <p>Opinnäytetyössä havainnoitiin ensin nykyistä listamaisten tuotteiden mittaus- ja katkaisumenetelmää ja sen pohjalta laadittiin vaatimuslista uudelle mittauslaitteelle. Nykyistä menetelmää tutkivalta havaittiin kuinka moni asia vaikuttaa pituuden mittaamisen mittausepävarmuuteen. Suurin merkitys tähän oli mittausta suorittavilla henkilöillä ja heidän erilaisilla tavoillaan suorittaa katkaisu.</p> <p>Mittauslaitteevaihtoehtoja etsittiin mittauslaitteiden valmistajien, maahantuojien sekä jälleenmyyjien luetteloista, Internet-sivuilta. Valmistajiin, maahantuojiin ja jälleenmyyjiin oltiin myös suoraan yhteydessä. Vaihtoehtoisia mittauslaitteita löytyi useita, mutta käyttökohteeseen niistä oli sovellettavissa vain kaksi erityyppistä. Näiden kahden erityyppisen mittauslaitteiden valmistajien mallit pisteytettiin ominaisuuksien ja niiden painoarvojen mukaan.</p> <p>Pituusmittalaitteeksi valikoitui pisteytystaulukon pohjalta absoluuttinen lineaarimittanauha. Sen tarkkuus ja muut ominaisuudet täyttivät vaatimuslistan vaatimukset. Opinnäytetyössä esitettiin kolme erilaista vaihtoehtoa suorittaa listamaisen tuotteen pituuden mittaaminen ja katkaisu: pituuden mittaaminen mittauslaitteella, kun listamainen tuote on kiinnitetty työstökeskukseen, pituuden mittaaminen erillään työstökeskuksesta sekä pituuden mittaaminen karkean katkaisun yhteydessä. Opinnäytetyön pohjalta voidaan tulevaisuudessa toteuttaa käytännön sovellus pituusmittalaitteeksi.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Pituuden mittaus, mittauslaitteet, mittausepävarmuus		
Muut tiedot		



Author(s) SALMINEN, Mika	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 30.4.2012
	Pages 76	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title DEVELOPING THE LENGTH MEASURING DEVICE FOR MANUFACTURING		
Degree Programme Paper machine technology		
Tutor(s) MATILAINEN, Jorma, Principal Lecturer LUOSMA, Petri, Lecturer		
Assigned by Metso Paper Oy PITKÄNEN, Teemu, Workshop Manager		
Abstract <p>The customer of this thesis was Metso Paper Corporation in Jyväskylä Rautpohja. The thesis was made in the headbox manufacturing department.</p> <p>The aim of this bachelor's thesis was to find out different alternatives to a measuring device that can measure the length of an elongated product in the machine shop conditions. The elongated product could be up to 12 meters long and it should be measured with sufficient accuracy. The measuring device would work with acquired machining center. These allow the department released in capacity of large machine tools and enhanced production. The measurement applications were also innovated for the use of the subject.</p> <p>This thesis first examined the current method of measuring and cutting elongated products and it resulted in a list of requirements for a measuring device. When examining the present method it was found that there were many things affecting the measurement uncertainty. The most relevant issues for this were the persons who perform the measurement and their different ways to do it.</p> <p>Alternatives for the measuring device were searched for in the manufacturers, importers and dealers' catalogs, website and through direct contacts with them. Alternatives for various measuring devices were found several but applicable ones were only two different types. These two different types of measuring devices of different manufacturers' models were scored.</p> <p>As the length measuring device it was selected an absolute linear encoder on the basis of the scoring table. In the thesis three different theoretical options were presented to perform the elongated product length measurement and the cut-off; measuring the length with the measuring device when the elongated product is attached to the machining center or measuring the length separately from the machining center or in the rough cut-off stage of the elongated product.</p>		
Keywords Length measurement, measuring devices, uncertainty of measurement		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1	KÄSITTEET	4
2	OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT	6
2.1	Työn tavoite	6
2.2	Työn tausta ja rajaus	6
2.3	Metso Paper Oy	7
3	PITUUDEN MITTAAMINEN	8
3.1	Metrologia	8
3.2	Mittausten jäljitettävyys	8
3.3	Mittauslaitteiden kalibrointi	11
3.4	Mittausvirheet	13
3.4.1	Mittausvirheiden luokittelu	13
3.4.2	Satunnaiset, systemaattiset ja karkeat virheet	13
3.4.3	Mittauksen kohde	15
3.4.4	Mittauslaite	16
3.4.5	Mittaaja	20
3.4.6	Mittausolosuhteet	21
3.5	Mittausepävarmuus	27
4	NYKYINEN MITTAUS- JA KATKAISUMENETELMÄ	31
4.1	Tutkimusmenetelmät	31
4.2	Listamaisen tuotteen pituuden määrittäminen	32
4.3	Mittauksen kohde	32
4.4	Mittauslaite	33
4.5	Mittausolosuhteet	34
4.6	Mittaajat ja tarkastajat	37
4.7	Mittauslaitteen vaatimukset	39
5	MITTAUSLAITEVAIHTOEHDOT	40
5.1	Pituuden mittauslaitteet	40
5.2	Mekaaniset lineaarimittalaitteet	41

	2
5.3	Lasermittalaitteet 44
5.4	Lyhyen etäisyyden mittauslaitteet..... 45
6	MITTAUSLAITTEEN VALINTA 47
6.1	Valintamenetelmä 47
6.2	Mittauslaitetyyppien vertailu 48
6.3	Käyttökohteeseen soveltuvat mittauslaitetyypit..... 49
6.4	Mittauslaitteen valinta..... 50
7	MITTAUSLAITTEEN SOVELTAMINEN KÄYTTÖÖN 53
7.1	Sovellusvaihtoehdot 53
7.2	Mittauslaite yhdistettynä työstökeskukseen..... 54
7.3	Pituuden mittaaminen erillään työstökeskuksesta 57
7.4	Mittauslaite yhdistettynä katkaisusahaan 58
8	POHDINTA..... 59
	LÄHTEET 62
	LIITTEET 65
	Liite 1. Listamaisen tuotteen nykyisen mittaamisen mittausepävarmuudet 65
	Liite 2. Lämpötilan mittauspöytäkirja vk 8/2012 66
	Liite 3. Lämpötilan mittauspöytäkirja vk 10/2012 69
	Liite 4. Erityyppisten mittauslaitteiden ominaisuudet..... 73
	Liite 5. Magneettinauhojen ominaisuudet 74
	Liite 6. Lineaarimittanauhojen ominaisuudet..... 75
	Liite 7. Mittauslaitteiden pisteytystaulukko 76

KUVIOT

KUVIO 1. Mittauslaitteiden jäljitettävyyshetju	9
KUVIO 2. Mittauslaitteiden jäljitettävyyshetju organisaatioiden kannalta	11
KUVIO 3. Mittausvirheet	14
KUVIO 4. Palkin tuenta besselin pisteistä	16
KUVIO 5. Mikrometri noudattaa Abbén periaatetta, mutta työntömitta ei.	19
KUVIO 6. Peräkkäis- ja rinnakkaiskomparaattori	20
KUVIO 7. Mittausepävarmuuden vaikutus tarkastustilanteissa	28
KUVIO 8. Mittausepävarmuus ja valmistuksen käytettävissä oleva toleranssialue	29
KUVIO 9. Listamaisen tuotteen kiinnitys asetusalojen päälle	33
KUVIO 10. Työstökoneen mittalukeman nollaaminen paranellin avulla	38
KUVIO 11. Magneettinauhan ja anturin rakenne	42
KUVIO 12. Vaijerianturi	43
KUVIO 13. Laserinterferometrin toimintaperiaate	45
KUVIO 14. Lineaarinen pituudenmittausjärjestelmä	46
KUVIO 15. Rakennetyöntömitta	47
KUVIO 16. Lineaarimittanauha 1	52
KUVIO 17. Listamaisen tuotteen pituuden mittaaminen yhdistettynä työstökeskukseen	55
KUVIO 18. Listamaisen tuotteen pituuden mittaaminen erillään työstökeskuksesta	57
KUVIO 19. Listamaisen tuotteen pituuden mittaaminen yhdistettynä katkaisusahaan.....	59

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Olosuhteet eri mittaustiloissa	22
TAULUKKO 2. Eri materiaalien lämpöpiteneiskertoimet	23
TAULUKKO 3. Teräslieriön jäähtymisajat	25
TAULUKKO 4. Pituuden mittauslaitteiden mittausalueet ja -epävarmuudet	31
TAULUKKO 5. Mittauslaitteen vaatimuslista	40

1 KÄSITTEET

Akkreditointi	Menettely, jolla toimivaltainen elin muodollisesti toteaa, että jokin elin on pätevä suorittamaan tiettyjä tehtäviä (Esala, Lehto & Tikka 2003, 10).
Jäljitettävyys	Mittaustuloksen tai mittanormaalin yhteys ilmoitettuihin referensseihin, yleensä kansallisiin tai kansainvälisiin mittanormaaleihin, sellaisen aukottoman vertailuketjun välityksellä, jossa on ilmoitettu kaikkien vertailujen epävarmuudet (Esala ym. 2003, 8).
Kalibrointi	Toimenpiteet, joiden avulla spesifioiduissa olosuhteissa saadaan mittauslaitteen tai mittausjärjestelmän näyttämien tai kiintomitan tai vertailuaineen edustamien suureen arvojen ja vastaavien mittanormaaleilla toteutettujen arvojen välinen yhteys (Esala ym. 2003, 10).
Kansainvälinen mittanormaali	Kansainvälisen sopimuksen perusteella tunnustettu mittanormaali, joka toimii kansainvälisenä perustana määrittäessä kyseessä olevan suureen muiden mittanormaalien arvoja (Esala ym. 2003, 8).
Kansallinen mittanormaali	Kansallisen päätöksen perusteella tunnustettu mittanormaali, joka toimii kansallisena perustana määrittäessä kyseessä olevan suureen muiden mittanormaalien arvoja (Esala ym. 2003, 8).

Käyttönormaali	Mittanormaali, jota käytetään kiintomittojen, mittauslaitteiden tai vertailuaineiden kalibrointiin tai tarkastukseen (Esala ym. 2003, 8).
Mittanormaali	Mittanormaalilla määritellään, realisoidaan tai säilytetään suureen mittayksikkö, jotta tämä voitaisiin siirtää mittalaitteisiin vertausmittausmenetelmällä (Esala ym. 2003, 7).
Mittauslaitteen tarkkuus	Mittauslaitteen kyky antaa vasteita, jotka ovat lähellä tosiarvoa (Esala ym. 2003, 9).
Mittauksen toistettavuus	Samana mittausuuteen peräkkäisten mittaustulosten yhtäpitävyys, kun mittaukset suoritetaan samoissa olosuhteissa (SFS 3700, 1998, 7).
Mittauksen uusittavuus	Samana mittausuuteen tulosten yhtäpitävyys, kun mittaukset suoritetaan muuttuneissa olosuhteissa (SFS 3700, 1998, 7).
Mittausepävarmuus	Mittausepävarmuus kuvaa yleisluontoisesti mittaustulosten vaihtelua, joka on määritelty virherajojen avulla (Esala ym. 2003, 8).
Referenssinormaali	Mittanormaali, jolla on tietyssä paikassa tai organisaatiossa paras saatavissa oleva metrologinen laatu ja johon siellä tehtävät mittaukset perustuvat (Esala ym. 2003, 8).
Sertifiointi	Menettely, jolla kolmas osapuoli antaa kirjallisen vakuutuksen siitä, että tuote, menetelmä tai palvelu on määriteltyjen vaatimusten mukainen (Esala ym. 2003, 10).

2 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT

2.1 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoite oli suunnitella erillinen mittauslaite listamaisten tuotteiden pituudenmittaukseen niiden katkaisua varten. Katkaisussa käytettäisiin numeerisesti ohjattua työstökeskusta ja mittauslaite sovellettaisiin toimimaan joko yhdessä työstökeskuksen kanssa tai erillisenä mittavälineenä. Työstökeskuksen akseleiden isku- ja mittauspituus on enintään puoli metriä ja katkaistavien listamaisten tuotteiden pituus on 3 – 12 metriä. Hankittava työstökeskus on valittu muiden ominaisuuksiensa takia sellaiseksi, että se pysyy paikoillaan lattialla omilla jaloillaan eikä liiku johteiden päällä. Mittauslaitteen tarkkuuden tuli olla alle 1 mm 12 metrin matkalla, mutta tarkkuus määriteltiin nykyisen katkaisumenetelmän sekä tuotteen toleranssien perusteella. Työn tarkoituksena oli tutkia erilaisia mittauslaitevaihtoehtoja ja valita niistä paras mahdollinen mittauslaite, joka onärkevin kustannuksin toteutettavissa.

2.2 Työn tausta ja rajaus

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Metso Paper Oy ja sen perälaatikkovalmistuksen osasto, jossa opinnäytetyön aihe oli ollut ongelmana jo pitkään. Aihetta oli tutkittu aiemminkin ja siitä oli tehty teknikkotyö vuonna 2000, mutta koska mittaustekniikka kehittyy koko ajan, oli opinnäytetyön tarkoitus kartoittaa nykyiset mittauslaitteet ja niiden mittaustarkkuudet. Opinnäytetyön avulla vapautetaan kapasiteettia toisilta työstökoneilta siirtämällä listamaisten tuotteiden valmistusvaiheita uudelle työstökeskukselle.

Aihe rajattiin siten, että työssä tuli tutkia nykyistä mittaus- ja katkaisumenetelmää sekä sen mittausepävarmuuksia, mittauslaitteeksi sopivia vaihtoehtoja ja valita niistä paras sekä parhaan mittauslaitevaihtoehdon layout-sovellusta. Työstökeskuksen ominaisuuksien suunnittelu sekä mittauslaitteen tarkempi soveltaminen työstökes-

kukseen sopivaksi ja listamaisten tuotteiden kääntäminen, kiinnittäminen ja muut katkaisuun liittyvät asiat rajattiin pois opinnäytetyöstä.

2.3 Metso Paper Oy

Metso Oyj on teknologioiden ja palveluiden kansainvälinen toimittaja kaivos-, maanrakennus-, voimantuotanto-, öljy- ja kaasualan sekä massa- ja paperiteollisuudelle. Metso toimii yli 50 maassa noin 30 000 työntekijän voimin. Metso Oyj jakaantuu kolmeen eri liiketoimintasegmenttiin: kaivos- ja maanrakennukseen, automaatioon sekä massa, paperi ja voimantuotantoon. (Metson yleisesitys 2012.)

Metson Jyväskylän paperikonetehtas Rautpohjassa kuuluu massa, paperi ja voimantuotannon segmenttiin ja on Metson suurin toimipaikka. Rautpohjassa valmistettavia tuotteita ovat uudet paperi- ja kartonkikonelinjat, koneuudistukset, prosessiparannukset, erikoistelat ja niiden komponentit sekä automaatio-, hydraulikka- ja voitelujärjestelmät. Myös tela-, varaosa- ja kunnossapitopalvelut kuuluvat Rautpohjan palveluihin. Henkilöstöä Rautpohjassa on yhteensä n. 1550, joista 950 on toimihenkilöitä ja 600 työntekijöitä. Paperikonetehtaan työntekijöitä on n. 400. (Rautpohjan yleisesittely 2010.)

Perälaatikkovalmistus osaston tuotteisiin kuuluvat paperi-, kartonki- ja osin sellukonelinjojen perälaatikot sekä viira- ja puristinosien runkojen ja vesielementtien koneistus. Varaosapalveluun kuuluvat mm. turbulenssigeneraattoreiden ja muiden perälaatikon osien valmistus ja kunnostus. (Rautpohjan yleisesittely 2010.)

Metso-konsernin massa, paperi ja voimantuotannon segmentin liikevaihto vuonna 2011 oli 2 703 milj. euroa. Liikevoittoa se tuotti 189,2 milj. euroa. Koko Metso-konsernin liikevaihto oli 6 646 milj. euroa. (Metso vuosikertomus 2011 2012, 36–37, 40–41.)

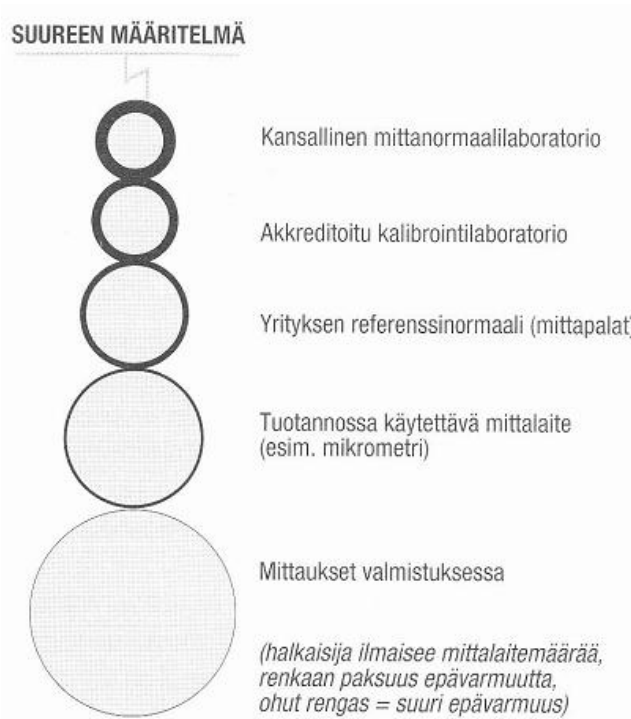
3 PITUUDEN MITTAAMINEN

3.1 Metrologia

Metrologia on mittauksia käsittelevä tieteenala. Teollisuus tarvitsee luotettavia mittauksia, jotta voidaan tuottaa teknisesti korkeatasoisia sekä laadukkaita tuotteita ja palveluja. Mittaaminen on oleellinen osa kaikkea tuotantotoimintaa. Konepajateollisuudessa mittauksen tavoitteena on varmistaa, että mittauksen kohde täyttää sille asetetut vaatimukset ja mittatarkkuuden sekä tuottaa luotettavaa tietoa tuotannon tehostamiseksi ja tuotteiden kehittämiseksi. Jotta mittaukset ovat luotettavia, on mittauslaitteiden kalibrointi välttämätöntä. (Andersson & Tikka 1997, 157, 177; Esala, Lehto & Tikka 2003, 6–7.)

3.2 Mittausten jäljitettävyys

Teollisuustuotteiden on oltava vaihtokelpoisia ja kansainvälisesti vertailukelpoisia, joten mittausten on oltava jäljitettäviä. Kansainvälinen ISO 9000 -laatujärjestelmä vaatii mittaustulosten jäljitettävyyttä. Jäljitettävyys takaa mittausten oikeellisuuden ja edellyttää mittauslaitteiden sekä mittausjärjestelmien mittausepävarmuuden tuntemista. Jäljitettävyysketju koostuu kalibroitavasta mittauslaitteesta aina kansallisten mittanormaalien kautta kansainvälisiin mittanormaaleihin ja suureen, tässä tapauksessa metrin, määritelmään asti. Kuviossa 1 on esitetty mittauslaitteiden jäljitettävyysketju. Kullekin mittauslaitteelle on voitava osoittaa, mistä jäljitettävyys tulee. Jäljen tulee olla yksisuuntainen ja katkeamaton. Jäljitettävyysketjun jokaisessa siirrossa mittausepävarmuus kasvaa, joten ketju kannattaa pitää mahdollisimman lyhyenä. (Andersson & Tikka 1997, 157; Esala ym. 2003, 6, 22, 41, 54.)



KUVIO 1. Mittauslaitteiden jäljitettävyysetketju (Esala ym. 2003, 41)

Yritysten mittausten jäljitettävyyden ja kansainvälisen kaupan taustalla vaikuttaa useita mittaamiseen liittyviä kansainvälisiä organisaatioita ja sopimuksia. Mittausten kannalta tärkein kansainvälinen sopimus on MRA (Mutual Recognition Arrangement) eli kansainvälisen painojen ja mittojen komitean järjestelmä mittaus- ja kalibrointitodistusten vastavuoroiseksi hyväksymiseksi. Sopimus on tehty 15.10.1999. (Esala ym. 2003, 12.)

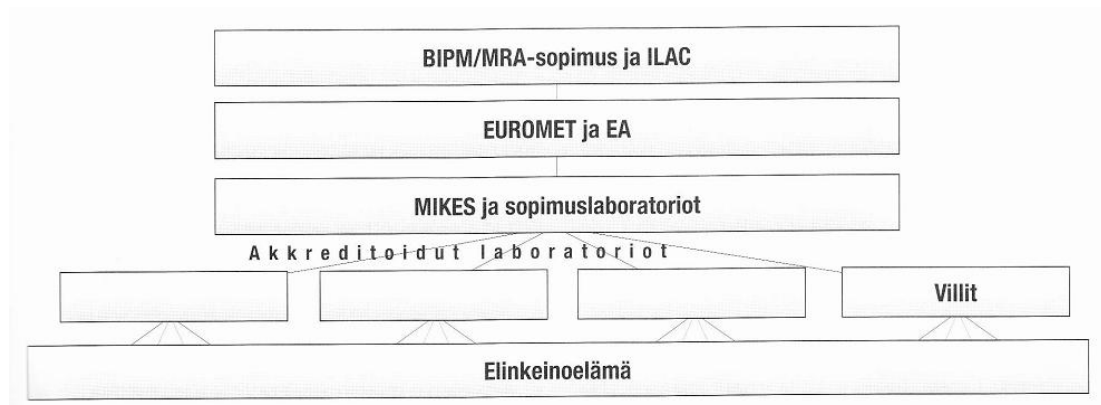
Kansainvälinen painojen ja mittojen organisaatio on nimeltään BIPM (Bureau International des Poids et Mesures), jonka vastuulla on kaikkien SI-suureiden jäljitettävyys. BIMP tarjoaa jäsenmailleen, joita on yhteensä 41, kalibrointipalveluja mm. massalle ja stabiloiduille lasereille. Suomen kansallinen mittanormaali suureessa pituus on laserinterferometri ja esimerkiksi sitä verrataan säännöllisesti Pariisissa BIPM:llä. Suomalainen osapuoli BIPM:ssä on Mittatekniikan keskus eli MIKES. Metrologian keskeinen vaikuttaja Euroopassa on myös EUROMET, jonka tavoite on varmistaa, että euroopassa on olemassa teollisuuden ja elinkeinoelämän tarvitsema metrologinen infrastruktuuri. Koko maailmaa koskeva yhteistyö muiden alueellisten yhteenliittymi-

en kanssa, kuten APMP Aasiassa tai SIM Amerikassa, on osa tätä rakennetta. (Esala ym. 2003, 12, 13, 55.)

Kansainvälinen akkreditointielimien yhteenliittymä on nimeltään ILAC (The International Laboratory Accreditation Cooperation). ILAC:n Eurooppalaisia osapuolia ovat mm. EA (European Cooperation for accreditation), EUROLAB (European Federation of National Associations of Measurement, Testing & Analytical Laboratories) sekä EU (European Union). Suomalaisen kansallisen tason yhteydet ILAC:iin hoituvat näiden kolmen eurooppalaisen osapuolen kautta; EA:ssa Suomea edustaa MIKES, EURO-LAB:ssa VTT ja EU:ssa Suomen hallitus. (Esala ym. 2003, 13.)

Suomen kansallisella tasolla keskeinen toimija mittaustoiminnassa on Mittatekniikan keskus MIKES. MIKESin metrologiayksikkö ylläpitää kaikkien tärkeimpien suureiden jäljitettävyyttä joko itse tai yhteistyölaboratorioiden kanssa. MIKES kuitenkin vastaa siitä, että jokaiselle suurelle on saatavissa jäljitettävyys. (Esala ym. 2003, 13–14; Metrologia 2011; Yleistä MIKESistä.)

MIKESin akkreditointiyksikkö FINAS akkreditoi kalibrointilaboratorioita, testaus- ja tarkastuslaboratorioita sekä sertifiointielimiä. Akkreditointi tarkoittaa menettelyä, jolla toimivaltainen laboratorio muodollisesti toteaa, että jokin toinen laboratorio on pätevä suorittamaan kalibrointeja. Akkreditointi perustuu kansainvälisiin kriteereihin. Virallisen mittauspaikkaorganisaation ohella on useita ”villejä” kalibrointilaboratorioita, jotka suorittavat niin yritysten sisäisiä kuin ulkopuolisiakin kalibrointeja. Näiden laboratorioiden toimintaa ei kukaan ulkopuolinen taho valvo, mutta yleensä näiden kalibrointilaboratorioiden kalibroinnit ovat jäljitettävissä kansalliseen mittanormaali-laboratorioon. (Esala ym. 2003, 10, 13–14, 55; FINAS -Suomen kansallinen akkreditointielin.) Kuviossa 2 on esitetty organisaatioiden kannalta mittauslaitteiden jäljitettävyyshetket.



KUVIO 2. Mittauslaitteiden jäljitettävyyshetju organisaatioiden kannalta (Esala ym. 2003, 13)

Metso Paper Oy:llä Jyväskylässä on oma laatuosasto, joka suorittaa mittaus- ja kalibrointitoimintoja. Metsolla Rautpohjassa sijaitsee myös oma kalibrointilaboratorio, joka on akkreditoitu. Metson Rautpohjan tehtaalla referenssinormaali on laserinterferometri, jonka mittaradan pituus on 5 m. Laserinterferometri käytetään MIKESillä kalibroitavana 3–5 vuoden välein, joten jäljitettävyyshetju toteutuu kansalliseen mittanormaaliin ja sitä kautta kansainvälisiin mittanormaaleihin. (Arvonen 2012.)

3.3 Mittauslaitteiden kalibrointi

Mittauslaitteiden kalibrointi on niihin liittyvää testausta, jonka tarkoituksena on selvittää mittauslaitteella saavutettava mittausepävarmuus. Kalibrointeja suoritetaan mittauslaitteille säännöllisin välein, mutta mittauslaitteille on hyvä suorittaa silmämääräinen tarkastus joka käyttökerralla. Kalibroinnista mittauslaite saa kalibrointitodistuksen, jossa ilmenee kalibrointiin liittyvät oleelliset asiat, kuten paikka, aika, kalibrointitulokset, mittausepävarmuudet, käytetyt menetelmät ja laitteet sekä niiden jäljitettävyys. Jos mittauslaite ei enää täytä sille asetettua hyväksymisrajaa kalibroinnissa, poistetaan laite mittauskäytöstä. (Andersson & Tikka 1997, 169; Esala ym. 2003, 10, 23, 54–55.)

Kalibrointeja saa suorittaa akkreditoitu kalibrointilaboratorio. Näiden laboratorioiden tulee ylläpitää määrittelemäänsä tarkkuustasoa MIKESin ja kansainvälisten mittauspaikkojen valvonnassa. Akkreditoituilla mittauslaboratorioilla on näillä edellytyksillä oikeus antaa virallisia kalibrointitodistuksia omalla pätevyysalueellaan. (Esala ym. 2003, 55.)

Mittauslaitteet luokitellaan jäljitettävyysetjun mukaisesti referenssinormaaleihin, kalibrointilaitteisiin ja mittauslaitteisiin. Luokittelu kertoo jokaisen laitteen paikan yrityksen jäljitettävyysetjussa. Erilaisia mittauslaitteita varten täytyy olla olemassa oma käyttäjäkuntansa, joilla on riittävä pätevyys suorittaa kukin mittaus työnkuvaansa liittyen. (Esala ym. 2003, 10, 23, 42, 54.)

Mittauslaitteita ovat jäljitettävyysetjun alimmat laitteet, joiden näyttämän oikeellisuutta voidaan tarkastella kalibrointilaitteilla. Yrityksen kalibrointilaitteiden jäljitettävyys nojautuu yrityksen referenssi- eli vertailunormaaliin. Se on kyseisen yrityksen paras saatavissa oleva metrologinen laatu, johon siellä tehtävät mittaukset perustuvat. Referenssinormaalilla on siis oltava pienin kalibrointiepävarmuus. Tyypillisesti tämä yrityksen jäljitettävyysetjun ylin taso saa oman jälkensä yrityksen kalibrointilaboratorion ulkopuolelta. Referenssinormaalien ulkopuolinen kalibrointi on tehtävä säännöllisesti vähintään neljän vuoden välein akkreditoitussa tai kansallisessa mittauspaikassa. Referenssinormaaleja voi yrityksessä olla myös saman suureen osalta useita. (Esala ym. 2003, 8, 22, 42, 54.)

Referenssinormaalien ollessa laserinterferometri, koordinaattimittauskone tai muu vastaava mittausjärjestelmä, on sen kalibroinnin pidettävä sisällään koko laitteiston ja ohjelmiston kalibrointi. Suurikokoisten ja ympäristöön sidottujen mittauslaitteiden ja -koneiden kalibrointi on suoritettava paikallaan. Kuljetukset ja olosuhteiden muutokset saattaisivat vääristää kalibroinnin oikeellisuutta. Tällaisia mittauslaitteita ja -koneita ovat esimerkiksi korkeus- ja vaakamittauskoneet, muodonmittauskoneet sekä prosessilaitteet. (Esala ym. 2003, 8, 22, 54.)

Mittauslaitteiden kalibrointijaksojen pituudet ovat kunkin yrityksen päätettävissä. Mittauslaitteesta ja niiden käyttötavasta riippuen niitä voidaan kalibroida säännöllisesti.

sin välein, tarvittaessa tai ei ollenkaan. Kalibrointijakson pituus on yritykselle taloudellinen kysymys, sillä kalibrointeja ei kannata suorittaa liian usein, mutta niiden suorittamatta jättäminenkin voi tulla kalliiksi. Pitkä kalibrointijakso kasvattaa virheellisten tuotteiden takia valmistuskustannuksia ja turhan tiheä kalibrointi tulee kalliiksi. Yleisimpien mittausvälineiden kalibrointijakso vaihtelee 4 kk:n ja 4 vuoden välillä. Esimerkiksi työntömitan tyyppillinen kalibrointijakso on 6–48 kk ja mittauskoneiden 12–24 kk. Säännöllisesti kalibroidut mittauslaitteet merkitään konepajoissa yleensä värikoodilla. Mittauslaitteisiin liimattava värikooditarra kertoo mihin asti kalibrointi on voimassa; väri kertoo vuoden ja tarrassa lisäksi oleva numero kertoo kuukauden. (Esala ym. 2003, 54.)

3.4 Mittausvirheet

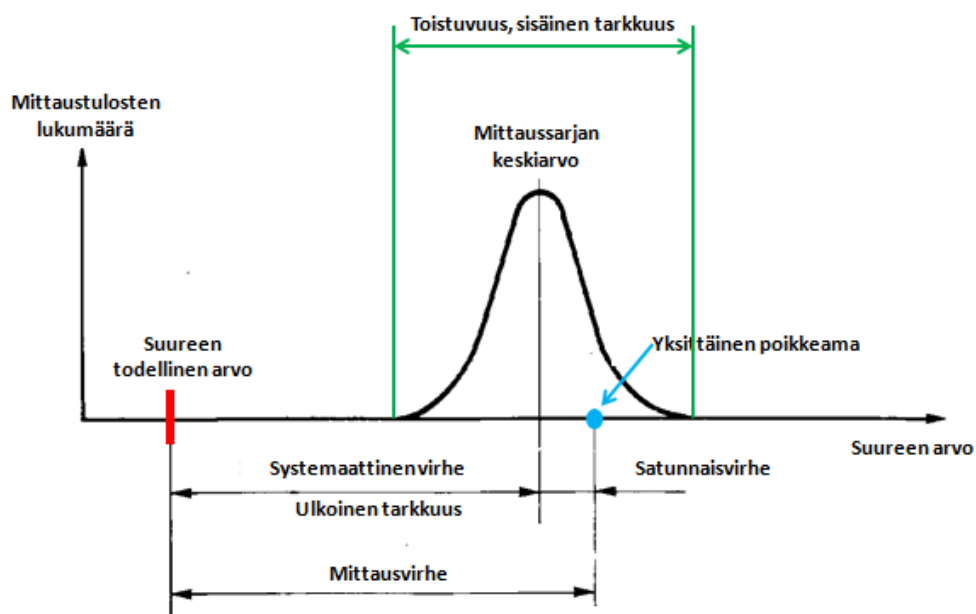
3.4.1 Mittausvirheiden luokittelu

Mittausta ei voida koskaan tehdä täysin virheettömästi, sillä mitaamiseen liittyy aina virhetekijöitä. Toiminnallisia virhetekijöitä ovat esimerkiksi mittauksen kohde, mittauslaite, mittaustapa, mittausolosuhteet, mittaaja sekä muutokset, joita tapahtuu mittauksen aikana kaikissa näissä virhetekijöissä. Mittausvirhe kuvaa mittaustuloksen poikkeamaa mittaussuureen todellisesta arvosta. Mittaustuloksissa vaikuttavat virheet luokitellaan systemaattisiin, satunnaisiin sekä karkeisiin virheisiin. Tämä luokittelu auttaa hallitsemaan virheitä matemaattisesti sekä mittausepävarmuuksien määrittämistä varten. Jotta mittauksesta saatu tulos olisi luotettavampi kuin pelkkä arvio, on sitä ilmoitettaessa yhdistettävä siihen mittausepävarmuus. (Andersson & Tikka 1997, 127, 138; Esala ym. 2003, 8)

3.4.2 Satunnaiset, systemaattiset ja karkeat virheet

Mittaustuloksessa vaikuttavat satunnaiset ja systemaattiset virheet on esitetty kuviossa 3. Koneistettujen kappaleiden mittauksien mittaussarjojen tulokset ovat yleensä normaalisti jakautuneita. Virhetyypin mukaan mittauksille voidaan määritellä sisäinen ja ulkoinen tarkkuus. Sisäinen tarkkuus kuvaa toistuvuutta, joka riippuu mittaus-

ten hajonta-alueesta eli siitä, kuinka lähelle samoja arvoja mitattavan suureen toistettavat mittaukset tulevat. Sisäinen tarkkuus sisältää satunnaiset virheet. Ulkoinen tarkkuus kuvaa sitä, kuinka hyvin hajonta-alue on keskittynyt todellisen arvon ympärille. Ulkoinen tarkkuus sisältää systemaattiset virheet. Karkeat virheet ovat yksittäisiä poikkeamia mittaussarjassa ja niiden suuruusluokka on moninkertainen edellisiin verrattuna. (Andersson & Tikka 1997, 127–129; Konepajan mittaustekniikka 1987, 187.)



KUVIO 3. Mittausvirheet (Yhdistetty lähteistä Andersson & Tikka 1997, 127; Konepajan mittaustekniikka 1987, 187)

Satunnaiset virheet ovat yksittäisiä mittaustuloksia, jotka poikkeavat mittaussarjan normaalijakaantuneelle tulokselle saadusta keskiarvosta. Satunnaisten virheiden suunta voi olla kummalla puolella tahansa keskiarvoa, eli ne ovat \pm -arvoja. Satunnaiset virheet ovat nimensä mukaan satunnaisia, eikä niiden virhelähteitä voida mittausteknisesti hallita, eli niiden suuruutta ja suuntaa ei pystytä laskemaan. Toistamalla mittaus useaan kertaan ja laskemalla mittaussarjan tuloksista keskiarvo voidaan pienentää satunnaisvirheiden vaikutusta ja samalla saada selville niiden suuruutta. (Andersson & Tikka 1997, 129; Konepajan mittaustekniikka 1987, 187.)

Systemaattiset virheet kuvaavat säännönmukaista mittaussarjan keskiarvon poikkeamaa mitatun suureen todellisesta arvosta. Systemaattisen virheen aiheuttamasta epävarmuuden suuruudesta ei voida saada tietoa mittauksia lisäämällä, vaan suorittamalla mittaus jollakin muulla menetelmällä tai mittaamalla ja arvioimalla vaikutussuureita. Tavallisimpia systemaattisia virheitä pituuden mittaamisessa ovat lämpötilan, mittauslaitteen kalibroinnin ja mittausvoiman vaikutus. (Andersson & Tikka 1997, 128–129; Konepajan mittaustekniikka 1987, 191–192.)

Systemaattisia virheitä on tunnettuja sekä tuntemattomia. Tunnettujen systemaattisten virheiden vaikutus voidaan poistaa korjauksilla, kuten mittauslaitteen asteikon korjaustaulukon avulla. Mitä perusteellisemmin mittaukseen vaikuttavat tekijät tunnetaan ja hallitaan, sitä suurempi osa mittausvirheistä voidaan tarkastella systemaattisina virheinä. Tuntemattomat systemaattiset virheet käsitellään satunnaisina virheinä. Tuntemattomia systemaattisia virheitä voi esiintyä tilanteissa, joissa mittauksen suorittaminen paremmalla menetelmällä ei ole mahdollista. Tällöin jokin mittauksen epävarmuuteen vaikuttava osuus jää aina tuntemattomaksi. Näiden virheiden suunta ja suuruus voidaan ainoastaan arvioida. (Andersson & Tikka 1997, 128–129; Konepajan mittaustekniikka 1987, 191–192.)

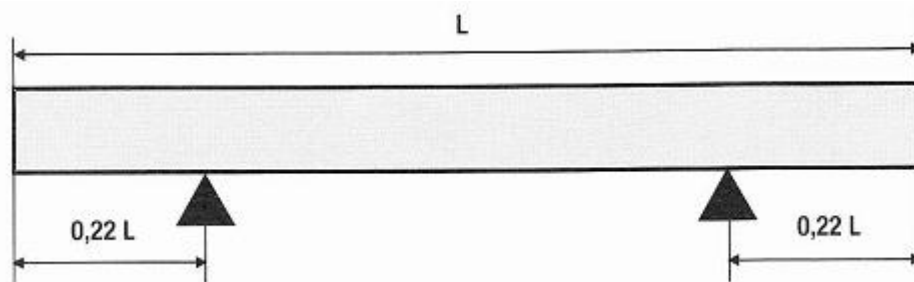
Karkeat virheet pitävät sisällään erilaisista erehdyksistä ja huolimattomuudesta johtuvia virheitä. Näitä ovat esimerkiksi mittausarvon lukeminen virheellisesti, väärän mittausmenetelmän käyttö tai virhelähteiden huomiotta jättäminen. Suurin karkeiden virheiden aiheuttaja on mittaajan ajatusvirheet mittauksen suorituksen tai tulosten pohdinnan aikana. (Andersson & Tikka 1997, 130.)

3.4.3 Mittauksen kohde

Mittauksen kohteen pinnanlaatu, karheus, puutteellinen puhdistus sekä lämpötilanmuutos aiheuttavat mittavaihtelua kappaleessa. Lämpötilan vaikutus aiheuttaa pituuden- sekä muodonmuutoksia kappaleissa ja pöly sekä lika mitattavilla pinnoilla muuttavat suoraan mittaustulosta. Mitattavan kohteen konstruktio, muoto ja tukevuus vaikuttavat myös mittaustulokseen. Mittauksen kohteessa syntyy kimmoisia eli palautuvia muodonmuutoksia kiinnitysvoiman, kappaleen oman painon sekä mitta-

usvoiman vaikutuksesta. Kappale on kiinnitettävä paikoilleen riittävän tukevasti mittauksen suorituksen ajaksi. Yleensä riittävä tukevuus tarkoittaa sitä, että kappale ei taivu oman painonsa vaikutuksesta ja että kappale on kiinnitetty siten, ettei se liiku mittaussuunnan vaikutuksesta. Yleensä mitattavan kappaleen kimmainen muodonmuutos on merkityksetön, jos kyseessä ei ole rakenneaine, jolla on alhainen kimmo kerroin. (Andersson & Tikka 1997, 139; Konepajan mittaustekniikka 1987, 182, 210, 217–218.)

Palkin omasta painostaan johtuvat suoruuspoikkeamat ovat pienimmillään, kun palkki tuetaan ns. Besselin pisteistä eli tukipisteen etäisyys palkin päästä on $0,22 \cdot L$, kun L on palkin pituus. (Esala ym. 2003, 58.) Kuviossa 4 palkki on tuettu Besselin pisteistä.



KUVIO 4. Palkin tuenta Besselin pisteistä (Esala ym. 2003, 58)

3.4.4 Mittauslaite

Mittauslaite saattaa aiheuttaa virhettä mittaustuloksiin. Mittauslaitteen kunto, puhtaus, mittaussuunta, lämpötila, lukematarkkuus ja voimassa oleva kalibrointi vaikuttavat saatuihin tuloksiin. Mittauslaitteen konstruktio vaikuttaa myös virheisiin. Mittauslaitteen tarkkuuden kannalta säännöllinen kalibrointi on tärkeää, sillä sen avulla varmistetaan suuren jäljitettävyyden kansainvälisiin mittanormaaleihin. Kalibrointiväli mittauslaitteilla vaihtelee puolesta vuodesta kahteen vuoteen riippuen mittauslaitteen stabilisuudesta ja huoltotarpeesta. Kalibrointi tarkoittaa kuitenkin sitä, että mittauslaite on täyttänyt sille asetetut vaatimukset määrättynä kalibrointipäivänä, mutta mittaja on vaikea tietää, onko mittauslaite joutunut epänormaalien rasitusten

alaiseksi tai pudonnut lattialle. Tämän takia mittausvälineiden kuntoa täytyy tarkkailla ja havaituista vahingoittumisista ilmoittaa ja korjata ne. (Andersson & Tikka 1997, 139, 140; Konepajan mittaustekniikka 1987, 182, 213.)

Lämpötila vaikuttaa myös mittauslaitteen antamaan tulokseen, varsinkin jos mittauksen kohde ja mittauslaite ovat erilämpöisiä. Tätä virhettä voidaan pienentää riittävän pitkällä lämpötilan tasaantumisajoilla, pitämällä esimerkiksi mittauslaitetta mitattavan kappaleen päällä, tai korjata sitä laskennallisesti, jos samalla mitataan lämpötiloja tarkasti. Mittauslaite saattaa tulla magneettiseksi, jos mitataan esimerkiksi teräksisten tasohiottujen kappaleiden paksuutta. Magneettisuus voi aiheuttaa virhettä siten, että mittauspinnoille tarttuu pieniä rautahiukkasia tai mittauslaitteen liikkuvat osat tarrautuvat toisiinsa aiheuttaen jäykkyyttä. (Andersson & Tikka 1997, 139, 140; Konepajan mittaustekniikka 1987, 182, 213.)

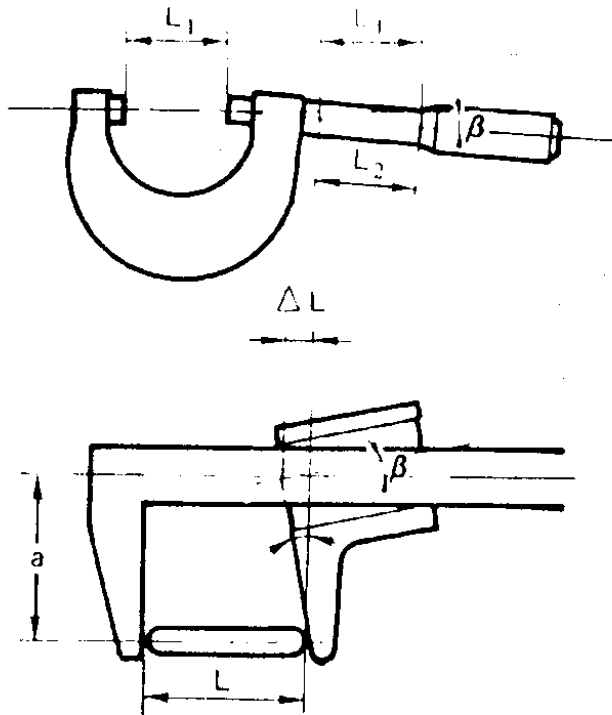
Mittaamalla kosketuksen avulla sekä mitattava kappale että mittauslaite joutuvat jonkin mittausvoiman vaikutuksen alaiseksi. Liian suuri mittausvoima saattaa aiheuttaa taipumia mittauslaitteeseen tai mitattavaan kappaleeseen, sekä mittauslaitteen ja mitattavan kappaleen kosketuspinoissa voi syntyä muodonmuutoksia. Syntyvien muodonmuutoksien suuruuteen vaikuttavat lisäksi kosketuskohdan geometria ja materiaalien kovuus. Esimerkiksi kahden pallomaisen pinnan kosketuksessa mittausvoiman aiheuttama pintapaine ja näin ollen muodonmuutokset ovat suurempia, kuin kahden tasomaisen pinnan kosketuksessa. Myös mittauslaitteen kärjen kuluneisuus tai virheellinen kosketuspiste aiheuttaa geometrisia virheitä mittaustuloksiin. Mittausvoiman aiheuttamia muutoksia ei pystytä ennakoimaan kalibroinnin avulla. (Andersson & Tikka 1997, 140; Konepajan mittaustekniikka 1987, 213–217.)

Mittauslaitteissa saattaa esiintyä konstruktiivisia virheitä, kuten lineaalisuusvirhe, käännevirhe ja nopeudesta riippuva epätarkkuus. Konstruktiiviset virheet ovat yleensä systemaattisia ja luonteeltaan samanlaisia kaikilla mittauslaitteilla, joilla on sama konstruktiivinen ratkaisu. Lineaarivirhe tarkoittaa eroa, joka on mittauslaitteen näyttämän ja suureen tarkan arvon välillä. Digitaalisilla mittauslaitteilla lineaarisuusvirheet ovat merkittävimpiä. (Konepajan mittaustekniikka 1987, 192–196.)

Käännevirhe syntyy, jos mittauslaitteen näyttö on riippuvainen liikkeen suunnasta. Samalle suureen arvolle saadaan erilainen näyttö riippuen siitä, lähestytäänkö suureen arvoa suuremmasta tai pienemmästä arvosta päin. Hammaspyörävälityksellisissä mittauslaitteissa esiintyy useimmiten käännevirhettä. (Konepajan mittaustekniikka 1987, 192–196.)

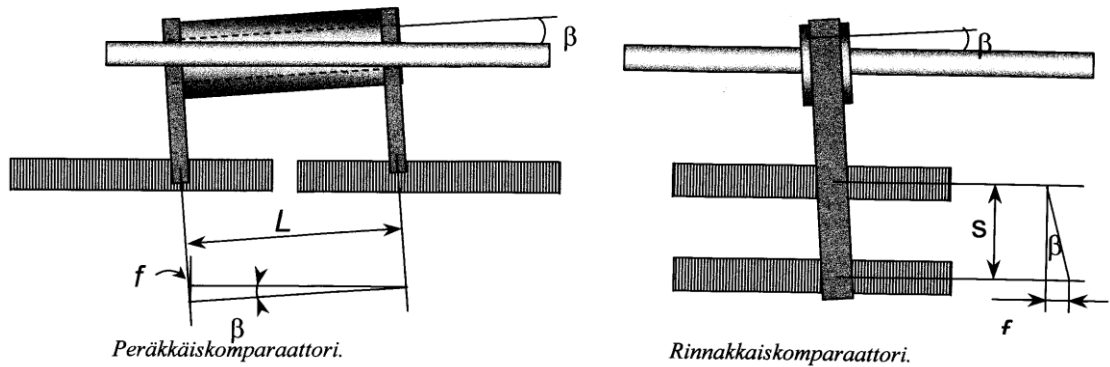
Nopeudesta riippuva epätarkkuus johtuu mittauslaitteiden välyksistä, hitaudesta, voimakkaasta vaimennuksesta tai suurista liikkuvista massoista. Tämä tarkoittaa sitä, että nopean mittaustuloksen muutoksen tapahtuessa mittauslaitteen näyttämä ehtii muuttua uuteen arvoon vasta vasteajan kuluttua. Paikallaan olevia kappaleita mitattaessa ei vasteajan pituudella ole suurta merkitystä, mutta mitattavien kappaleiden ollessa liikkeessä on nopeudesta riippuva virhe otettava huomioon. (Konepajan mittaustekniikka 1987, 192–196.)

Mittauslaitteen suunnittelussa systemaattisten virheiden poistamiseksi on hyvä noudattaa Ernst Abbén esittämää komparaattoriperiaatetta, eli Abbén periaatetta. Sen mukaan mittauksen kohde ja mittauslaitteen vertailuasteikko on sijoitettava samalle keskiviivalle peräkkäin, kuten kuviossa 5 on esitetty. Esimerkiksi mikrometri noudattaa Abbén periaatetta, mutta työntömitta ei. Abbén periaatteen noudattaminen vähentää mittauslaitteen johteiden suoruuden vaikutuksia mitättömiksi. Työntömitan rakenteen johdosta sen johteen virheet, luistin välykset ja mittausvoiman vaihtelut aiheuttamat johteen taipumat aiheuttavat ensimmäisen kertaluvun virheitä mittaustulokseen. (Andersson & Tikka 1997, 140–143; Konepajan mittaustekniikka 1987, 194.)



KUVIO 5. Mikrometri noudattaa Abbén periaatetta, mutta työntömitta ei. (Andersson & Tikka 1997, 143)

Abbén periaatteeseen liittyvät mittaustekniikan käsitteet ensimmäisen ja toisen kertaluvun virheet. Ensimmäisen kertaluvun virheet ovat vaikutuksiltaan suurempia kuin toisen kertaluvun virheet. Kun kyseessä on rinnakkaiskomparaattori eli mittaustilaite, jossa mittauksen kohde ja mitta-asteikko ovat rinnakkain, kiertymäkulmasta johtuva virheen suuruus on suoraan verrannollinen kiertymäkulmaan. Jos sekä mittauksen kohde että mitta-asteikko ovat peräkkäin, on tämän peräkkäiskomparaattorin virhe verrannollinen kiertokulman toiseen potenssiin.. Ensimmäisen ja toisen kertaluvun virheiden erotus voi olla merkittävä. (Andersson & Tikka 1997, 140–143; Konepajan mittaustekniikka 1987, 194.) Kuviossa 6 havainnollistetaan komparaattoriperiaatteet



KUVIO 6. Peräkkäis- ja rinnakkaiskomparaattori (Yhdistetty lähteestä Andersson & Tikka 1997, 140–141)

3.4.5 Mittaaja

Mittauksen suorittaja eli mittaaja vaikuttaa omilla ajatuksillaan ja mittauslaitteen valinnoilla paljon mittaustuloksen tarkkuuteen ja luotettavuuteen. Mittaaja valitsee mittauslaitteet jokaiseen mittaukseen oman kokemuksen, ammattitaidon ja saatavilla olevien mittauslaite mahdollisuuksien mukaan. Aina voi kuitenkin sattua inhimillisiä karkeita virheitä. (Andersson & Tikka 1997, 143–144; Konepajan mittaustekniikka 1987, 183.)

Mittaajan ammattitaito sisältää kokemuksen ja koulutuksen antamat tiedot ja taidot mittaamisesta. Mittausohjeilla voidaan vähentää mittausrvirheitä, sillä usein tietojen puutteet koituvat mittausten puutteellisuudeksi. Myös kielitaito vaikuttaa mittaajan kykyyn omaksua erilaisten mittauslaitteiden ohjekirjoja tai ohjelmistoja. Mittaajalla on kuitenkin pysyviä ominaisuuksia eli luonteenpiirteitä, joita ei voi välttämättä koulutuksellakaan muuttaa. Esimerkiksi älykkyys, huolellisuus tai stressin kestävyys vaihtelevat eri henkilöillä. Muuttuvia ominaisuuksia mittaajalla ovat esimerkiksi vireystila, motivaatio tai fyysinen kunto. Nämä ominaisuudet voivat vaihdella jopa saman päivän aikana. Oleellinen merkitys mittauksiin on myös näkö- ja erotuskyvyllä, joihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi valaistuksella. (Andersson & Tikka 1997, 143–144.)

Mittaajasta johtuva yleinen mittausvirhetyyppi on mittauslaitteen näyttämän lukemisvirhe. Karkeita lukemisvirheitä ovat esimerkiksi miinus- ja plus-suunnan sekoittaminen keskenään tai asteikon askelarvon väärinkäsittäminen. Pienempiä lukemisvirheitä ovat pyöristysvirheet tai arviointivirheet. Lukemisvirheet johtuvat mittaajan vireystilasta, huolimattomuudesta, välinpitämättömyydestä tai väärin suunnitellusta mittauslaitteen asteikosta. Digitaalisissa mittaus- tai näyttölaitteissa vaarana on numeroiden sekoittuminen keskenään. (Konepajan mittaustekniikka 1987, 198–199.)

Analogisissa mittauslaitteissa parallaksivirhe liittyy mittaajan katseen ja mittauslaitteen osoittimen väliseen asentoon. Jos mittauslaitteen asteikon osoitin ja tausta eivät ole samassa tasossa, riippuu osoittimen osoittama arvo siitä, mistä suunnasta asteikkoa katsotaan. Parallaksivirheen mahdollisuutta voi vähentää valitsemalla mittauslaitteita hankittaessa sellaisia rakenneratkaisuja, joissa osoitin ja asteikko ovat mahdollisimman lähellä toisiaan. (Konepajan mittaustekniikka 1987, 199.)

3.4.6 Mittausolosuhteet

Mittausympäristö ja sen olosuhteet vaikuttavat mittaajaan, mittauslaitteeseen ja mittauksen kohteeseen. Suurimman vaikutuksen olosuhteissa aiheuttaa lämpötila ja sen vaihtelu. Lisäksi merkittäviä tekijöitä ovat mm. valaistus, värähtelyt, kosteus, puhtaus ja ilman laatu, melu sekä sähkö- ja magneettiset häiriöt. Olosuhteiden stabiiludella on merkitystä, sillä olojen ollessa vakaat, pystytään virhetekijöitä mahdollisesti poistamaan laskennallisesti. (Andersson & Tikka 1997, 144–145; Esala ym. 2003, 16; Konepajan mittaustekniikka 1987, 183.) Taulukossa 1 on esitetty ympäristöolosuhteiden ohjearvoja eritasoisille mittaustiloille.

TAULUKKO 1. Olosuhteet eri mittaustiloissa (Esala ym. 2003, 16)

Ominaisuus	Korkeatasoinen kalibrointi	Vaativat mittaukset ja tavalliset kalibroinnit	Normaalit mittaukset ja vaatimattomat kalibroinnit	Välttävät mittaukset	
Lämpötila työtasossa	20 °C ± 0,5 °C	20 °C ± 1 °C	19 ... 24 °C	15 ... 25 °C	
Lämpötilaerot tilan eri osissa	Maks. 0,6 °C	Maks. 2 °C	Maks. 4 °C	–	
Lämpötilan vaihtelu tunnissa	Maks. 0,1 °C	Maks. 0,3 °C	Maks. 1 °C	Maks. 1,5 °C	
Lämpötilan vaihtelu vuorokaudessa	Maks. 0,6 °C	Maks. 1 °C	–	–	
Ilman suhteellinen kosteus	35 ... 55 %	35 ... 55 %	20 ... 70 %	Maks. 80 %	
Värähtelyt	Amplitudi/ Taajuus	0,25 µm/200 Hz ... 3 µm/5 Hz	1 µm/20 Hz ... 3 µm/10 Hz	Ei selvästi havaittavaa tärinää	Ei selvästi häiritsevää tärinää
Valaistus		800 ... 1000 lux	800 ... 1000 lux	800 ... 1000 lux	500 ... 1500 lux
Puhtaus	Koko	< 0,5 µm	< 5 µm	Puhtaudesta huolehditaan hyvin	Puhtaudesta huolehditaan normaalisti
	Määrä	3 x 10 ⁷ kpl/m ³	1 x 10 ⁷ kpl/m ³		
Ilman virtausnopeus		< 150 mm/min	< 300 mm/min	Ei tuntuvaa vetoa	Ei selvästi tuntuvaa vetoa
Melu		< 40 dBA	< 50 dBA	< 60 dBA	< 90 dBA

Lämpötila on konepajateknisten mittausten vaikeimmin hallittava ja yleensä suurin virhelähde. Maissa, joissa on käytössä metrijärjestelmä, on teknisten mittausten peruslämpötila +20 °C. Teknisen kappaleen pituudella tarkoitetaan aina sen pituutta +20 °C:n lämpötilassa, vaikka sitä ei olisi erikseen mainittu. Mittauksia on sitä helpompi suorittaa, mitä lähempänä peruslämpötilaa ollaan. Mittauksille, jotka on suoritettu peruslämpötilassa, ei tarvitse laskennallisesti tehdä korjausta ja materiaalien lämpötilan muuttamisen tunteminen ei ole tarpeen. Kemianteollisuuden ja sähkötekniikkaan liittyvien suureiden mittausten peruslämpötila on kuitenkin +23 °C. Tavanomaisissa konepajaolosuhteissa lämpötilaeroista johtuvat virheet ovat vähintään suuruusluokkaa ±0,02 mm/m. (Andersson & Tikka 1997, 130–131; Esala ym. 2003, 17, 57; Konepajan mittaustekniikka 1987, 201.)

Lämpötilan muuttuessa mittausten tarkkuus kärsii väistämättä, sillä kappaleet käyttäytyvät materiaalleilleen ominaisesti. Kun kappaleen lämpötila muuttuu, myös sen tilavuus eli mitat muuttuvat. Materiaalin molekyylin nk. Brownin liike kiihtyy, kun lämpötila kasvaa ja molekyylit ottavat suuremman tilan, joten kappale laajenee. Se kuinka paljon kappaleen mitat muuttuvat, riippuu kappaleen materiaalin lämpötilan muuttamisesta α , kappaleen alkupituudesta L_0 +20 °C:n lämpötilassa sekä lämpötilan muutoksesta Δt . Lämpötilan ja pituudenmuutosten välinen riippuvuus voi-

daan kirjoittaa kaavan 1 mukaiseen muotoon, josta voidaan laskea kappaleen pituuden muutos ΔL . Eri materiaalien lämpöpiteneiskertoimia on esitetty taulukossa 2. Jos mittauslaitteessa ja mitattavissa kappaleissa käytetään eri materiaaleja, voidaan niiden pituuseroja eri lämpötiloissa yleisesti merkitä kaavan 2 mukaan, missä $\Delta t = t_1 - t_0$. t_1 on lämpötila mitattaessa ja t_0 on peruslämpötila 20 °C. (Andersson & Tikka 1997, 131–132; Esala ym. 2003, 17; Konepajan mittaustekniikka 1987, 201–204.)

$$\Delta L = L_0 \times \alpha \times \Delta t \quad (1)$$

$$\Delta L_{tot} = \Delta L_m - \Delta L_i = L_{m0} \times \alpha_m \times \Delta t_m - L_{i0} \times \alpha_i \times \Delta t_i \quad (2)$$

Kappaleen todellinen mitta on siis alkuperäisen pituuden L_0 ja pituuden muutoksen ΔL summa;

$$L = L_0 + \Delta L \quad (3)$$

TAULUKKO 2. Eri materiaalien lämpöpiteneiskertoimet (Andersson & Tikka 1997, 131)

Materiaali	α (10^{-6} m/°C)	Materiaali	α (10^{-6} m/°C)
Alumiini	23,8	Kupari	16,5
Bakeliitti	30	Pronssi	18
Lyijy	28,9	Kromi	7
Lasi	8	Magnesium	26,1
Kulta	14,2	Nikkeli	12,9
Kovametalli	5..6	Invarteräs (36% Ni)	1,6
Teräs	11,5	Puu	3...54
Valurauta	10	Volframi	4,3
Ruostumaton teräs	10...18	Sinkki	26,7

Jos peruslämpötilasta poiketaan oleellisesti, lämpötilan ja kappaleen mittojen välisestä riippuvuudesta aiheutuneet virheet voidaan käsitellä systemaattisina virheinä. Se edellyttää kuitenkin, että tunnetaan tarkasti mittauslaitteen ja kappaleen lämpötila sekä lämpöpiteneiskertoimet. Jos näissä tekijöissä on epävarmuuksia, on lämpötilavirheet käsiteltävä tuntemattomina systemaattisina virheinä. Jos halutaan luotet-

tava mittaustulos ilman lämpötilavirheitä, on sekä mitattavan kappaleen että mittauslaitteen oltava peruslämpötilassa. (Andersson & Tikka 1997, 131–132)

Pitkulaisen teräksisen kappaleiden lämpöpitenehminen laskemisessa voidaan käyttää yleissääntönä, että 1 °C:n lämpötilanmuutos muuttaa 100 mm:n pituisen kappaleen pituutta noin 1 µm. Yleissäännön mukaan 10 metrin pituisen teräksisen kappaleen pituus kasvaa 0,1 mm lämpötilan kasvaessa 1 °C:n. Ruostumattomalle teräkselle luvut täytyy kertoa 1,5:llä. Lämpöpitenehiskertoimen tunteminen tarkasti voi olla vaikeaa, sillä työkappaleissa teräksen ohella yhä yleisempiä materiaaleja ovat alumiini, ruostumattomat teräkset ja muovit. Näiden materiaalien lämpöpitenehiskertoimet voivat vaihdella paljonkin, riippuen seostuksista ja valmistusmenetelmistä. (Andersson & Tikka 1997, 132; Esala ym. 2003, 57.)

Peruslämpötilasta poikkeavaa lämpötilaa vaarallisempaa tarkkojen mittausten kannalta ovat lämpötilan nopeat muutokset ja lämpötilagradientit. Mittausympäristössä tapahtuvat nopeat lämpötilan muutokset aiheuttavat kappaleisiin sekä mittauslaitteisiin niiden sisäisiä lämpötilagradientteja ja johtavat siten virheellisiin tuloksiin. Esimerkiksi kaarimikrometrin kaaren lämpötilan nousu saattaa vaikuttaa mittausvirheeseen oleellisesti enemmän kuin sillä mitattavasta pituudesta laskettu lämpötilan vaikutus. Kappaleen lämpötila voi vaihdella eri kohdissa kappaletta, johtuen epätasaisesta massan jakaumasta sekä erilaisen lämmönjohto- ja säteilykyvyn jakautumisesta tai lämpötilan mittauslaitteen viiveestä reagoida lämpötilan muutoksiin. Nopeat, mittauksen aikana tapahtuvat, lämpötilan muutokset riippuvat mittausympäristöstä ja niitä aiheuttavat esimerkiksi ilmastointi tai ulko-ovet. (Esala ym. 2003, 17, 57; Konepajan mittaustekniikka 1987, 206.)

Kappaleen lämpötilanmuutos voi tapahtua kolmella eri tavalla; lämpösäteilyllä, lämmön johtumisella tai konvektiolla, kuten ilmavirroilla. Nopein tapa näistä on lämmön johtuminen, jolloin kappale on termisessä kosketuksessa ympäröivään aineeseen, jolla on hyvä lämmönjohtokyky. Lämpötilaerojen muutos alkuperäisestä lämpötilaerosta Δt_1 lämpötilaeroon Δt_2 tapahtuu kaavassa 4 esitetyn eksponenttifunktion mukaisesti ajassa T . (Andersson & Tikka 1997, 132–133; Konepajan mittaustekniikka 1987, 205–206.)

Muutokseen vaikuttaa myös vakio k , joka riippuu alustan lämmönjohtokyvystä, ilmavirtauksista sekä kappaleen omasta massasta, pinta-alasta ja ominaislämmöstä. Kaa-
van mukaan lämpötilaerojen tasaantuminen hidastuu koko ajan niiden pienentyessä.
(Andersson & Tikka 1997, 132–133; Konepajan mittaustekniikka 1987, 205–206.)

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = e^{\frac{-1}{k}} \quad (4)$$

Lämpötilan vaikutusta mittaustulokseen voidaan pienentää antamalla mitattavan
kappaleen ja mittauslaitteen lämpötilojen tasaantua ja saavuttaa ympäristön lämpö-
tila, jonka tulisi olla +20 °C. Lämpötilojen tasaantuminen saattaa viedä pitkiä aikoja,
riippuen mm. kappaleen painosta, muodosta, lämpötilaerosta ympäristöön sekä alus-
tan massasta ja aineesta. Lämpötilojen tasaantumista voidaan nopeuttaa upottamal-
la kappale peruslämpötilassa olevaan nesteeseen. Tämä kuitenkin aiheuttaa lämpöti-
lojen tasaannuttua puhdistus yms. toimenpiteitä kappaleeseen. Taulukossa 3 on esi-
tetty teräslieriön ja alustan lämpötilan tasaantumisaikat erilaisilla alustoilla. (Konepa-
jan mittaustekniikka 1987, 206.)

TAULUKKO 3. Teräslieriön jäähtymisaikat (Konepajan mittaustekniikka 1987, 207)

Jäähtyminen t_1 :stä t_2 :een	Alusta		
	Puupöytä	Teräslevy 10 kg	Teräslevy 40 kg
5 °C	120 min	12 min	10 min
1 °C	(2 h)		
5 °C	600 min	250 min	90 min
0,1 °C	(10 h)		

Mittauksen aikana on kuitenkin mahdollisuus pilata hyvinkin tasaantunut lämpötila
kappaleen ja mittauslaitteen välillä. Mittaajasta saattaa tulla lämpöä mittauslaittee-
seen tai mitattavaan kappaleeseen tai ympäristö voi aiheuttaa lämpötilan muutoksia
mittauksen suorituksen aikana. Koneistettaessa kappaleisiin siirtyy myös lämpöä.
Mittauslaitteen on oltava käsittelykohdiltaan sellainen, että se ei ole herkkä lämmön

aiheuttamille muodonmuutoksille. (Esala ym. 2003, 57; Konepajan mittaustekniikka 1987, 206.)

Valaistus on eräs tekijä mittaolosuhteiden vaikutuksessa mittausvirheisiin. Valaistuksen on oltava riittävä, jotta mittaaja pystyy työskentelemään tarkassa työssään. Valot kuitenkin lämmittävät, joten niiden on oltava kuitenkin tarpeeksi kaukana itse mittauslaitteesta ja -tapahtumasta. (Esala ym. 2003, 19.)

Taulukon 1 (s. 22) mukaan ilman suhteellisen kosteuden tulisi olla mittaushuoneessa 35–55 % ja normaaleja mittauksia tehtäessä 20–70 %. Ilman kosteuteen voidaan vaikuttaa ilmastoinnilla. Yleensä kesällä tarvitaan ilman kuivatusta ja talvella vastaavasti kostutusta. Taulukon suositusten alarajat ilman kosteudesta perustuvat siihen, että lämpötila on vakaampi, kun ilmassa on kosteutta ja kostea ilma pitää myös pölyn paremmin kurissa. Ylärajat suosituksissa perustuvat siihen, että kosteuden ollessa suuri on olemassa riski, että rautametallit alkavat ruostumaan. Mittauslaitteet, joita käytetään ilman suhteellisen kosteuden ollessa korkea, on aina rasvattava ja puhdistettava ennen käyttöön ottoa. Sähköiset mittausslaitteet saattavat lakata toimimasta kun kosteus lähestyy 100 %:a. (Esala ym. 2003, 19.)

Värähtelyt, joiden taso on liian korkea, ovat mittauksille haitallisia. Yleensä värähtelyt, joita ihminen ei havaitse, eivät ole haitallisia mittauksille. Värähtelyjen vaikutuksen suuruus riippuu myös mittausslaitteesta tai mittaustarkoituksesta. Herkimpiä laitteita värähtelyille ovat pinnankarheuden mittausslaitteet sekä interferometriaan perustuvat tasomaisuuden ja pituuden mittausslaitteet. Värähtelyjen vaikutusta voi vähentää mittausslaitteen konstruktiolla ja vaimentimilla. Värähtelyjä voi syntyä esimerkiksi koneistuksesta tai kappaleiden siirtelystä paikasta toiseen. (Esala ym. 2003, 19.)

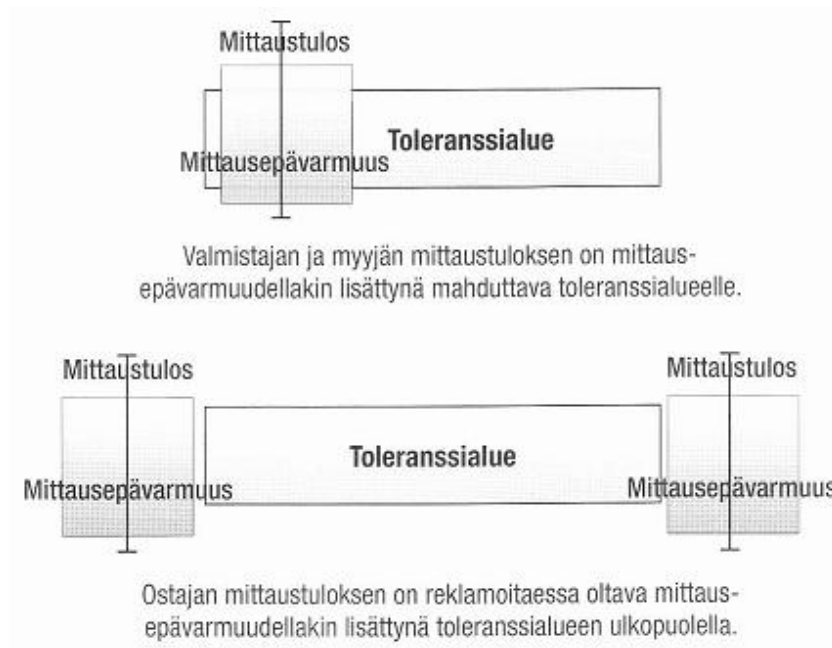
Puhtaus ja järjestys ovat tärkeitä asioita mittauksissa. Lika mittausslaitteissa aiheuttaa ajan mittaan ylimääräistä kitkaa, joka kasvattaa mittaussvoimia, tekee mittaussvoimista epätasaisia ja johtaa kulumiseen. Puhtaus on erityisen tärkeää optisissa mittausslaitteissa. Puhtauteen voidaan vaikuttaa parhaiten huolellisuudella ja oikein toteutulla siivouksella. (Esala ym. 2003, 19.)

Melu vaikuttaa lähinnä mittaajaan väsyttämällä tai häiritsemällä keskittymistä. Mittaukseen osallistuvat ihmiset saattavat myös kuulla väärin melun takia. Raskaassa teollisuudessa sähköiset ja magneettiset häiriöt voivat aiheuttaa häiriöitä mittauslaitteisiin, varsinkin optisiin mittauslaitteisiin. Näiden häiriöiden esiintyminen on vaikeasti havaittavissa ja mitattavissa. (Esala ym. 2003, 20.)

3.5 Mittausepävarmuus

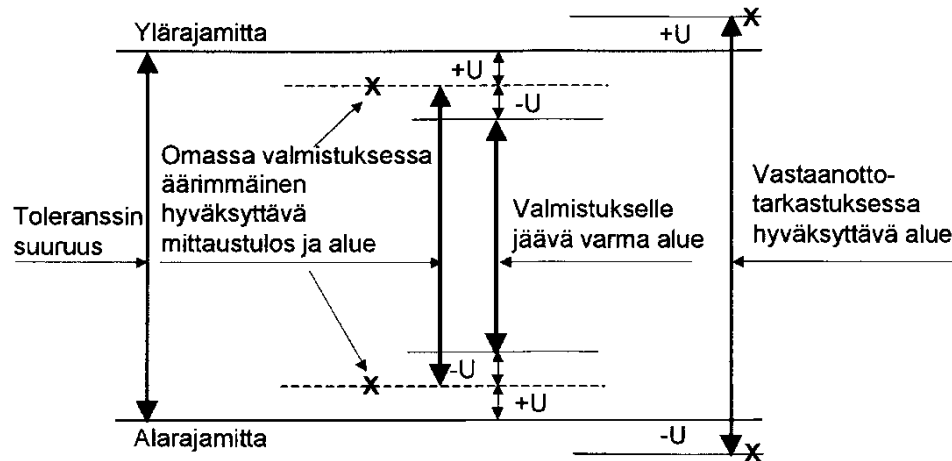
Mittausepävarmuus kuvaa standardin SFS 3700 (1998, 8.) mukaan mittaustulosten oletettua vaihtelua määriteltyjen virherajojen sisällä. Mittaustulos on vain arvio mitattavasta suureesta, jos sen mittausepävarmuutta ei ilmoiteta. Mittaustuloksesta tulee täydellinen ja luotettava vasta, kun se ilmoitetaan yhdessä mittausepävarmuuden kanssa. Kaikista mittaamiseen liittyvistä virhetekijöistä syntyy mittausepävarmuutta ja vaikka kaikki tunnetut virhelähteet poistettaisiin, jää silti jäljelle epävarmuustekijöitä. (Andersson & Tikka 1997, 147; Esala ym. 2003, 56; Saxholm, Hemming, Esala, & Palosuo 2010, 31.)

Ilman mittausepävarmuuden tuntemista tuotteiden hyväksyminen tai hylkääminen tarkastustilanteessa on täysin arpapeliä. Mittausepävarmuus pienentää valmistuksen käytettävissä olevaa toleranssialuetta, sillä toisin kuin yleensä ajatellaan, mittaustuloksen lisäksi myös mittausepävarmuus huomioon otettuna tulee mahtua toleranssialueelle. Tuotteen ostajan tai vastaanottajan näkökulmasta mittausepävarmuus taas kasvattaa poikkeamia, jotka ostajan on vastaanottotarkastuksessa hyväksyttävä. Kuviossa 7 ja 8 on kuvattu valmistajan ja ostajan mittaustuloksen hyväksymisrajan määrytyminen. (Esala ym. 2003, 36, 56.)



KUVIO 7. Mittausepävarmuuden vaikutus tarkastustilanteissa (Esala ym. 2003, 36)

Valmistuksen käytettäväksi jäävän toleranssin suuruudeksi jää piirustukseen merkityn toleranssin ja kaksinkertaisen mittausepävarmuuden ($\pm U$) erotus kuvion 8 mukaisesti. Mittausepävarmuus vaikuttaa siis myös valmistusprosessin tarkkuuteen, sillä mitään valmistusprosessia ei pystytä säätämään tarkemmin kuin sitä pystytään mittaamaan. Mittaus- ja koneistuskustannusten summan on oltava kuitenkin mahdollisimman alhainen, jos pyritään taloudellisesti mahdollisimman edulliseen valmistukseen. Koneistuskustannukset kasvavat käytettävissä olevan toleranssialueen pienentyessä, ja mittauskustannukset kasvavat mittausepävarmuuden pienentyessä. Taloudellisesti paras tilanne saavutetaan, kun mittausepävarmuuden suuruus on kymmenesosa toleranssista, jolloin koneistuksen käytettäväksi jää 80 % toleranssialueesta. (Esala ym. 2003, 36, 56.)



KUVIO 8. Mittausepävarmuus ja valmistuksen käytettävissä oleva toleranssialue (Andersson & Tikka 1997, 176)

Käytännössä mittausepävarmuus tarkoittaa koko mittausprosessin kokonaisepävarmuutta eikä pelkästään mittauslaitteen kalibrointitodistuksen ilmoittamaa epävarmuusarvoa. Mittausepävarmuuden tunteminen edellyttää syiden selkeätä ymmärtämistä, joka vaatii kokemusta, koetoimintaa ja teoreettista tietoa virhelähteistä. Lisäksi tarvitaan vielä matemaattista osaamista, jotta mittausepävarmuudet voidaan ilmoittaa yksiselitteisesti ja selkeästi. Mittausepävarmuuden ilmoittamiseen on käytössä kattavuuskertoimen k , joka kertoo, kuinka suurella todennäköisyydellä mittaustulos on ilmoitetun mittausepävarmuuden puitteissa totta. Kattavuuskertoimia 1, 2 ja 3 vastaavat todennäköisyydet ovat noin 68 %, 95,5 % ja 99,7 %. (Esala ym. 2003, 36, 56; Saxholm ym. 2010, 32.)

Vaikka aiemmin käsiteltyjä systemaattisia virheitä kompensoidaan ja korjataan laskennallisesti mahdollisimman pieneksi, mittaustulos on silti vain arvio. Jäljellä ovat edelleen satunnaiset virheet sekä tuntemattomat systemaattiset virheet. Mittausepävarmuudella on siis kaksi komponenttia. Mittausepävarmuutta merkitään kirjaimella u , systemaattista virhettä kirjaimilla u_s ja satunnaista virhettä kirjaimilla u_r . (Andersson & Tikka 1997, 148–150.)

Mittausepävarmuus u voidaan määrittää matemaattisesti kahdella tavalla. Ensimmäinen tapa (kaava 5) on yksinkertaisempi ja turvallisempi laskutapa, jos on olemassa virheiden aliarvostusriski tai virhekomponentit ovat huomattavan erisuuruisia. Jos näin ei ole, käytetään laskukaavan 6 mukaista yhtälöä. (Andersson & Tikka 1997, 149.)

$$u = u_r + u_s \quad (5)$$

$$u = \sqrt{u_r^2 + u_s^2} \quad (6)$$

Mittausepävarmuus voidaan laskea myös tilastollisia menetelmiä käyttäen. Tätä menetelmää kutsutaan tyyppin A mittausepävarmuusarvioksi. Tällöin mittaus täytyy toistaa riittävän monta kertaa tai käyttää korjauskerrointa, minkä jälkeen voidaan laskea tilastollisesti mittausepävarmuuden vaihtelu. Jos toistettujen mittausten lukumäärä on pieni, ei epävarmuuden arvio ole luotettava. (Andersson & Tikka 1997, 150–151; Esala ym. 2003, 66.)

Tyyppin B mittausepävarmuusarviossa mittausepävarmuus arvioidaan muiden kuin tilastollisten menetelmien avulla. Tällöin arvio perustuu perusteltuihin tietoihin, esimerkiksi aikaisempiin mittaustuloksiin, kokemukseen, valmistajan tietoihin tai kalibrointitodistuksesta saatuihin tuloksiin. B-tyypin epävarmuus pysyy samansuuruisena, vaikka mittauskertoja lisättäisiin. (Esala ym. 2003, 66.)

Mittaukselle laskettuun mittausepävarmuuteen saatetaan lisätä varmuuskerroin kaupallisten, teollisten tai turvallisuusseikkojen takia. Mittauksen kokonaisepävarmuuden ilmoittaminen riippuu asiakirjasta, johon tulokset tulevat. Kokonaisepävarmuus U ilmoitetaan mittaustuloksen y perässä \pm -lukuna; $y \pm U$. Tällöin mittaustulos on kertoimen k ilmoittamalla todennäköisyydellä rajojen $y-U$ ja $y+U$ sisällä. (Andersson & Tikka 1997, 154–156.) Taulukossa 4 on listattuna erilaisten pituuden mittauslaitteiden mittausalueet sekä hallituissa olosuhteissa saavutettavat pienimmät mittausepävarmuudet.

TAULUKKO 4. Pituuden mittauslaitteiden mittausalueet ja -epävarmuudet (Muokattu lähteestä Esala ym. 2003, 38)

Mittauslaite	Mittausalue L	Mittausepävarmuus [μm], (L=[m])	Mittausepävarmuus [±μm], kun L=max
Laser-interferometri	0 - 60 m	±(0,02+L/2000)	0,05
Mittapalat	0,02 - 2000 mm	±(0,05+L/1000)	0,05
Mittausanturit	0 - 100 mm	±(0,01+L/100)	0,01
Pituuden mittauskoneet	0 - 3000 mm	±(0,1+L/1000)	0,10
Mittakellot	0 - 100 mm	±(0,1+L/100)	0,10
Koordinaattimittauskoneet	0 - 3000 mm	±(0,5+L/1000)	0,50
Työkalumikroskoopit ja profiiliprojektorit	0 - 300 mm	±(1+L/500)	1,00
Lasiasteikot	0 - 300 mm	±(1+L/200)	1,00
Mittakellolla varustetut kaarimittalaitteet	0 - 2000 mm	±(1+L/100)	1,02
Mittakellolla varustetut sisämittalaitteet	0 - 3000 mm	±(1+L/500)	1,01
Korkeusmittalaitteet	0 - 1000 mm	±(3+L/250)	3,00
Sisämikrometrit	0 - 3000 mm	±(1+L/200)	1,02
Kaarimikrometrit	0 - 2000 mm	±(1+L/100)	1,02
Kiinteät ulkopuoliset tulkit	0,03 - 2000 mm	±(2+L/500)	2,00
Kiinteät sisäpuoliset tulkit	2 - 300 mm	±(2+L/250)	2,00
Työntömitat	0 - 2000 mm	±(20+L/250)	20,01
Cirkometrit	100 - 5000 mm	±(50+L/200)	50,03
Etäisyysmittarit ja teodoliittijärjestelmät	0 - 100 m	±(50+L/1000)	50,10
Teräsasteikot	0 - 3000 mm	±(100+L/500)	100,01
Mittanauhat	0 - 50 m	±(200+L/100)	200,50

4 NYKYINEN MITTAUS- JA KATKAISUMENETELMÄ

4.1 Tutkimusmenetelmät

Listamaisen tuotteen nykyistä mittaus- ja katkaisumenetelmää tutkittiin kvalitatiivisella eli laadullisella tutkimuksella. Kvalitatiivisessa tutkimusotteessa on tyypillistä, että menetelmä muokkautuu tutkimuskohteen ja tilanteen mukaan, joten tutkimustulokset ovat yleistettävissä vain tutkittavaan kohteeseen. Nykyisen mittaus- ja katkaisumenetelmän tutkimuksen aineiston keruu toteutettiin osallistuvalla havainnoinnilla ja haastattelemalla koneistajia. (Jurvelin 2011, 14–17; Vilka 2006, 42–45.)

Osallistuva havainnointi tarkoittaa Vilkkään (2006, 44–45) mukaan, että tutkija osallistuu tutkimuskohteen toimintaan käytännössä yhdessä sen jäsenten kanssa. Nykyistä mittaus- ja katkaisumenetelmää ja sen mittausepävarmuuksia havainnoitiin viikon ajan, mutta haastattelujen avulla koneistajilta saatiin kokemusperäistä tietoa ja arvioita vaikuttavista epävarmuustekijöistä. Havainnointia ja haastatteluja tehtiin aiemmin esitetyn teorian perusteella.

4.2 Listamaisen tuotteen pituuden määrittäminen

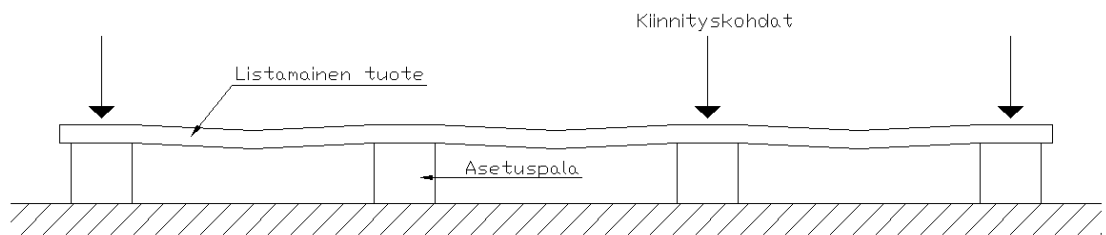
Listamaisen tuotteen pituuden mittaamisessa ja katkaisussa käytetään tällä hetkellä työstökoneita, jotka liikkuvat johteillaan mitattavan matkan. Listamaisten tuotteiden pituus määräytyy kahdella eri tavalla niiden käyttökohteen mukaan. Koneistuspiirustuksissa listamaisten tuotteiden määritelty pituus L on toleroitu $L \pm 0,2$ mm. Vaadittuun pituuteen L on lisätty aina +1 mm päätyvälyksen viilausvaraa asennusta varten.

Toinen vaihtoehto pituuden määrittämiselle on tarkasti mitoitettut mittasauvat, jotka ovat samaa materiaalia listamaisen tuotteen kanssa. Mittasauvan pituuden lisäksi listamaisiin tuotteisiin jätetään 0,8 mm viilausvaraa asennusta varten. Koska katkaisua tehdään monella eri työstökoneella ja monen eri henkilön voimin, vaihtelevat käytännöt katkaisun toteuttamisessa. Seuraavassa on listattuna tuotteen mittaamisessa esiintyviä yleisimpiä mittausepävarmuuksia. Yhteenveto niistä on liitteessä 1.

4.3 Mittauksen kohde

Listamaisen tuotteen materiaalina on haponkestävä ruostumaton teräs, ja sen poikkipinta-ala suhteessa pituuteen on todella pieni, joten se reagoi nopeasti lämpötilan muutokseen. Rakenteensa takia tuote on myös taipuisa pelkästä omasta painostaan johtuen.

Listamainen tuote asetetaan työstökoneen pöydälle katkaisua varten asetuspalojen päälle kuvion 9 mukaisesti. Tuote kiinnitetään molemmista päistä sekä keskeltä siten, että toinen pää sekä katkaisukohta ovat mahdollisimman lähellä kiinnittimiä. Kiinnittimet ohjaavat tuotteen suoraan. Aetuspalojen jakoon vaikuttaa listamaisen tuotteen pituus sekä työstökoneen pöydän rakenne. Jaon välit ovat vapaita välejä, eli tuote ei ole tuettuna näiltä osin, ja tämä vaikuttaa mittausepävarmuuteen.



KUVIO 9. Listamaisen tuotteen kiinnitys asetuspalojen päälle

Listamaisen tuotteen puhtaus katkaisuvaiheessa tarkistetaan silmämääräisesti. Katkaisukoneistuksessa tuote hieman lämpenee, mutta emulsionestejäähdytyksen ja tuotteen pienen poikkipinta-alan takia tällä ei ole merkittävää vaikutusta mittausepävarmuuteen.

4.4 Mittauslaite

Mittauslaitteena toimivat työstökoneet kalibroidaan, eli niiden tarkkuutta tarkastellaan tekemällä geometrisiä mittauksia ja tarvittavia korjauksia 1–2 vuoden välein. Koneistuspiirustuksen mitan mukaan listamaista tuotetta katkaistaessa työstökone mittaa omalla geometria- ja paikoitustarkkuudellaan kappaleen pituuden. Eri työstökoneiden tarkkuudet kuitenkin vaihtelevat, ja työstökoneiden mittatarkkuus on riippuvainen lämpötilasta. Työstökoneiden mitta-anturit ovat yleensä koneen johteiden yhteydessä tai lähellä niitä. Koneiden johteet sijaitsevat 1–2 m lattiatason alapuolella, joten verstashallin ovista varsinkin talviaikaan tuleva kylmä ilma vaikuttaa nopeas-

ti johdemonttuihin. Myös johdeöljyn lämpötila vaikuttaa mitta-antureihin. (Roppo-
nen 2012)

Jos listamaisen tuotteen pituus määritetään mittasauvan mukaan, pituuden mittaus suoritetaan vertailumittauksena. Mittauksessa käytetään apuna mittakelloa, joka on kiinni työstökoneessa. Mittakellon mitta-alueesta käytetään vain osaa, joten mitta-
usvoima pysyy koko mittauksen ajan samana. Mittakelloja kalibroidaan ja myös uusi-
taan tietyn ajan välein. Työstökoneen geometrian mittatiedolla vain tarkistetaan,
ettei listamaista tuotetta katkaista lyhyeksi. Lisäksi mittasauvan suoruus ja lämpötila
vaikuttavat mittaustulokseen. Mittasauva sijaitsee katkaisukoneistuksen aikana ko-
neen pöydällä lähellä listamaista tuotetta, ja se on tuettu samalla tavalla, mutta sen
poikkipinta-ala on hieman listamaisen tuotteen poikkipinta-alaa suurempi.

4.5 Mittausolosuhteet

Listamaisen tuotteen nykyisessä katkaisussa ja mittaamisessa verstashallin ympäristö
ja olosuhteet vaikuttavat mittausepävarmuuteen. Suurin olosuhdetekijä on lämpöti-
la.

Valaistusta työstökoneilla on riittävästi ja koneistuksesta syntyvät värähtelyt on vai-
mennettu työstökoneiden ja pöytien konstruktioissa. Mittausolosuhteet ovat kuiten-
kin pölyiset ja osittain kosteat johtuen koneistuksissa tarvittavista leikkausöljystä tai
emulsionestejäähdytyksestä. Kesäisin ilman suhteellinen kosteus saattaa myös nous-
ta korkealle.

Poikkipinta-alaltaan pieni listamainen tuote on hankala koneistaa suurella työstöko-
neella, sillä koneistajalla ei ole aina tarkkaa näköyhteyttä tapahtuvaan koneistuk-
seen. Asetusajossa työstökoneen mittalukeman nollaamisen tarkastelu vaatii myös
hankalia työasentoja koneistajilta. Mittalukeman nollaaminen tapahtuu koskettamal-
la jysinterällä sitä kohtaa listamaisessa tuotteessa, josta halutaan työstökoneen al-
kavan mittaamaan, ja nollaamalla mittalukema siihen.

Listamainen tuote reagoi rakenteensa takia lämpötilojen muutoksiin nopeammin kuin mittauslaitteena toimiva työstökone. Mittasauva reagoi todennäköisesti lähes samalla tavalla lämpötilojen muutokseen kuin listamainen tuote. Listamaiset tuotteet säilytetään koko niiden valmistusketjun ajan sisällä verstastiloissa ja tuodaan hyvissä ajoin ennen katkaisua työstökoneen pöydälle lämmön tasaantumista varten. Osa katkaisua tekevistä työstökoneista sijaitsee lähellä verstashallin ulko-ovia ja yksi kone sijaitsee käytävän vieressä, johon tuodaan talviaikaan ulkoa kuljetuskasetteja ja kappaleita sulamaan sekä lämpenemään. Tästä hohkaa kylmyyttä läheisen työstökoneen pöydälle.

Verstashallin lämpötilaa ja tasalämpöisyyttä mitattiin ja tutkittiin lämpötilatestien avulla. Lämpötilatesti suoritettiin viikoilla 8 ja 10 viikon mittaisina jaksoina. Tulokset mitattiin maanantaina, keskiviikkona ja perjantaina. Lämpötila mitattiin verstashallissa sisällä olevien kappaleiden tai rakenteiden pinnasta kosketuslämpömittarilla. Lämpötilatestien mittauspöytäkirjat ovat liitteinä 2 ja 3. Mittauspöytäkirjoissa on jätetty osa tiedoista julkaisematta.

Lämpötilatestien perusteella voidaan sanoa, että verstashalli on melko tasalämpöinen, sillä eri osissa hallia lämpötila vaihtelee korkeintaan 1 °C:n verran. Eri päivinä lämpötilat saattavat vaihdella enemmän kuin 1 °C. Nämä muutokset ovat kuitenkin hitaita. Verstashallin keskilämpötila testien aikana työskentelytasossa oli 20 °C:n ja 21 °C:n välillä. Verstashallin lämpötilaan vaikuttavat esimerkiksi ulkolämpötila, ulko-ovien availu, ilmastointi sekä työskentelyn määrä hallin sisällä.

Lämpötilatestissä havaittiin kylmän kuljetuskasetin ja ulko-oven läheisyyden vaikutus yhden työstökoneen pöytien lämpötilaan. 12 metrin etäisyydellä eri päissä koneen pöytää lämpötilaero oli 0,7 °C, kun työstökoneen vieressä käytävällä oli kuljetuskasetti sulamassa. Toisella mittausviikolla ulko-ovea lähemmän pöydän alkulämpötila oli +19,50 °C, ja kun ulko-ovi avattiin ja sisälle tuotiin kuljetuskasetilla oleva kappale sulamaan, pöydän pintalämpötila laski +18,80 °C:een. Ulko-ovi oli auki yhden minuutin ajan ja pöydän pintalämpötila laski tuohon arvoon kolmessa minuutissa. Ulkolämpötila oli tuolloin -3 °C. Työstökoneen pöydän lämpötila mitattiin myös 1,5 tunnin kuluttua edellisestä, jolloin sen lämpötila oli +18,95 °C:n. Pöydän pintalämpötila siis

laski oven avauksen takia $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sulamaan tuotu kappale hohkasi kylmyyttä pöydän pintaan edelleen 1,5 tunnin kuluttua, minkä takia pöydän pintalämpötila ei ollut palautunut alkulämpötilaansa.

Lämpötilatestissä mitattiin lämpötilaa myös lattiatason ylä- ja alapuolella. Vielä 3–4 metrin korkeudella lattiatasosta ei lämpötilassa ollut merkittäviä eroja, mutta 5–6 metrin korkeudella lämpötila oli jo korkeampi. Joidenkin verstashallissa olevien työstökoneiden johteet sijaitsevat 1–2 metriä lattiatason alapuolella, jonne ulko-ovista tuleva kylmä ilma laskeutuu nopeasti. Työstökoneiden mittasauvat sijaitsevat johteiden lähellä, joten lämpötilan muutokset vaikuttavat samalla koneen näyttämään mitalukemaan. Lämpötilatestien mittauksissa viikoilla 8 ja 10 työstökoneen johteiden eri kylkien välillä oli $0,5\text{--}1\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ero. Käytävää ja ulko-ovea lähempänä oleva kylki oli viileämpi.

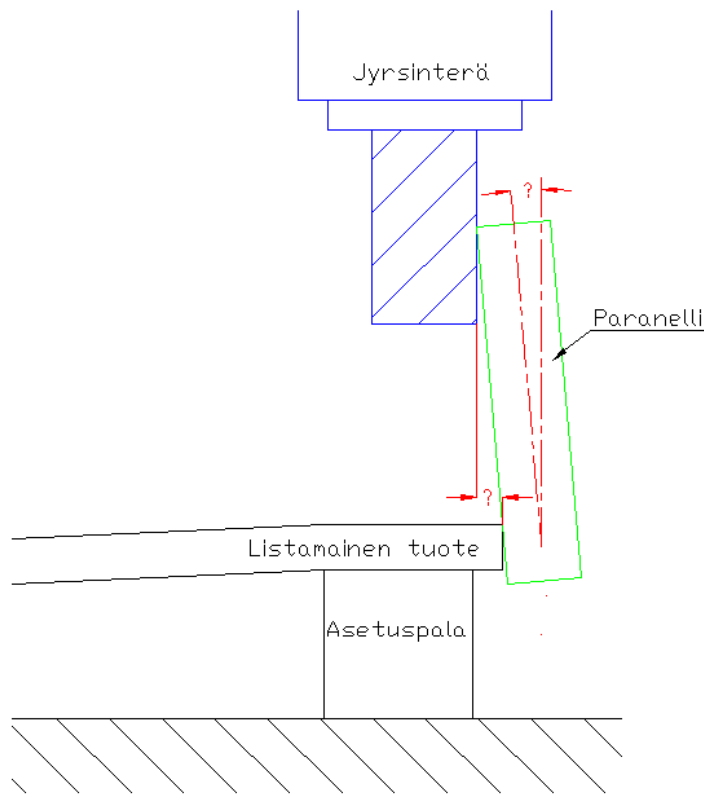
Lämpötilatestin perusteella verstashalli täyttää helposti taulukon 1 mukaiset mittaus-tilan ominaisuudet, missä voidaan suorittaa normaalit mittaukset ja vaatimattomat kalibroinnit. Lämpötilan osalta täyttyy osittain myös vaativiin mittauksiin tarkoitetun tilan ominaisuudet, mutta lämpötilatesteissä ei mitattu vuorokauden sisällä tapahtuvaa lämpötilan muutosta. Tämä on kuitenkin lämpötilatestin pöytäkirjapohjaan merkitty. Ilman kosteutta, melua, valaistuksen määrää, ilman puhtautta ja värähtelyjä ei tutkittu tämän opinnäytetyön aikana.

Ruostumattoman teräksen lämpöpiteneiskerros α vaihtelee arvojen $10\cdot 10^{-6}\text{ m}/^{\circ}\text{C}$ ja $18\cdot 10^{-6}\text{ m}/^{\circ}\text{C}$ välillä taulukon 2 (s. 23) mukaisesti. Sen avulla laskettuna 12 metrin pituinen listamainen tuote pitenee $0,12\text{--}0,22\text{ mm}$ kun lämpötila kasvaa $1\text{ }^{\circ}\text{C}$:n. Yleissääntönä voidaan siis laskea, että $1\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilan nousu kasvattaa teräksisen metrin pituisen listamaisen tuotteen pituutta $0,01\text{ mm}$ (Andersson & Tikka 1997, 130–133).

4.6 Mittaajat ja tarkastajat

Mittausepävarmuuteen vaikuttava suuri tekijä on myös itse mittauksen suorittaja. Mittauksen suorittavat koneistajat ja osaston tarkastajat tarkistusmittaavat valmiiksi koneistetun listamaisen tuotteen. Erillistä mittausohjetta ei kyseiselle tuotteelle ole olemassa. Henkilöiden vireys ja motivaatio voivat esimerkiksi aiheuttaa inhimillisen virheen näyttöä luettaessa tai mahdollisia laskutoimituksia tehtäessä. Vanhemmilla koneistajilla on kokemusta enemmän kuin nuorilla. Henkilöiden ominaisuuksiin vaikuttaminen on vaikeaa, ja tällä hetkellä listamaisten tuotteiden katkaisua suorittavat useat eri henkilöt.

Koneen mittalukeman nollaamiseen on käytössä kaksi erilaista tapaa. Toisella tavalla mittalukema nollataan asettamalla paranelli listamaisen tuotteen suoraksi koneistettuun päähän ja jysintäterällä paranellia hipaisten nollataan koneen mittalukema siihen. Paranellin hipaisu terällä toistetaan pari kertaa, jotta varmistetaan paranellin suoruu listamaisen tuotteen päätä vasten. Kuviossa 10 on esitetty työstökoneen mittalukeman nollaamisen periaate paranellin avulla. Toinen vaihtoehto on nollata työstökoneen mittalukema samalla, kun toinen pää listamaisesta tuotteesta koneistetaan suoraksi. Tällöin koneistajan on tiedettävä terän halkaisija ja tehtävä laskutoimitus, jotta listamainen tuote katkaistaan toisesta päästä oikean mittaiseksi. Paranellin avulla lähtöä otettaessa terän halkaisijalla ei ole merkitystä.



KUVIO 10. Työstökoneen mittalukeman nollaaminen paranellin avulla

Työstökoneen mittalukeman nollaamisella on vaikutusta mittausepävarmuuteen. Paranellin asettaminen suoraan listamaisen tuotteen pieneen poikkipinta-alaan on vaikeaa, ja lisäksi koneistuksessa mahdollisesti syntyneet purseet saattavat aiheuttaa kulmavirhettä paranelliin. Jyrsinterän halkaisijan avulla otettu nollakohta on varmasti kohdillaan, mutta myös terän oikean halkaisijan täytyy olla tiedossa ja laskutoimituksen onnistua, jotta listamaisesta tuotteesta tulee oikean mittainen.

Tuotanto-osaston tarkastajat tarkistavat ja toteavat valmiiksi katkaistun ja koneistetun listamaisen tuotteen pituuden metallisella mittanauhalla, jossa on noniusasteikko. Mittanauha kuuluu kalibroinnin piiriin ja kulunut mittanauha uusitaan tarvittavin välein. Mittausepävarmuutta mittanauhalla mittaamisessa syntyy lämpötilaerosta listamaiseen tuotteeseen, mittanauhan lukutarkkuudesta sekä mittanauhan kiristysvoimasta paikoilleen, joka riippuu tarkastajasta.

4.7 Mittauslaitteen vaatimukset

Liitteessä 1 olevista mittausepävarmuuksista osa tulee säilymään edelleen, vaikka listamaisen tuotteen mittaaminen ja katkaisu tehtäisiin hankittavalla työstökeskuksella. Lämpötilan vaikutus tuotteeseen säilyisi ennallaan ja mittausympäristö sijaitsisi edelleen konepajaolosuhteissa. Mittausta suorittavien koneistajien määrä vähenisi ja vakiintuisi, joten mittajaan vaikutus mittausepävarmuuteen pienenesi.

Mittauslaitteen ja työstökeskuksen tarkkuus muuttuisivat nykyisiin työstökoneisiin verrattuna. Uuden työstökeskuksen mittaustarkkuuden pystyy tarkastamaan vasta, kun keskus on hankittu. Esitteiden ja keskuksen valmistajan mukaan koneen tarkkuus on $\pm 0,005$ mm, mutta listamaisen tuotteen koko pituus mitattaisiin erillisellä laitteella. Näiden kahden mittaustarkkuuden yhdistäminen kertoo vasta lopullisen mittaustarkkuuden, jota voi verrata liitteen 1 arvoon. Listamaisen tuotteen tuenta täytyy suunnitella uudelleen, joten taipuman aiheuttamaa mittausepävarmuutta voidaan pienentää.

Listamaisen tuotteen suunniteltu toleranssialue $L \pm 0,2$ mm ei toteudu arvioitujen mittausepävarmuuksien vaikuttaessa. Uuden mittauslaitteen tulisi ylittää mittausalueellaan ainakin tarkkuuteen $\pm 0,2$ mm, mielellään tarkempaankin tulokseen. Jotta paras taloudellinen mittausepävarmuus valmistuksessa saavutettaisiin, tulisi mittauslaitteen tarkkuuden olla vähintään kymmenesosa toleranssialueesta. Tällöin $1/10 * \pm 0,2$ mm = $\pm 0,02$ mm, eli mittauslaitteen tarkkuuden tulisi laskelman mukaan olla 0,04 mm. Listamaisten tuotteiden pituus voi kuitenkin olla jopa 12 m, joten mittauslaitteen järkevien kustannusten saavuttamiseksi sen tarkkuuden vaatimukseksi asetettiin $\pm 0,2$ mm. Tällöin valmistuksen käyttöön jäävä toleranssi alue on aiemman teorian mukaan olematon, mutta se kuitenkin hyväksyttiin, koska listamaisen tuotteen pituuteen lisätään kuitenkin 1 mm viilausvaraa. Mittauslaitteen sovelluksen mittausaluen tulee olla 12 m, eli sovellus voi käsittää myös mahdolliset vastinpinnat tai soikitut asemapistet, jolloin itse mittauslaitteen mittaalue voi olla lyhytkin.

Mittauslaitteelle on nykyisen mittaus- ja katkaisumenetelmän pohjalta luotu vaatimuslista, jossa on näkemys mittauslaitteen toiminnallisista, teknisistä ja kustannusvaatimuksista sekä toteutettavista toivomuksista. Kiinteät vaatimukset tarkoittavat mittauslaitteen toimintoja, jotka sen on kaikissa tilanteissa täytettävä. Vähimmäisvaatimukset kuvaavat raja-arvoja, jotka on saavutettava ja joiden ylittäminen tai alittaminen on suotavaa. Toivomukset ovat muodoltaan samanlaisia kuin vaatimukset, mutta mittauslaitteen ei tarvitse välttämättä toteuttaa niitä. Toivomukset voidaan toteuttaa vaatimuksien toteuttamisen ohella, jos se on mahdollista kohtuullisilla kustannuksilla ja työmäärällä. Vaatimuslista on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Mittauslaitteen vaatimuslista

Vaatus	Lukuarvo	Vaatuslaji
Sovelluksen mittausalue	12 m	Kiinteävaatus (KV)
Tarkkuus	± 0,2 mm	Vähimmäisvaatus (VV)
Digitaalinen mittauslaite		KV
Järkevät kustannukset		KV
Toimiva konepajaolosuhteissa		KV
Mittatiedon helppo luettavuus		KV
Liitettävyyys työstökeskukseen		Toivomus (T)

5 MITTAUSLAITEVAIHTOEHDOT

5.1 Pituuden mittauslaitteet

Tässä opinnäytetyössä kartoitettiin mittauslaitteevaihtoehtoja, joiden mittausalue on aina 0,1 metristä 12 metriin saakka. Mittauslaitteita kartoitettiin käymällä läpi mittauslaitevalmistajien luetteloja ja internet-sivuja sekä olemalla yhteydessä suoraan mittauslaitteiden valmistajiin, maahantuojiin sekä jälleenmyyjiin. Mittauslaitteita kartoittaessa otettiin huomioon taulukossa 5 olevat vaatimukset.

Yhtenäiselle 12 metrin pituiselle mittausalueelle vaihtoehtoina ovat laseriin perustuvia mittauslaitteita sekä erilaisia lineaariasteikkoratkaisuja. Lyhyemmille mittausalueille mittauslaitteiden valikoima kasvaa ja edellisten lisäksi on olemassa esimerkiksi rakennetyöntömittoja. Mittauslaitteiden, joiden mittausalue on lyhyempi kuin 12 m, soveltamisessa käyttöön täytyy miettiä referenssipiste-mahdollisuuksia, jotta vaatimustan vaatimus koko 12 metrin mittausalueen täyttämistä toteutuu.

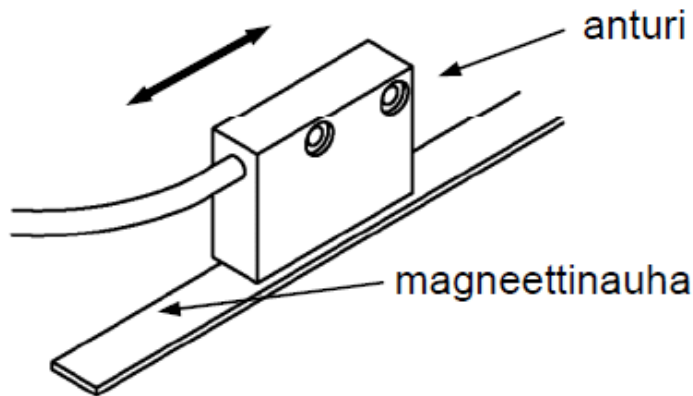
Mittauslaitteet voivat olla toimintaperiaatteiltaan joko inkrementaalaisia tai absoluuttisia. Inkrementaalinen mittauslaite mittaa vain liikkeen muutosta ja tietää kumpaan suuntaan mittauslaitteen anturia liikutetaan. Inkrementaalinen mittaväline on nollattava joka mittauskerralle uudestaan. Absoluuttinen mittaväline tietää aina sijaintinsa mittausalueellaan, eikä sitä tarvitse aina nollata uudestaan, vaikka mittauslaitteesta suljettaisiin virta. (Hokkanen 2012.)

Näyttölaitteen resoluutio tarkoittaa standardin SFS 3700 (1998, 15.) mukaan pienintä näyttölaitteen näyttämien eroa, joka voidaan havaita. Digitaalisissa mittauslaitteissa se tarkoittaa näytön lukeman vähiten merkitsevän numeron vaihtumista yhden askeleen verran. Mittauslaitteen erottelukyky kuvaa ominaisuutta, joka ilmaisee mittauslaitteen kyvyn reagoida mitaussuureen pieniin muutoksiin. (Esala ym. 2003, 9.)

5.2 Mekaaniset lineaarimittalaitteet

Lineaarisia mittauslaitteivaihtoehtoja ovat lineaarimittanauhhat, mittanauhhat, vaijeri- tai nauha-anturit. Lineaaristen mittanauhojen toiminta voi perustua magneettiseen tai optiseen asteikkoon. Lineaaristen sovelluksien rakenne koostuu johteeseen kiinnittyvästä mittanauhasta tai -asteikosta sekä nauha-antureista, jotka kulkevat suorita, mittatarkkoja johteita pitkin lukien osoitetietoa asteikoilta. Optiset asteikot ovat lasia tai terästä ja niitä lukevat laseranturit kosketuksettomasti. Myös magneettisten mittanauhojen anturit toimivat kosketuksettomasti, jolloin mitta-asteikko ei kulu. Antureiden tulee olla oikeassa asennossa mittanauhaan nähden koko mitattavan matkan. (Feedback scales for NC machine tools -General Catalog 2011, 8–9; Laserscale Gen-

eral Catalog 2011, 4–6; Magneettinauha-antureiden käyttö 2007, 2–6.) Kuviossa 11 on esitetty magneettinauhan ja anturin rakenne.

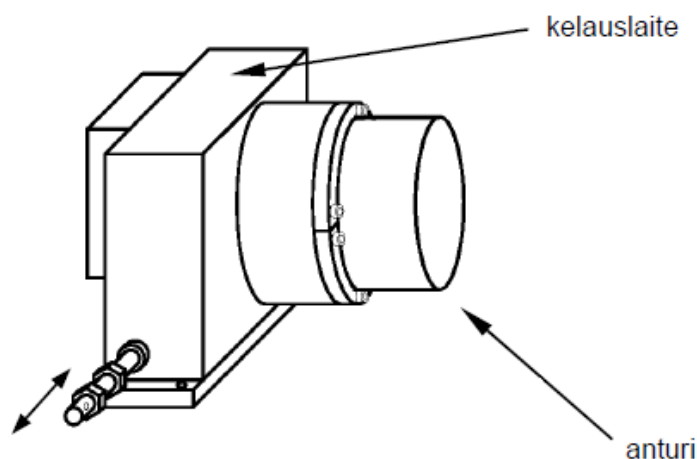


KUVIO 11. Magneettinauhan ja anturin rakenne (Magneettinauha-antureiden käyttö 2007, 2)

Anturi kytketään joko suoraan paikallisnäyttöön, vahvistinyksikköön tai mittausjärjestelmään. Nauha-antureiden suurimmat sallitut liikenopeudet ovat 5–25 m/s, anturin tuottamien pulssisarjojen pituuksien ja erottelukyvyn mukaan. Mittanauhoja on saatavilla avoimina sekä koteloituina rakenteina. (Exposed Linear Encoders 2011, 2–17; Magneettinauha-antureiden käyttö 2007, 2–26.)

Magneettinauha-anturit muuttavat magneettinauhalta luetun magneettisen osoitetiedon joko absoluuttiseksi paikkatiedoksi tai inkrementaaliseksi pulssitiedoksi. Magneettisten mittanauhojen pinta on yleensä suojattu ruostumattomasta teräksestä valmistetulla suojanauhalla ja koodin sisältävä magneettinauha jää tämän ja teräksisen pohjanauhan väliin. Avoimia magneettinauhoja voi kiinnittää liimanauhalla tai kaksipuolisella teipillä. Avoimille magneettinauhoille on myös olemassa valmiita asennuskiskoja. (Feedback scales for NC machine tools -General Catalog 2011, 2–17; Magneettinauha-antureiden käyttö 2007, 2–4.)

Eräs vaihtoehto mitata pituus ovat vaijeri- tai nauha-anturit. Vaijeri tai nauha on kelattu jousipalautteiselle kelalle, jonka akselille on asennettu anturikomponentti kuvion 12 mukaisesti. Anturikomponentti voi olla potentiometri, pulssianturi tai absoluuttikulma-anturi. Anturi mittaa kelan pyörivästä akselista, kuinka paljon vaijeria tai nauhaa on kelattu ulospäin. Vaijerin suurin sallittu kelausnopeus on 0,5–4 m/s. Vaijeri kelautuu kelalla tarvittaessa kolmeen kerrokseen, mutta tarkimmillaan anturi on vaijerin ollessa ensimmäisellä kerroksella. Nauha-anturit ovat yleensä tarkempia kuin vaijerianturit. (Posiware -cable actuated position sensors WS 2011, 18–21; Vaijeriantureiden käyttö 2010, 1–10.)



KUVIO 12. Vaijerianturi (Vaijeriantureiden käyttö 2010, 1)

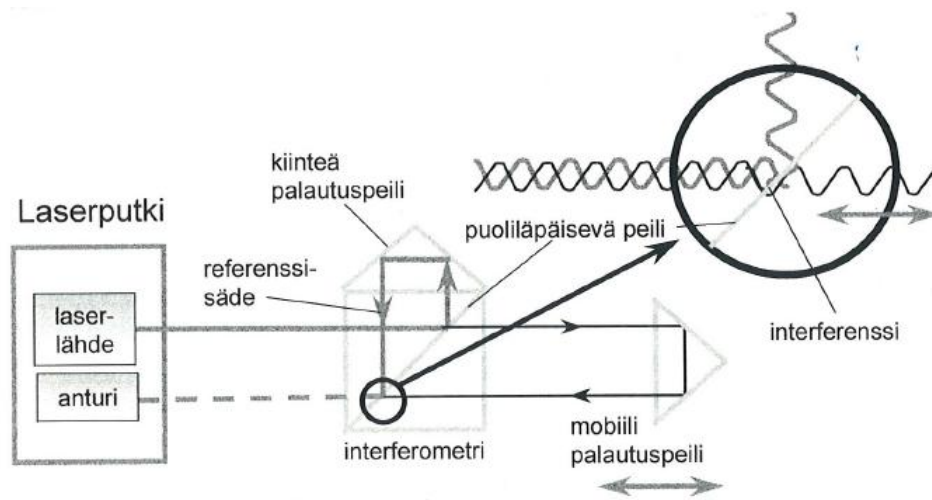
Ulosvedetyn vaijerin on oltava suorassa lineaariliikkeen matkalla, jotta mittaustulos on tarkka. Vaijeri on myös suojattava ympäristöolosuhteilta ja vaurioitumiselta. Vaijeriantureissa voi olla käytännön tarpeen vaatiessa esipurkupituus, joka ei kelaudu takaisin anturin sisälle. Esipurkupituutta voidaan säätää ja anturin antama mittatieto voidaan nollata esipurkupituuden alkuun. (Posiware -cable actuated position sensors WS 2011, 18–21; Vaijeriantureiden käyttö 2010, 1–10.)

5.3 Lasermittalaitteet

Optisia laitteita, joilla pituutta voidaan mitata, ovat mittaavat laserit ja laseranturit. Lasermittalaitteet lähettävät monokromaattista tai koherenttia valoa, joka sisältää vain yhtä aallonpituutta ja jonka kaikki aallot ovat samassa vaiheessa. Niiden toiminta perustuu pistemäiseen tai laajennettuun laserpisteen kolmiomittaukseen. Laseranturi lähettää valonsäteen, jonka vastinpinta tai peili heijastaa takaisin, ja lasermittalaite laskee mitatun etäisyyden. Kymmeniä ja satoja metrejä mittaavat lasermittalaitteet perustuvat valon nopeuden ja lähetetyn sekä saapuvan lasersäteen välisen ajan laskentaan. (Distance sensors -the complete product portfolio 2008, 4–18; Mittaavat laserit; Optinen etäisyysmittaus Leuze 2010.)

Laserinterferometri on tarkin kaupallinen laite pituuden mittaamiseen. Laserinterferometrillä voidaan mitata etäisyyksiä 60 metriin saakka ja sillä voidaan saavuttaa jopa $\pm 0,01 \mu\text{m}$:n mittausepävarmuus. Laserinterferometrejä käytetään tarkoissa konepajateknisissä mittauksissa, kalibroinneissa sekä työstökoneiden tarkastuksissa. Laitteella voidaan pituuden lisäksi mitata liikenopeutta, suoruuksia, kiertymiä sekä paikoitustarkkuuksia. Laserinterferometri vaatii hallitut olosuhteet toimiakseen oikein, eli pituutta mitattaessa täytyy samalla mitata ainakin lämpötilaa, painetta sekä kosteutta. Käytännössä laserinterferometri vaatii laboratorio-olosuhteet toimiakseen täysin tarkasti. Olosuhteiden vaikutusta voidaan kompensoida laskukaavojen avulla. (Andersson & Tikka 1997,195–199.)

Laserinterferometrin toiminta perustuu siihen, että laserputkesta lähtee säde, jossa on tavallisesti kahta taajuutta. Interferometrin sisällä on puoliläpäisevä peili, joka jakaa laserputkesta lähtevän säteen kahtia: toinen osa säteestä heijastuu referenssisäteenä interferometrissa kiinni olevan peilin kautta takaisin puoliläpäisevälle peilille ja toinen osa säteestä kulkee liikkuvaan elimeen kiinnitettyyn mobiilin palautuspeiliin. Palautuspeilistä palautuva säde osuu puoliläpäisevälle peilille juuri samaan kohtaan kuin välittömästi siihen heijastettu referenssisädekin. (Andersson & Tikka 1997,197.) Kuviossa 13 on esitetty laserinterferometrin toimintaperiaate.



KUVIO 13. Laserinterferometrin toimintaperiaate (Andersson & Tikka 1997,197)

Liikkuvaa palautuspeiliä siirrettäessä referenssi- ja palautuvan säteen aallonpituuksiin vaiheet vaihtelevat välillä vahvistaen ja välillä kumoten toisiaan. Kumoutuminen edustaa tummaa ja vahvistuminen vaaleaa interferenssijuovaa. Laserputken anturi laskee näiden pulssien vaihteluita, jonka avulla voidaan määrittää mitattava etäisyys. (Andersson & Tikka 1997,197–198.)

Laserinterferometri on kuitenkin liian arvokas mittauslaite täyttääkseen taulukon 5 (s. 41) vaatimuksen järkevistä kustannuksista. Järkevin kustannuksin hankittavien lasermittalaitteiden tarkkuudet eivät täytä taulukon 5 vaatimuksia, sillä 12 metrin mittausalueelle lasermittalaitteiden eri valmistajat ja maahantuojaat lupaavat tarkkuutta vain ± 1 mm.

5.4 Lyhyen etäisyyden mittauslaitteet

Mittauslaitteelta vaadittu mittausalue lyhenee, jos mittauslaitesovelluksen ympärille rakennettaisiin mittausrunko, jossa olisi tarkasti koneistettuja referenssipisteitä tarvittavan etäisyyden välein. Mittauslaitetta voisi tällöin siirtää ja lukita tiedetyn referenssipisteen kohdalle, jolloin mittauslaite mittaisi etäisyyttä referenssipisteestä

eteenpäin. Mittauslaitteen mittausalue olisi tällöin referenssipisteiden etäisyyden verran ja mittauslaite vaihtoehtojen määrä kasvaisi ja niiden tarkkuus parantuisi.

Lineaarisia pituudenmittausjärjestelmiä on olemassa valmiina konstruktioina ja niiden mittausalue on 100–6000 mm. Nämä järjestelmät ovat lähes samanlaisia kuin aiemmin käsitellyt mittanauhat, mutta mittausalue on lyhyempi ja hinta edullisempi. Pituudenmittausjärjestelmien runkona toimii alumiinikotelo, jonka sisällä on mitta-asteikko. Lukuanturi liikkuu alumiiniprofiilin johteita pitkin ja lukee mittatietoa mitta-asteikolta. Pituuden mittausjärjestelmät toimivat elektromagneettisella induktio-, magnetostriktiivisellä tai magneettisella periaatteella. Mitta-asteikot saattavat myös olla lasisia valmistajasta riippuen. (Asema-anturit 2006, 8–13; Uudet tuotteet, 320–327.)

Mitta-asteikko on yleensä hyvin suojattu ja järjestelmien kotelointiluokat ovat yleensä korkeat. Pituudenmittausjärjestelmien tarkkuudet täyttävät taulukon 5 vaatimustilan vaatimukset helposti, johtuen niiden lyhyemmästä mittausalueesta. Pituudenmittausjärjestelmiä on saatavilla sekä absoluuttisella että inkrementaalilla mittatiedolla. (Asema-anturit 2006, 8–13; Uudet tuotteet, 320–327.) Kuviossa 14 on erään valmistajan malli pituudenmittausjärjestelmästä.



KUVIO 14. Lineaarinen pituudenmittausjärjestelmä (Uudet tuotteet, 325)

Rakennetyöntömitat ovat edullisia mittavälineitä, joiden mittausalue on 100–1000 mm. Rakennetyöntömittojen tarkkuus riittää täyttämään mittauslaitteelta vaaditun

tarkkuuden. Niitä on saatavilla absoluuttisella mittatiedolla, jonka saa tarvittaessa liitettyä kaapelin avulla muuhun näyttölaitteeseen tai sen voi lukea rakennetyöntömitan omasta näytöstä. Rakennetyöntömitat ovat helppoja asentaa erilaisiin soveluksiin. (Uudet tuotteet, 316–321.) Kuviossa 15 on rakennetyöntömitta.



KUVIO 15. Rakennetyöntömitta (Uudet tuotteet, 319)

Laseriin perustuvien mittauslaitteiden tarkkuus paranee oleellisesti, kun mittausalue lyhenee alueelle 100–1000 mm. Mittaavia laserantureita on olemassa pistemäiseen mittaukseen perustuvien lisäksi viivamaisen lasersäteen kolmiomittaamiseen perustuvia. Lyhyen mittausalueen omaavilla laserantureilla tarkkuudet ovat muutamia mikrometrejä, riippuen mittausalueesta.

Eräs vaihtoehto on myös rakentaa mittausrunko, jossa on tarkasti koneistettuja ja kalibroituja vastinpintoja eli referenssipisteitä niin lyhyin etäisyyksin, jotta pelkällä työstökeskuksen omalla mittausalueella voidaan listamainen tuote katkaista haluttuun pituuteen.

6 MITTAUSLAITTEEN VALINTA

6.1 Valintamenetelmä

Eri valmistajilta, maahantuojilta ja jälleenmyyjiltä saatiin tarjouksia ja tietoa erilaisista mittauslaitteenvaihtoehdoista. Pituuden mittaamiseen soveltuvat mittauslaitteenvaihtoehdot ominaisuuksineen on listattu liitteessä 4. Liitteessä ilmoitetut ominaisuudet mit-

mittauslaitetyypeille ovat yleisimpiä arvoja, jotka vaihtelevat valmistajakohtaisesti. Mittauslaittevalmistajien ja -maahantuojien tavat ilmoittaa mittauslaitteiden ominaisuuksia vaihtelevat myös suuresti, joten kaikista mittauslaitetyypeistä ei ole kaikkia tietoja saatavilla. Mittauslaitteet on nimetty niiden tyyppin perusteella ilman valmistajan, maahantuojan tai jälleenmyyjän tuotenimiä, tavaramerkkejä tai heidän antamiaan tarkkoja hintoja.

Mittauslaitteen valintaprosessi eteni vaiheittain. Ensin valittiin liitteestä 4 jatkoon sellaiset mittauslaitetyypit, jotka täyttivät taulukon 5 (s. 40) vaatimukset ja soveltuvat siten käyttöön. Toisessa vaiheessa jatkoon valittujen mittauslaitetyyppien valmistajien mallit laitettiin taulukkoon ja pisteytettiin. Lopullinen päätös tehtiin pisteytyksen pohjalta.

6.2 Mittauslaitetyyppien vertailu

Mittauslaittevaihtoehtojen taulukosta liitteessä 4 nähdään, että jokaisen mittauslaitetyypin käyttölämpötila on sopiva ja täyttää vaatimukset, mutta muissa ominaisuuksissa on eroja.

Mittauslaitteiden tarkkuudet sekä toistotarkkuudet vaihtelevat suuresti, kun mittausmatka L on mittauslaitteiden mittausalueen maksimipituus. Yleensä tarkkuus on ilmoitettu \pm -lukuna, mutta toinen tapa ilmoittaa se on prosenttilukuna mittauslaitteen koko mittausalueesta L , kuten vaijeri- ja nauha-antureissa on ilmoitettu. Näiden antureiden tarkkuus 12 metrin matkalla jää ± 6 mm:n tasolle. Laseretäisyysmittareille maahantuojat lupasivat ± 1 mm:n tarkkuuden, mutta valmistajien luetteloissa on ilmoitettu ± 3 mm:n tarkkuus. Magneettinauhujen ja lineaaristen mittanauhujen tarkkuudet täyttävät taulukon 5 vaatimuksen. Kaikkien mittauslaitteiden ja niihin liitettävien näyttölaitteiden erottelukyvyyt ovat lähellä toisiaan vaihdellen $10 \mu\text{m}$:stä $50 \mu\text{m}$:iin.

Lähtösignaaleja erityyppisillä mittauslaitteilla on analogisia sekä digitaalisia. Lähtösignaali tarkoittaa mittauslaitteen anturin antamaa signaalia näyttölaitteelle. Digi-

taallinen lähtösignaali soveltuisi paremmin konepajaolosuhteisiin kuin analoginen, sillä analoginen lähtösignaali saattaa häiriintyä konepajaolosuhteissa. Antureiden liikenopeudet ovat melko tasaisia kaikentyyppisillä mittauslaitteilla, ja laseriin perustuvilla mittauslaitteilla tällä ei ole merkitystä. Anturin liian nopea liike sekoittaa anturin antaman signaalin ja anturi on nollattava uudelleen. Mittauslaitteiden antureiden kotelointiluokat ovat korkeita ja vaihtelevat IP64:stä IP67:ään saakka. Lineaarimittanauhojen antureiden suojausluokka on matalampi, IP40.

Mittauslaitteen lämpölaajenemiskerroin vaikuttaa magneettinauhoihin, lineaarimittanauhoihin sekä nauha- ja vaijeriantureihin. Magneettinauhojen lämpölaajenemiskerroin on lähellä teräksen lämpölaajenemiskerrointa. Mittauslaitteiden lämpölaajenemiskerroin on riippuvainen asennuksesta ja rakenteista, joihin ne liitetään.

Jos mittausalue on 12 m, mittauslaitteen anturin kaapelin tulee myös olla vähintään 12 m pitkä, jotta mittatieto on siirrettävissä liikkuvasta anturista näyttölaitteeseen tai työstökoneen ohjaukseen. Laser-etäisyysmittalaitteiden vastinpinnat eivät tarvitse kaapelia. Nauha- ja vaijerianturit pysyvät paikallaan, joten niiden kaapelin pituudeksi riittää etäisyys anturin ja näyttölaitteen välillä. Useisiin 12 metriä mittaaviin mittauslaitteisiin niiden valmistaja tarjoaa vakiona lyhyen kaapelin sekä lisävarusteena eripituisia kaapeleita.

Kaikentyyppisistä mittauslaitteista saadaan mittatieto ulos ja liitettyä se näyttölaitteeseen, mutta liitteessä 4 on merkitty ne mittauslaitetyypit, joiden tarjouksien mukana tarjottiin myös saman valmistajan näyttölaitetta.

6.3 Käyttökohteeseen soveltuvat mittauslaitetyypit

Liitteen 4 mittauslaitetyypeistä voidaan moni jo sulkea pois niiden tarkkuuden perusteella. Tarkkuuden vaatimuksen $\pm 0,2$ mm täyttävät vain magneettinauhat ja lineaarimittanauhakäyttö sekä lyhyiden mittausalueiden mittauslaitteet. Opinnäytetyön toimeksiantajan edustajien kanssa päätimme, että jätämme jatkosta ja pisteytyksestä pois mittauslaitteet, joiden oma mittausalue ei ole täyttä 12:ta metriä.

Magneettinauhujen ja lineaaristen mittanauhujen mallit on eritelty valmistajien mukaan liitteissä 5 ja 6. Liitteiden taulukoihin on kerätty niiden ominaisuudet sekä toisiinsa nähden suhteellinen hinta. Eri valmistajat ja mallit on nimetty anonyymisti. Kaikkea tietoa ominaisuuksista ei kaikilta valmistajilta ole saatavissa. Liitteiden 5 ja 6 taulukoissa ilmoitetut tarkkuudet on yhdistetty mittauslaitteen nauhalle ja anturille luvatuista tarkkuuksista, joten todellisuudessa mittauslaitteiden tarkkuus voi olla parempikin. Lisäksi taulukoissa on ilmoitettu, onko mittauslaitteen antama mittatieto absoluuttista vai inkrementaalista sekä onko mittauslaite kytkettävissä saman valmistajan näyttölaitteeseen, jossa on virheen kompensointi. Virheen kompensoinnilla tarkoitetaan sitä, että mittaus- ja näyttölaite voidaan kalibroida sekä systemaattinen virhe kompensoida näyttölaitteessa.

6.4 Mittauslaitteen valinta

Mittauslaitevaihtoehdot liitteistä 5 ja 6 pisteytettiin asettamalla ominaisuuksille painoarvot sen mukaan, mitä listamaisen tuotteen pituuden mittaamisen kannalta pidettiin tärkeinä. Tämän jälkeen eri valmistajien mittauslaitteille annettiin pisteet asteikolla 0–1–2. Mittauslaitteille annetut pisteet on esitetty liitteessä 7. Painoarvojen asettaminen ja pisteytys suoritettiin palaverissa, jossa oli mukana useita opinnäytetyön toimeksiantajan edustajia.

Koska kaikki mittauslaitteet täyttivät 12 m:n mittausalueen, annettiin niille kaikille pisteiksi 2 painoarvolla 1.

Mittauslaitteiden tarkkuus, toistotarkkuus sekä erottelukyky pisteytettiin yhdistettynä. Koska tarkkuus on ratkaiseva tekijä, annettiin näille painoarvoksi 5. Vaadittuun tarkkuuteen tai sen alle pääsevä mittauslaite sai 2 pistettä ja välttävään tarkkuuteen yltävät 1 pisteen sekä epätarkimmat laitteet 0 pistettä. Erottelukyky on jokaisella pisteytystaulukon mittauslaitteella riittävä.

Lähtösignaali on oleellinen tieto näyttölaitteiden sekä mittauslaitteen muun liitettävyyden takia, joten sille annettiin painoarvo 4. Digitaalinen lähtösignaali sai 2 pistettä ja analoginen 1 pisteen.

Absoluuttinen tai inkrementaalinen mittatieto pisteytettiin vastaavasti pisteillä 2 ja 1 painoarvolla 3. Absoluuttinen mittatieto olisi parempi, mutta sovellukseen riittää myös inkrementaalinen mittatieto.

Anturin suurin sallittu liikenopeus pisteytettiin painoarvolla 2. Pisteytystaulukon mittauslaitteista suurimmat liikenopeudet sallivat mittauslaitteet saivat 2 pistettä sekä hitaammat ja hitaimmat nopeudet sallivat mittauslaitteet 1 ja 0 pistettä. Käyttösovelluksessa mittauslaitteen anturi tuskin ylittää niille sallittuja suurimpia nopeuksia, mutta se vaara on kuitenkin olemassa. Esimerkiksi liikuttaessa anturia kädellä voidaan saada lyhyellä matkalla suuri hetkellinen nopeus. Kiihtyvyyksillä ei mittauslaitteiden valmistajien ilmoittaman mukaan ole merkitystä mittauslaitteen toimintaan.

Anturin kotelointiluokka ja mittanauhan asennettavuus pisteytettiin painoarvolla 1 siten, että yli IP64 -kotelointiluokan suojauksen omaavat mittauslaitteet saivat 2 pistettä ja muut 1 pisteen.

Lämpölaajenemiskertoimen ollessa lähellä ruostumattoman teräksen lämpöpienenemiskerrointa annettiin mittauslaitteelle 2 pistettä. Jos lämpölaajenemiskerroin oli ilmoitettu, annettiin 1 piste ja muuten 0. Lämpölaajenemiskertoimen painoarvo pisteytystaulukossa on 1. Kaikkien mittauslaitteiden lämpölaajenemiskertoimeen vaikuttaa myös niiden asennus ja kiinnitysrakennelmat.

Anturin kaapelin pituutta painotettiin arvolla 1 siten, että 2 pisteen arvoiseen mittauslaitteeseen oli ainakin lisävarusteena saatavilla 12 metrin tai pidempi kaapeli. 1 pisteen sai, jos valmistaja ei ilmoittanut lisävarusteen saatavuudesta ja 0 pistettä sai, jos kaapelin pituutta ei ollut ilmoitettu ollenkaan.

Mittauslaitteen liitettävyyttä saman valmistajan näyttölaitteeseen ja virheen kompensointia pisteytettiin painoarvolla 3, koska Metson laatuosaston kalibroitilaitteilla

mittauslaite voidaan käytännössä tarkastaa ja näin ollen tehdä virheen kompensointi mittauslaitteen näytön ohjelmalla. 2 pistettä annettiin sellaisille mittauslaitteille, joiden valmistajan näyttölaitteessa oli virheen kompensointi mahdollisuus. 1 pisteen saivat laitteet, joilla ei virheen kompensointi mahdollisuutta ollut näyttölaitteissa.

Mittauslaitteiden pakettihinnat pisteytettiin myös painoarvolla 2. Suhteessa edulliset mittauslaitteet saivat 2 pistettä ja kalleimmat 1 pisteen. Ne mittauslaitteet, joista ei saatu hintatietoa selville, saivat 0 pistettä.

Pisteytystaulukon perusteella voidaan todeta, että listamaisen tuotteen pituuden mittaamiseen parhaiten soveltuva mittauslaite on lineaarimittanauha 1. Pisteytystaulukon painoarvojen takia suurimmaksi mahdolliseksi pistemääräksi tuli 48, joista lineaarimittanauha 1 sai 45 pistettä, eli 94 % maksimi pistemäärästä. Valinta listamaisen tuotteen pituuden mittauslaitteeksi on siis lineaarimittanauha 1, joka on esitetty kuviossa 16.



KUVIO 16. Lineaarimittanauha 1 (Exposed Linear Encoders 2011, 19)

Toiseksi parhaat pisteet sai lineaarimittanauha 2, saaden 42 pistettä eli 88 %. Magneettinauhoista pisteytyksessä parhaiten pärjäsivät numerot 1 ja 6. Magneettinauha 1 sai myös 42 pistettä, kuten lineaarimittanauha 2. Magneettinauha 6 jäi pisteen päähän magneettinauha 1:stä saaden 41 pistettä ja 85 %. Heikoimmin pisteytyksessä pärjäsivät magneettinauha 5 sekä lineaarimittanauha 3, johtuen suurelta osin vajaaksi jäädyistä tiedoista.

7 MITTAUSLAITTEEN SOVELTAMINEN KÄYTTÖÖN

7.1 Sovellusvaihtoehdot

Listamaisen tuotteen pituuden mittaukseen valitun mittauslaitteen sovelluksia käyttöön pohdittiin hyvin yleisellä ideatasolla ja niistä piirrettiin havainnollistavat kuvat. Mittauslaitteen toimintaperiaatetta kuvattiin erilaisissa sovelluksissa, mutta mittauslaitteen komponenttien asennuksia ja liittämistä toisiinsa ei kuvattu tarkasti. Opinnäytetyössä ei myöskään valittu parasta mittauslaitteen sovellusta käyttöön, vaan ainoastaan annettiin siihen ideoita sen toimintaperiaatteista.

Listamaisen tuotteen katkaisuun ja jatkojalostukseen käytettävää työstökeskusta ei vielä tämän opinnäytetyön aikana ehditty hankkia. Työstökeskus tulee kuitenkin toimimaan siten, että työstökeskuksen pöytä tekee korkeus- sekä pituusliikkeen ja koneen kara liikkuu vain syvyysuunnassa. Listamainen tuote on kiinnitettävä työstökeskuksen pöytään, mutta johtuen työstökeskuksen pöydän korkeusliikkeestä, on listamaisen tuotteen päästävä liikkumaan vapaasti ainakin 1,5 metrin etäisyydeltä kiinnityskohdasta. Listamaisen tuotteen on pystyttävä liikkumaan myös pituussuunnassa vapaasti pöydän liikkeiden mukaan.

Pituuden koneistamisen aikana työstökeskuksen kara on käännetty vaakatasoon, jolloin sen iskun pituus on 200 mm. Jyrsinterien pituus saattaa vaihdella terän vaihtojen välillä, joten työstökeskus ei tiedä terän kärjen sijaintia. Vaikka lineaarimittauhan antama mittatieto on absoluuttista, on se kuitenkin aina terän vaihdon yhteydessä käytävä nollaamassa.

Kaikkiin sovellusvaihtoehtoihin pätee, että mittauslaite tulisi kiinnittää tukevasti ja valmistajan ohjeiden mukaisesti sellaiseen rakenteeseen, joka olisi mielellään samaa materiaalia kuin itse mitattava tuote, eli ruostumatonta terästä. Tällöin lämpötilan muutoksesta johtuvia pituuden muutoksien aiheuttamien virheiden vaikutusta saataisiin pienennettyä. Rakenteen massalla on merkitystä lämpötilojen muutoksien

nopeuksiin, joten mitä suurempi rakenteen massa on, sitä hitaammin muuttunut lämpötila vaikuttaa mittauslaitteen antamaan mittaustulokseen. Myös teräksinen tai valurautainen rakenne ovat mahdollisia, mutta silloin mittaukseen vaikuttavat jo eri materiaalien lämpöpiteneiskertoimet. Eräs vaihtoehto on miettiä verstashallissa jo olevan valurautaisen oikaisutason hyödyntämistä tämän mittauslaitesovelluksen runkorakenteeksi. (Ropponen 2012)

Lineaarimittanauhan anturilla on valmiiksi jo nauhan ympärillä johteet, joita pitkin liikkua, mutta anturi tarvitsee kuitenkin ympärilleen rakennelman, jossa on vastinpinta. Lineaarimittanauhan omat johteet eivät kestä kovin raskasta vastinpintarakennelmaa, joten anturi saattaa tarvita jäykemmät johteet, jotka on valmistettu esimerkiksi alumiiniprofiilista. Myös lineaarimittanauhan sijainti listamaiseen tuotteeseen nähden vaikuttaa vastinpintarakennelman ratkaisuun.

Listamaista tuotetta kuljetetaan ja varastoidaan alumiiniprofiilista valmistetussa kourussa. Mittauslaitteen anturikelkka ja vastinpinta tulee suunnitella siten, että listamainen tuote voi mittauksen ajan olla alumiinikourussa käsittelyn helpottamiseksi.

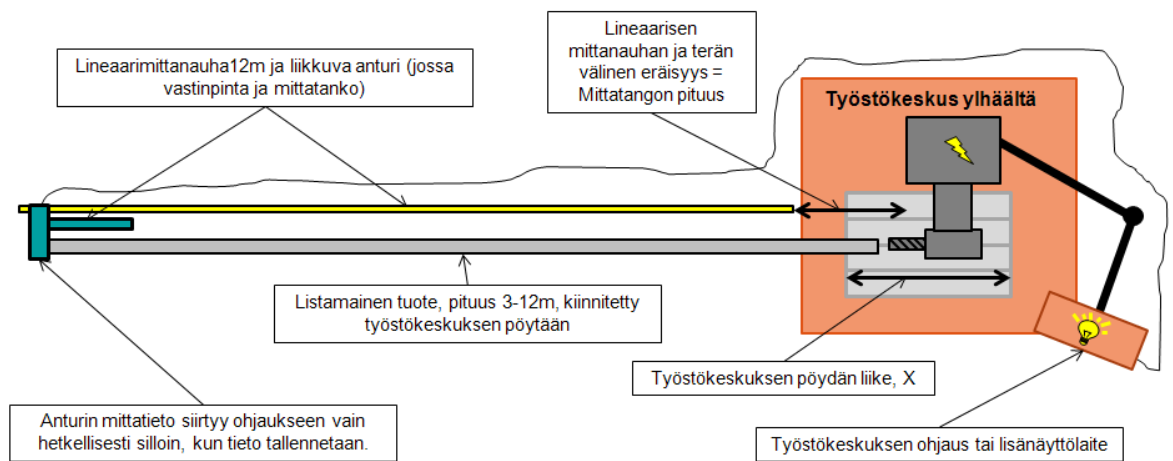
Lineaarimittanauhan kotelointiluokka on IP40, eli se on suojattu vain pienhiukkasilta, mutta se ei ole pölytiivis eikä mitenkään suojattu vedeltä. Mittauslaite tarvitsee siis konepajaolosuhteisiin riittävän suojauksen ympärilleen.

Lineaarimittanauha tulisi saattaa kalibroinnin piiriin ja koneistaa kyseiseen sovellukseen testimittasauva, eli käyttönormaali, jolla voitaisiin mittauslaitteen näyttämän oikeellisuus tarkistaa tarvittaessa. Suositeltava kalibrointijakso lineaarimittanauhalle olisi 12–24 kk. (Esala ym. 2003, 55.)

7.2 Mittauslaite yhdistettynä työstökeskukseen

Ensimmäisessä sovellusideassa lineaarimittanauha ja sen antama mittatieto on liitetty työstökeskukseen, kuten kuviossa 17 on esitetty. Koska työstökeskuksen pöytä liikkuu korkeussuunnassa, täytyy listamaisen tuotteen mittaus suorittaa silloin, kun

pöytä on samassa tasossa mittauslaitteen sekä listamaisen tuotteen tuennan kanssa. Tällöin lineaarimittanauhan tulee ulottua mahdollisimman lähelle työstökeskuksen pöytää. Mittauslaitteen antama mittatieto on kytketty joko suoraan työstökeskuksen ohjaukseen tai lisänäyttölaitteeseen.



KUVIO 17. Listamaisen tuotteen pituuden mittaaminen yhdistettynä työstökeskukseen

Listamaisen tuotteen katkaisussa aluksi koneistetaan tuotteen toinen pää suoraksi, jonka jälkeen tuote käännetään ja mitataan rullamitalla katkaisukohta 5–10 mm:n tarkkuudella. Listamaiselle tuotteelle tehdään karkea katkaisu siihen parhaiten soveltuvalla tavalla, esimerkiksi vannesahalla. Tämän jälkeen listamainen tuote asetetaan telinerakennelmaan, jonka yhteydessä myös mittauslaite on, ja tuotteen toinen pää kiinnitetään työstökeskuksen pöytään. Listamaisen tuotteen kiinnitys tulee toteuttaa siten, että tuotteen vaadittu todellinen pituus on työstökeskuksen omalla mittaus- ja koneistusalueella. Tässä vaiheessa, kun työstökeskuksen terä ei kosketa listamaisen tuotteen päätä, suoritetaan mittaus.

Jotta lineaarimittanauhan ei tarvitsisi liikkua työstökeskuksen pöydän mukana, on anturin ympärille rakennettavaan liikkuvaan kelkkaan yhdistettävä joko kiinteä tai irrotettava mittatanko. Mittatanko on ruostumatonta terästä ja sen pituus on tarkasti toleroitu ja koneistettu. Mittatanko voi esimerkiksi olla 500 mm:ä pitkä, jolloin lineaarimittanauhan pään ja työstökeskuksen terän välinen etäisyys voi olla enintään

500 mm:ä. Mittatangon mitoituksessa tulee kuitenkin ottaa huomioon se, että työkeskuksen terien pituudet saattavat vaihdella. Mittatangon tulee olla riittävän pitkä, jotta mittauslaite on nollattavissa myös lyhyisiin teriin.

Lineaarimittanauhan anturi nollataan mittatangon avulla siten, että liikuteltava anturikelkka siirretään lineaarimittanauhan päähän tai lähelle sitä ja mittatanko asetetaan paikalleen. Mittatangon toinen pää painetaan työkeskuksen terää vasten ja toinen pää on kelkassa kiinni, jolloin mittauslaitteen antamaksi mittatiedoksi asetetaan 0. Työstökoneen ohjelma tai lisänäyttölaitte tietää kuitenkin, että nollakohdassa mittauslaitteen näyttämä on mittatangon verran, esimerkiksi 500 mm. Mittatanko voidaan nollauksen jälkeen irrottaa. Lineaarimittanauhan pituudeksi riittää alle 12 m, vaikka sillä mitattaisiin 12 m:n pituisia listamaisia tuotteita.

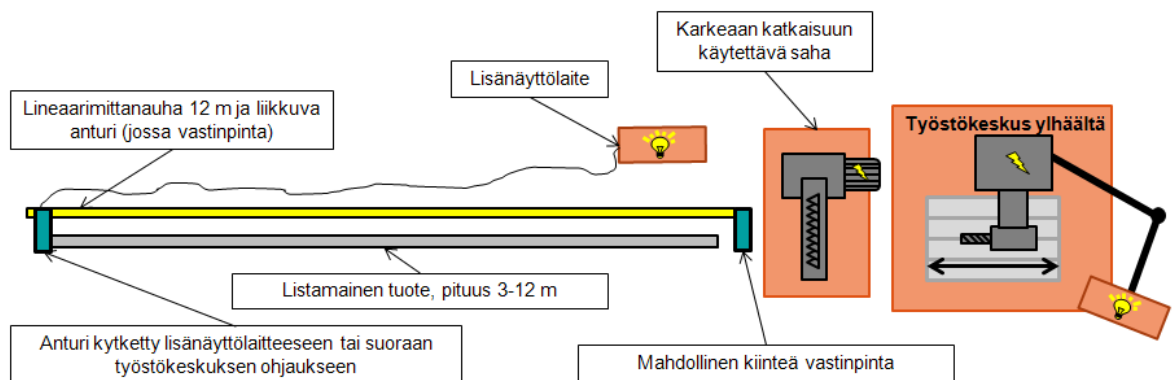
Nollauksen jälkeen anturikelkka viedään toiseen päähän listamaista tuotetta ja sen vastinpinta painetaan tuotteen päätä vasten. Mittatangon ja vastinpinnan nollakohdian paikan tulee olla sama, eli vastinpinta on siinä kohdassa kelkkaa, johon mittatanko päättyy. Toisessa päässä listamaista tuotetta ei siis mittatankoa tarvita. Vastinpinnan ollessa listamaisen tuotteen päässä kiinni, annetaan työkeskuksen ohjaukselle tai lisänäyttölaitteelle napin painalluksella käsky tallentaa mittauslaitteen antama mittatieto. Tällöin on tiedossa etäisyys työkeskuksen terän kärjestä listamaisen tuotteen päähän saakka. Mittatiedon tallennuksen jälkeen anturikelkkaa voidaan liikuttaa alta pois, ettei listamainen tuote törmää siihen koneistuksen alkaessa. Mittatieto ei kuitenkaan ohjelmassa enää muutu, sillä se tallentaa vain hetkellisen halutun arvon mittauslaitteelta.

Seuraavaksi annetaan työkeskuksen ohjelmalle tai lisänäyttölaitteelle listamaisen tuotteen vaadittu pituus piirustuksesta. Ohjelma laskee näiden kahden pituuden mittatiedon avulla, kuinka paljon listamaisen tuotteen päästä täytyy koneistaa pois, jotta ollaan vaaditussa pituudessa. Koska työkeskuksen terä ei vielä kosketa tuotteen päätä, voidaan terä ajaa manuaalisesti siihen kiinni ja laittaa koneistusohjelma päälle. Ohjelma ottaa kaiken pituussuuntaisen liikkeen huomioon omalla mittaus- ja iskupituudellaan. Näin syntyy vaaditun mittainen listamainen tuote valmiina jatkojalostukseen.

Listamaisen tuotteen pituus saattaa määräytyä myös mittasauvan mukaan, jolloin ensin tulee suorittaa mittasauvan mittaus. Se tapahtuu vastaavasti kuin listamaisen tuotteen mittauskin, mutta mittauslaitteen nollaamisen jälkeen mittasauva asetetaan kiinni työstökeskuksen terään. Tämän jälkeen anturikelkka siirretään toiseen päähän mittasauvaa ja tallennetaan mittatieto ohjelmaan. Tämä on siis haluttu pituus listamaiselle tuotteelle, jonka jälkeen täytyy tuotteen mittauksen vaiheet toistaa ja koneistaa se oikean mittaiseksi.

7.3 Pituuden mittaaminen erillään työstökeskuksesta

Toinen sovellusidea on listamaisen tuotteen mittaaminen työstökeskuksesta erillään kuvion 18 mukaisesti. Mittaus suoritetaan pöytätason päällä, jossa listamainen tuote on tuettuna ja suorassa. Tuote myös kiinnitetään pöytätasoon mittaamisen ajaksi. Lineaarimittanauhan pituus on oltava vähintään 12 m.



KUVIO 18. Listamaisen tuotteen pituuden mittaaminen erillään työstökeskuksesta

Listamaisen tuotteen toinen pää koneistettaisiin suoraksi ja tuotteelle tehdään rullamitalla mitaten karkea katkaisu 5–10 mm:n päähän todellisesta, halutusta pituudesta. Karkean katkaisun jälkeen tuotteen pään tulee olla riittävän suora, jotta sitä vasten painetun vastinpinnan avulla saa luotettavan mittatiedon.

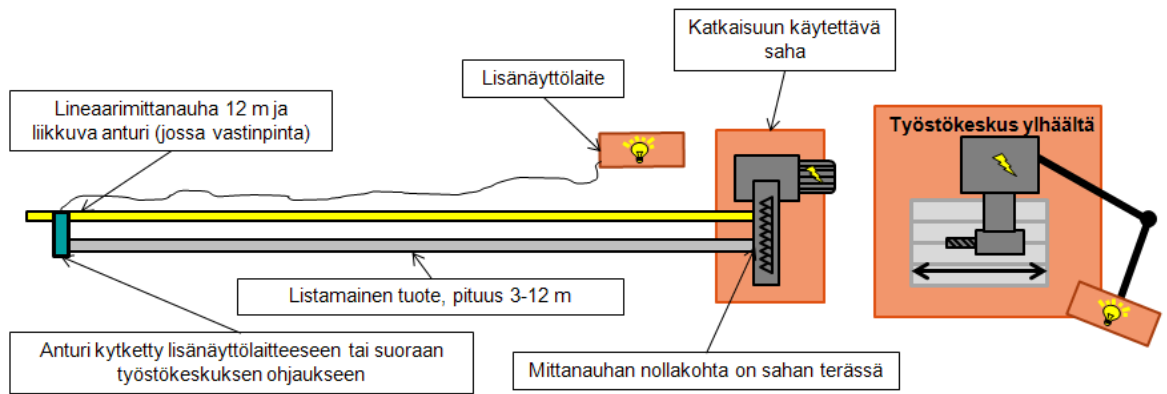
Lineaarimittanauhan anturin ympärillä tulee olla kelkkarakennelma, jossa on yksi vastinpinta. Vastinpinta nollataan listamaisen tuotteen suoraksi koneistettuun päähän ja kelkka viedään toiseen päähän. Tuotteen toisesta päästä saadaan sen hetkinen pituus listamaisesta tuotteesta. Toinen vaihtoehto on, että listamaisen tuotteen suoraksi koneistettu pää painetaan kiinteää vastinpintaa vasten, jota vasten myös mittauslaite on nollattu. Tällöin liikkuva anturikelkka siirretään ainoastaan tuotteen toiseen päähän ja sen pituus saadaan selville.

Tämän jälkeen listamainen tuote siirretään ja kiinnitetään työstökeskuksen pöydälle. Mittauslaitteen antama mittatieto saadaan luettua joko suoraan työstökeskuksen ohjelmasta tai lisänäyttölaitteelta, jolloin se täytyy koneistajan puolesta kirjoittaa työstökeskuksen ohjelmaan. Ohjelmalle kerrotaan myös listamaisen tuotteen haluttu pituus, jolloin ohjelma laskee mittatietojen erotuksen. Koneistus haluttuun pituuteen tapahtuu koskettamalla asetusajolla terä listamaisen tuotteen päähän ja antamalla ohjelmalle tuotteen nollakohta siihen. Tämän jälkeen koneistusohjelma koneistaa listamaisen tuotteen oikeaan pituuteen.

Mittasauvan määrittäessä listamaisen tuotteen pituus, mitataan lineaarimittanauhalla ensin mittasauvan pituus ja asetetaan se työstökeskuksen ohjelmaan tuotteen halutuksi pituudeksi. Tämän jälkeen toistetaan listamaisen tuotteen karkea katkaisu, mittaus sekä koneistaminen edellä kuvatulla tavalla.

7.4 Mittauslaite yhdistettynä katkaisusahaan

Kolmas sovellusidea on yhdistää lineaarimittanauha listamaisen tuotteen katkaisuun erikseen käytettävään vanne- tai timanttilaikkasahaan, kuten kuviossa 19 on esitetty. Sahalla siis katkaistaan tuote suoraan halutun mittaiseksi ja työstökeskusta käytetään vain tuotteen jatkojalostamisen vaiheisiin. Lineaarimittanauhan pituus on oltava tässäkin sovelluksessa vähintään 12 m:ä, kun mitataan 12 m:n pituisia listamaisia tuotteita.



KUVIO 19. Listamaisen tuotteen pituuden mittaaminen yhdistettynä katkaisusahaan

Lineaarimittanauhan anturi ja sen kelkka vastinpintoineen nollataan sahan terään. Listamainen tuotteen toinen pää on katkaistu sahalta suoraksi, jota vasten anturikelkan vastinpinta laitetaan. Listamainen tuote siirretään mittauslaitteen antaman lukeman avulla kohdalleen ja katkaisu toteutetaan.

Mittasauva täytyy ensin mitata asettamalla se sahan terää vasten ja viemällä anturikelkan vastinpinta mittasauvan toista päätä vasten. Mittasauvan pituuden lukema tallennetaan näyttölaitteeseen, jonka avulla listamainen tuote katkaistaan mittasauvan pituuteen.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa erilaisia mittauslaitteita, joilla pystyttäisiin mittaamaan jopa 12 m:n pituinen listamainen tuote riittävän tarkasti. Käyttöön soveltuvat mittauslaitteevaihtoehdot valittiin jatkoon ja pisteytyksen perusteella tehtiin lopullinen valinta mittauslaitteeksi.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin ja erilaisia mittauslaitteita löytyi useita, joista ei kuitenkaan kovin monta olisi voitu soveltaa listamaisen tuotteen pituuden mittamiseen. Useissa mittauslaitteissa sovelluksen esteeksi tuli niiden tarkkuus, vaikka

muiden ominaisuuksiensa puolesta ne olisivat saattaneet olla käytännössä kätevämpiäkin kuin tämän opinnäytetyön lopullinen valinta mittauslaitteeksi.

Listamaisen tuotteen nykyisessä mittaus- ja katkaisumenetelmässä vaikuttavista mitatausepävarmuuksista ei testattu muita kuin verstashallin yleistä lämpötilaa, joten ne ovat vain teorian ja käytännön havaintojen perusteella tehtyjä arvioita. Niiden perusteella kuitenkin näkee, kuinka moni asia vaikuttaa mittaustulosten luotettavuuteen.

Opinnäytetyön aikana laadittiin mittauspöytäkirjapohja verstashallin sisälämpötilan mittauksia varten, mitä tuotanto-osastolla voidaan hyödyntää myös jatkossa eri vuodenaikoina. Mittauspöytäkirja sisältää tarkat ohjeet mittauksien suorittamiseksi, joten se on toistettavissa ja tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia.

Koska listamaisen tuotteen katkaisuun käytettävää työstökeskusta eikä valittua lineaarimittanauhaa vielä tämän opinnäytetyön aikana ehditty hankkia, ei mittauslaite-sovelluksia päästy käytännössä kokeilemaan. Mittauslaitteen sovellusideat vaativat lisäksi monien asioiden selvitystä ja yksityiskohtaista suunnittelua.

Mittauslaitteen yhdistäminen suoraan työstökeskuksen ohjelmaan olisi käytön kannalta kätevämpi, oli mittaustapa sitten yhdistettynä työstökeskukseen tai erillään siitä. Tämä ehkäisisi koneistajien näppäilyvirheen mahdollisuutta. Jos mittalukema täytyy siirtää manuaalisesti lisänäytöstä työstökeskuksen ohjelmaan, saattaa siitä aiheutua isoja virheitä. Lineaarimittanauha on todennäköisesti yksinkertaisempi ja edullisempi yhdistää saman valmistajan lisänäyttölaitteeseen kuin työstökeskuksen ohjelmaan.

Lineaarimittanauhan ja listamaisen tuotteen runkorakenteiden kannalta mittauksen suorittaminen erillään työstökeskuksesta olisi yksinkertaisempi toteuttaa. Tällöin tuotteen karkeaan katkaisuun pystyisi tilan puolesta helpommin käyttämään esimerkiksi vannesahaa, joka myös helpottaisi listamaisen tuotteen valmistusprosessia. Työstökeskus, mittauslaite ja karkeaan katkaisuun käytettävä sahauslaite on hyvä sijoittaa mahdollisimman lähelle toisiaan, jotta listamaisen tuotteen käsittely on helppoa. Erillään olevaa mittauslaitetta voidaan tarvittaessa käyttää muidenkin vas-

taavien tuotteiden pituuden mittaamiseen. Mittauslaitteen yhdistäminen suoraan listamaisen tuotteen katkaisuun käytettävään sahaan ei ole käytännöllinen ratkaisu mittasauvojen takia.

Mittauslaitesovelluksen tarkkuuden pystyy tarkastamaan vasta, kun työstökeskus on hankittu ja mittauslaitteisto rakenteineen toteutettu. Valmistajan ilmoituksen mukaan lineaarimittanauhan tarkkuus on $\pm 0,005$ mm, eli se täyttää tarkkuuden vaatimuksen helposti.

Mittauslaitteen suunnittelemisessa ja soveltamisessa käyttöön tulee ottaa monia asioita huomioon, jotta sovelluksen mittausepävarmuus olisi kustannuksien kannalta optimaalinen. Kalibroimalla mittauslaitesovellusta sen mittausepävarmuus saadaan kyllä selville. Tämän opinnäytetyön pohjalta on hyvä suunnitella pituusmittalaitteen käytännön sovellus.

LÄHTEET

Andersson, P. & Tikka, H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoo: WSOY.

Arvonen, M. 2012. Quality Specialist. Metso Paper Oy. Useita haastatteluja 1/2012–4/2012.

Asema-anturit. 2006. Pdf-tiedosto. SKS Group Oy:n internet-sivut. Viitattu 16.3.2012. [http://www.sks.fi/download/sks_novotechnik_asema-anturit/\\$file/NOVOtechnikasema_anturit1064011_260606.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_novotechnik_asema-anturit/$file/NOVOtechnikasema_anturit1064011_260606.pdf)

Distance sensors -the complete product portfolio. 2008. Pdf-tiedosto. Sick AG:n internet-sivut. Viitattu 16.3.2012. <https://www.mysick.com/saqqara/im0031607.pdf>

Esala, V-P., Lehto, H. & Tikka, H. 2003. Konepajatekniset mittaukset ja kalibroinnit. Helsinki: Teknologian ja Teknova.

Exposed Linear Encoders. 2011. Pdf-tiedosto. Heidenhain Scandinavia AB:n internet-sivut. Viitattu 13.3.2012. http://www.heidenhain.fi/fi_FI/palvelut-ja-dokumentit/dokumentit/esitteet/popup/media/media/show/view/file-0435/

Feedback scales for NC machine tools -General Catalog. 2011. Pdf-tiedosto. Magscale Co.:n internet-sivut. Viitattu 12.3.2012. http://www.mgscale.com/mgs/product/catalog/FeedbackScale_en.pdf

FINAS -Suomen kansallinen akkreditointielin. n.d. Mittatekniikan keskuksen internet-sivut. Viitattu 7.3.2012. <http://www.mikes.fi/>, FINAS.

Hokkanen, H. 2012. NC-ohjelmoija. Metso Paper Oy. Useita haastatteluja 1/2012–4/2012.

Jurvelin, J. 2011. Tutkimuksen viitekehys. Luentomateriaali. Pdf-tiedosto. Viitattu 17.2.2012. <http://www.jamk.fi/opiskelijoille>, Optima.

Katalogi. 2008. Pdf-tiedosto. Linna Traden internet-sivut. Viitattu 13.3.2012. http://www.linnatrade.fi/documents/givimisure_katalogo_suomi_pieni.pdf

Konepajan mittaustekniikka. 1987. Suomen metalliteollisuuden keskusliitto. Julkaisu 5/87. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Laserscale General Catalog. 2011. Pdf-tiedosto. Magnetscale Co.:n internet-sivut. Viitattu 12.3.2012. http://www.mgscale.com/mgs/product/catalog/Laserscale_en.pdf

Magneettinauha-antureiden käyttö. 2007. Pdf-tiedosto. SKS Group Oy:n internet-sivut. Viitattu 12.3.2012. [http://www.sks.fi/download/sks_aut_sovell_asema_etaisyys_nopeus/\\$file/A111-0017_210307.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_aut_sovell_asema_etaisyys_nopeus/$file/A111-0017_210307.pdf)

Metrologia. 2011. Mittatekniikan keskuksen Internet-sivut. Viitattu 7.3.2012. <http://www.mikes.fi/>, metrologia.

Metson yleisesitys. 2012. Pdf-tiedosto. Mesto Oyj:n internet-sivut. Viitattu 8.4.2012. [http://www.metso.com/corporation/about_eng.nsf/WebWID/WTB-080921-2256F-817B2/\\$File/metso-general-presentation-FINNISH.pdf](http://www.metso.com/corporation/about_eng.nsf/WebWID/WTB-080921-2256F-817B2/$File/metso-general-presentation-FINNISH.pdf)

Metso: vuosikertomus 2011. 2012. Pdf-tiedosto. Mesto Oyj:n internet-sivut. Viitattu 14.3.2012. [http://www.metso.com/corporation/ir_eng.nsf/WebWID/WTB-120307-2256F-8A137/\\$File/metso_annual_report_2011_finnish.pdf](http://www.metso.com/corporation/ir_eng.nsf/WebWID/WTB-120307-2256F-8A137/$File/metso_annual_report_2011_finnish.pdf)

Mittaavat laserit. n.d. Pdf-tiedosto. Movetec Oy:n internet-sivut. Viitattu 16.3.2012. <http://www.movetec.fi/tuotteet-sahkoinen/optiset-anturit-ja-mittalaitteet/mittaavat-laserit>

Optinen etäisyysmittaus Leuze. 2010. Pdf-tiedosto. SKS Group Oy:n internet-sivut. Viitattu 16.3.2012. http://www.sks.fi/tuotteet/optinen_etaisyys_leuze

Posiware -cable actuated position sensors WS. 2011. Pdf-tiedosto. ASM Co.:n internet-sivut. Viitattu 14.3.2012. http://www.asmsensor.com/asm/pdf/pro/ws_kat_en.pdf

Rautpohjan yleisesittely. 2010. Viitattu 14.3.2012. Metson intranet.

Ropponen, P. 2012. Quality Specialist. Metso Paper Oy. Haastattelu 7.2.2012.

Saxholm, S., Hemming, B., Esala, V-P. & Palosuo, I. 2010. Standardien hyödyntäminen teollisuuden mittauksissa -Loppuraportti. Julkaisu 2/2010. Espoo: Mittatekniikan keskus.

SFS 3700. 1998. Metrologia. Perus- ja yleistermien sanasto. 3. p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 28.2.2012. [Http://www.jamk.fi/kirjasto, Nelli-portaali, SFS Online.](Http://www.jamk.fi/kirjasto,Nelli-portaali,SFSOnline)

Uudet tuotteet. n.d. Pdf-tiedosto. Teräskonttori Oy:n internet-sivut. Viitattu 13.3.2012. [http://www.teraskonttori.fi/easydata/customers/teraskonttori/files/mittausvalineet /Mitutoyo_luettelo_314-329.pdf](http://www.teraskonttori.fi/easydata/customers/teraskonttori/files/mittausvalineet/Mitutoyo_luettelo_314-329.pdf)

Vaijeriantureiden käyttö. 2010. Pdf-tiedosto. SKS Group Oy:n internet-sivut. Viitattu 14.3.2012. [http://www.sks.fi/download/sks_aut_sovell_asema_etaisyys_nopeus/\\$file/A111-0016_061010.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_aut_sovell_asema_etaisyys_nopeus/$file/A111-0016_061010.pdf)

Vilkka, H. 2006. Tutki ja havainnoi. Vaajakoski: Gummerus Kirjapaino.

Yleistä MIKESistä. n.d. Artikkel. Mittatekniikan keskuksen internet-sivut. Viitattu 7.3.2012. <http://www.mikes.fi/>, yleistä MIKESistä.

LIITTEET

Liite 1. Listamaisen tuotteen nykyisen mittaamisen mittausepävarmuudet

Virhelähde	Virhetyyppi	Arvioitu vaikutus
Listamainen tuote		
Taipumat	Systemaattinen virhe	±0,1 mm
Epäpuhtaudet/purseet	Karkea virhe	Ei vaikutusta
Lämpeneminen koneistettaessa	Systemaattinen ja satunnainen virhe	Ei vaikutusta
Lämpötila muu kuin 20 °C	Systemaattinen ja satunnainen virhe	
1°C:n nousu 12 m:n tuotteessa		±0,07 mm
Mittauslaite		
Työstökoneen mittaus/työstötarkkuus	Systemaattinen virhe	±0,05 mm
Mittasauvan suoruus & taipumat	Systemaattinen virhe	
Mittausvoima	Systemaattinen virhe	
Mittausolosuhteet		
Lämpötila muu kuin 20 °C	Systemaattinen ja satunnainen virhe	
Värähtelyt	Systemaattinen ja satunnainen virhe	
Mittaaja		
Työstökoneen näyttölaitteen nollaminen tuotteen päähän paranellin avulla	Systemaattinen ja satunnainen virhe	±0,1 mm
Karkea lukemisvirhe	Karkea virhe	
Vaikutus katkaisukoneistuksessa yhteensä $U=u_r+u_s$:		0,64 mm / ±0,32 mm
Tarkastajat		
Mittanauhan tarkkuus	Systemaattinen ja satunnainen virhe	±0,15 mm

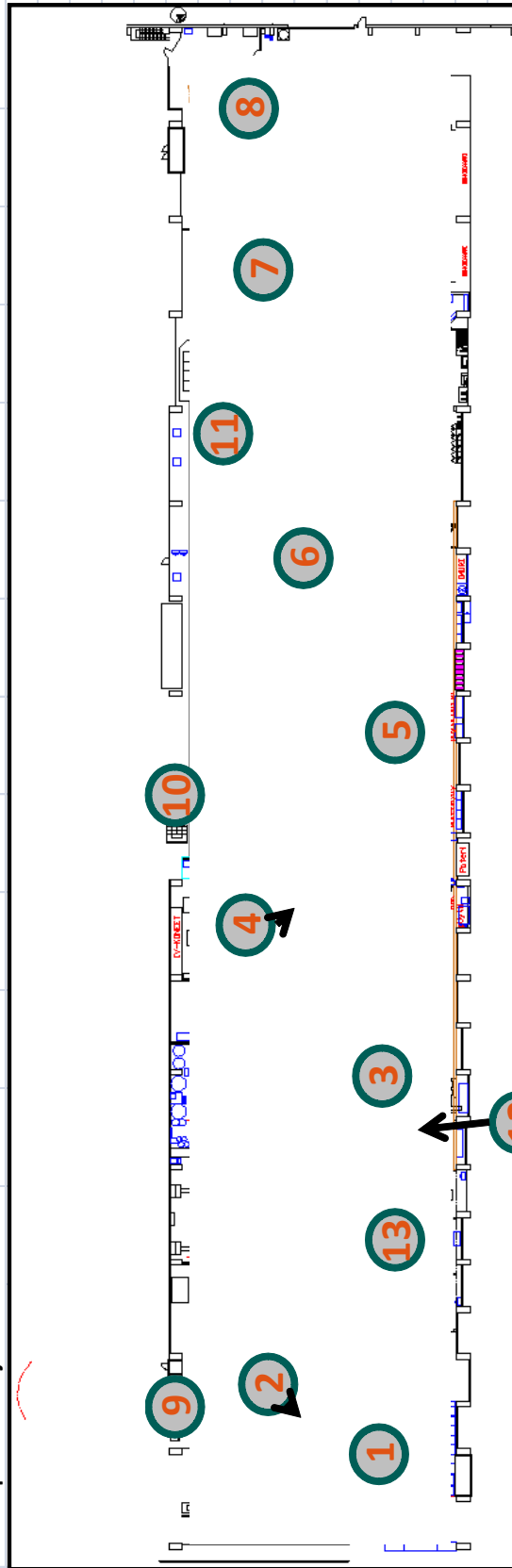
Liite 2. Lämpötilan mittauspöytäkirja vk 8/2012

Mittauspöytäkirja Viikko 8/2012	Mittauksessa käytetty laite:	Thermocouple thermometer Delta OHM HD 2108.1, tarkkuus ± 0,05°C									
	Maanantai ap 20.2.2012	Mittaus ajankohta:									
	Tiistai ap 21.2.2012										
	7:50 - 9:10	9:50 - 10:40									
	-0,2	0,2									
Kello:											
Ulkolämpötila [°C]:											
		Mittauspaikkojen lämpötila, ka. [°C]:									
		Kappale	Ilma	Kappale	Ilma	Kappale	Ilma	Kappale	Ilma	Kappale	Ilma
1		20,8	21,3	20,0	18,8						
2		21,0	20,9	20,3	18,8						
3		20,9	20,2	20,1	19,5						
4		21,4	20,5	20,3	19,7						
5		21,5	21,0	20,4	19,9						
6		21,2	21,0	20,1	19,8						
7		20,6	19,5	20,1	20,0						
8		21,2	21,2	20,3	19,9						
9		22,0	21,4	21,3	20,6						
10		22,3	21,7	21,2	20,3						
11		20,9	21,2	20,3	19,6						
12		21,2	20,9	20,7	20,2						
13		21,0	20,4	21,0	20,5						
Toteutus:											

- Lämpötilanmittaus suoritetaan kosketusmittarilla verstaalla olevien valmistettävien kappaleiden pinnasta, jotka ovat lähellä mittauspisteiden sijaintia. Samoista mittauspisteistä otetaan samalla mittarilla ilman sen heikkinen lämpötila. Ulkolämpötila luetaan verstaashallin päässä olevasta ulkomittarista.
- Kappaleiden, joiden pinnasta lämpötila mitataan, lämpötilan on ehdittävä tasaantua riittävän kauan, että ne ovat varmasti tasalämpöisiä ilman kanssa. Eli mittaus ei suoriteta juuri ulkoa sisälle tuoduista kappaleista.
- Mittauspisteet 9 ja 10 mitataan korkeammalta, HMC-3:n sähkökaappien tasolta ja 2- ja 3-hallin välisten portaiden yläpäästä. Mittauskohde on jokin materiaali/runkopilari. Mittauspiste 11 mitataan lattiatason alapuolelta Skodalinjän johdemonstusta, johteiden kyljestä.
- Mittauspiste 12 mitataan ylemmän taukotuvan edustalta ja piste 13 on kärkilistapaterin sisätilan mittaus.
- Jokaiseen mittauspisteeseen tehdään kappaleiden osalta 5 mittaus, ja niistä laskeaan keskiarvo. Mittauspöytäkirjapohjat ovat sivuilla 3-5.
- Mittaukset suoritetaan yhden viikon aikana, maanantai, keskiviikko ja perjantai aamu- sekä iltapäivisin. Mittaukset suorittaa sama henkilö.
- Mittauspöytäkirjaan kirjataan ylös näkyvät arvot sekä mittauspisteiden osalta korkeus ja kyseinen kappale, minkä pinnasta tulos on otettu.

Mittauspisteet													
Mittauspisteen nro:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Korkeus lattia-rajasta [mm]	1000	800	500	500	1000	1000	300	500	4000	5500	-1000	3500	1000
Mittauskohde													

Mittauspisteiden sijainnit kartalla:



Huomioita:

- Kosketuslämpömittari lainattu kalibroinnista
- **Maanantai 20.2.2012:** Piste 7 vieressä käytävällä oli ulkoa tuotu kasetti. Mitattiin myös LP-20:n toimistojen puolen pöytä 300mm:n korkeudelta, sen tulokset: ilma 21,15°C ja pöydän ka.: 21,35°C (huom. vertaa pisteen 7 tuloksiin)
- **Tiistai 21.2.2012:** Verstashallin toimistojen puoleiseen päähän tuli ulkoa kylmää ilmaa mittauksen aikana, ovi oli auki uudisrakennuksen suunnalla. LP-20 johdesuojien seinän puoleinen kylki: +20,30°C ja käytävän puoleinen kylki +19,35°C (mittauspiste 11).

Liite 3. Lämpötilan mittauspöytäkirja vk 10/2012

Mittauspöytäkirja	Mittauksessa käytetty laite:	Thermocouple thermometer Delta OHM HD 2108.1, tarkkuus ± 0,05 °C											
Viikko 10 / 2012													
		Mittaus ajankohta:											
	Maanantai ap 5.3.2012	Keskiviikko 7.3.2012				Perjantai ap 9.3.2012							
Kello:	8:20 - 9:20	11:25 - 12:00				9:45 - 10:15							
Ulkolämpötila [°C]:	-9,9	-3,2				-4,1							
		Mittauspaikkojen lämpötila, ka. [°C]:											
		Kappale	Ilma	Kappale	Ilma	Kappale	Ilma	Kappale	Ilma	Kappale	Ilma	Kappale	Ilma
1		20,1	20,8	20,4	20,8	20,3	20,5	20,3	20,5	20,3	20,5	20,3	20,5
2		20,7	20,4	20,5	20,7	20,0	20,5	20,0	20,5	20,0	20,5	20,0	20,5
3		20,9	20,3	20,4	20,5	20,2	20,1	20,2	20,1	20,2	20,1	20,2	20,1
4		21,2	20,4	20,4	20,5	20,2	20,0	20,2	20,0	20,2	20,0	20,2	20,0
5		21,5	20,7	20,8	20,4	20,6	20,2	20,6	20,2	20,6	20,2	20,6	20,2
6		21,2	20,8	20,6	20,6	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2
7		21,2	21,2	19,5	20,5	19,4	17,7	19,4	17,7	19,4	17,7	19,4	17,7
8		21,1	21,0	20,2	20,0	19,3	19,4	19,3	19,4	19,3	19,4	19,3	19,4
9		22,1	21,7	21,5	20,8	21,1	20,6	21,1	20,6	21,1	20,6	21,1	20,6
10		21,8	21,1	21,4	21,0	21,1	20,7	21,1	20,7	21,1	20,7	21,1	20,7
11		20,7	20,8	20,1	19,1								
12		20,8	20,2	20,7	20,8	20,3	20,0	20,3	20,0	20,3	20,0	20,3	20,0
13		20,9	20,3	20,9	20,6	20,8	20,5	20,8	20,5	20,8	20,5	20,8	20,5
Toteutus:	<p>- Lämpötilanmittaus suoritetaan kosketusmittarilla verstaalla olevien valmistettävien kappaleiden pinnasta, jotka ovat lähellä mittauspisteiden sijaintia. Samoista mittauspisteistä otetaan samalla mittarilla ilman sen hetkinen lämpötila. Ulkolämpötila luetaan verstaahallin päässä olevasta ulkomittarista.</p> <p>- Kappaleiden, joiden pinnasta lämpötila mitataan, lämpötilan on ehdittävä tasaantua riittävän kauan, että ne ovat varmasti tasalämpöisiä ilman kanssa. Eli mittaus ei suoriteta juuri ulkoo sisälle tuoduista kappaleista.</p> <p>- Mittauspisteet 9 ja 10 mitataan korkeammalla, HMC-3:n sähkökaappien tasolta ja 2- ja 3-hallin välisten portaiden yläpäästä. Mittauskohde on jokin materiaali/runkopilari. Mittauspiste 11 mitataan lattiatason alapuolelta Skodalinjän johde montusta, johteiden kyljestä.</p> <p>- Mittauspiste 12 mitataan ylempään taikotuvan edustalta ja piste 13 on kärkiistapaterin sisätilan mittaus.</p> <p>- Jokaiseen mittauspisteeseen tehdään kappaleiden osalta 5 mittausa, ja niistä laskeaan keskiarvo. Mittauspöytäkirjapohjat ovat sivuilla 3-5.</p> <p>- Mittaukset suoritetaan yhden viikon aikana, maanantai, keskiviikko ja perjantai aamu- sekä iltapäivisin. Mittaukset suorittaa sama henkilö.</p> <p>- Mittauspöytäkirjaan kirjataan myös näkyvät arvot sekä mittauspisteiden osalta korkeus ja kyseinen kappale, minkä pinnasta tulos on otettu.</p>												

Mittauspisteet		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Mittauspisteen nro:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Korkeus lattia-rajasta [mm]		1000	800	500	500	1000	1000	300	500	4000	5500	-1000	3500	1000
Mittauskohde														
Mittauspisteiden sijainnit kartalla:														
Huomioita:		<p>Maanantai 5.3.: Mittauspiste 11: LP-20 johdesuojien seinän puoleinen kylki ka.: +20,65°C (ilma +20,80°C) ja käytävän puoleinen kylki +19,90°C (ilma +20,50°C).</p> <p>Keskiviikko 7.3.: Mittauspisteen 6 kohde: "Legopala". Mittauspiste 11: LP-20 johdesuojien seinän puoleinen kylki ka.: +20,08°C (ilma +19,10°C) ja käytävän puoleinen kylki +19,15°C (ilma +18,60°C). Mittauspiste 7 huomattua: Taulukossa arvot kun ulko-ovi oli kiinni, mutta kun ulko-ovi avattiin (aukin. 1min) ja jäinen/luminen kappale tuotiin kasetilla sisään, laski pöydän lämpötila +18,80°C:een 3 minuutissa ja ilman lämpötila vaihteli +14,35 ja +17°C:en välillä. Kello 13:30, eli 1,5h edellisen mittauksen jälkeen, pöydän lämpötila +18,95°C ja ilma +16,00°C (jäinen/luminen kappale edelleen sulamassa vieressä).</p> <p>Perjantai 9.3.: Mittauspiste 7: Käytävällä oli sulamassa kasetti, jonka päällä kappale. Mittauspiste 11: Huolto menossa koneella, ei voinut mitata.</p>												

Mittauspöytäkirjapohja 1/3	Ajankohta:	Maanantai ap 5.3.2012					Ilman lämpötila	
		Mittauspaikkojen kappaleiden lämpötila[°C] / Mittauskerta:						
Mittauspiste nro:	1	2	3	4	5	keskiarvo		
1	20,15	20,10	20,10	20,10	20,10	20,11	20,80	
2	20,70	20,65	20,65	20,65	20,70	20,67	20,40	
3	20,90	20,95	20,95	20,90	20,95	20,93	20,30	
4	21,30	21,25	21,15	21,20	21,15	21,21	20,40	
5	21,45	21,45	21,45	21,45	21,45	21,45	20,65	
6	21,15	21,15	21,15	21,15	21,15	21,15	20,75	
7	21,20	21,15	21,20	21,25	21,20	21,20	21,15	
8	21,10	21,15	21,15	21,15	21,15	21,14	21,00	
9	22,10	22,00	22,05	22,10	22,05	22,06	21,65	
10	21,85	21,80	21,75	21,80	21,80	21,80	21,05	
11	20,65	20,75	20,60	20,65	20,60	20,65	20,80	
12	20,80	20,80	20,85	20,85	20,80	20,82	20,20	
13	20,85	20,95	20,90	20,95	20,90	20,91	20,30	
Mittauspöytäkirjapohja 2/3	Ajankohta:	Keskiyö 7.3.2012						
Mittauspiste nro:	1	2	3	4	5	keskiarvo	Ilman lämpötila	
1	20,35	20,40	20,35	20,40	20,40	20,38	20,75	
2	20,45	20,45	20,45	20,45	20,45	20,45	20,65	
3	20,40	20,45	20,45	20,35	20,40	20,41	20,50	
4	20,35	20,45	20,40	20,40	20,40	20,40	20,50	
5	20,80	20,85	20,80	20,85	20,80	20,82	20,40	
6	20,55	20,55	20,60	20,60	20,55	20,57	20,60	
7	19,50	19,45	ks. Huomioita			19,48	20,50	
8	20,20	20,15	20,25	20,20	20,20	20,20	19,95	
9	21,50	21,45	21,45	21,50	21,45	21,47	20,80	
10	21,45	21,40	21,45	21,45	21,45	21,44	20,95	
11	20,05	20,10	20,10	20,05	20,10	20,08	19,10	
12	20,65	20,65	20,65	20,65	20,65	20,65	20,80	
13	20,75	20,80	20,95	20,85	20,90	20,85	20,55	

Liite 4. Erityyppisten mittauslaitteiden ominaisuudet

	Magneetti- nauha	Lineaarimitta- nauha	Vaijerianturi	Nauha- anturi	Laser- etäisyysmittari
Mittausalue L [mm]	0 - 12000	0 - 12000	0 - 12000	0 - 12000	0 - 12000
Tarkkuus 20°C [mm], kun L=max	±0,2	±0,005	±0,05% f. s. (±6 mm)	±0,05% f. s. (±6 mm)	±3
Toistotarkkuus [mm]	±0,01	ei ilm.	±0,15	ei ilm.	0,5
Erottelukyky [µm]	10	0,2 - 20	ei ilmoitettu	50	10
Lähtösignaali [Analoginen/D igitaalinen]	A/D	A/D	A/D	A/D	ei ilm.
Anturin max. Liikenopeus [m/s]	5 - 7	8	3	ei ilm.	ei vaikutusta
Anturin kotelointiluok ka	IP65	IP40	IP65	IP64	IP65
Lämpölaajene miskerroin	10,5*10 ⁻⁶ / °C ±0,1	Riippuu asennuksesta	±50*10 ⁻⁶ m/°C f.s.	±50*10 ⁻⁶ m/°C f.s.	ei vaikutusta
Käyttölämpöti la [°C]	0°C ... + 60°C	0°C ... + 70°C	-20°C ... + 80°C	-20°C ... + 85°C	-10°C ... + 50°C
Anturin kaapelin pituus [m]	15	1 / 3/ 20	ei ilm.	ei ilm.	ei ilm.
Liitettävyys näyttölaittees een	Kyllä	Kyllä	ei ilm.	ei ilm.	ei ilm.
Hinta [€] (alv. 0%)	1000 - 3000	5000 - 5500	ei ilm.	ei ilm.	ei ilm.

	Mittausjärjestelmä	Rakennetyöntömitta	Laserit
Mittausalue L [mm]	100 - 6000	100 - 1000	100 - 1000
Tarkkuus 20°C [mm], kun L=max	0,053	0,07	ei ilm.
Toistotarkkuus [mm]	ei ilm.	ei ilm.	0,25
Erottelukyky [µm]	20	10	ei ilm.
Lähtösignaali [Analoginen/Digitaalinen]	ei ilm.	ei ilm.	ei ilm.
Anturin max. Liikenopeus [m/s]	0,833	ei ilm.	ei vaikutusta
Anturin kotelointiluokka	IP67	IP66	IP65
Lämpölaajenemiskerroin	Riippuu asennuksesta	Riippuu asennuksesta	ei vaikutusta
Käyttölämpötila [°C]	3°C ... + 40°C	ei ilm.	-20°C ... + 55°C
Anturin kaapelin pituus [m]	2 - 7	1 - 2	ei ilm.
Liitettävyys näyttölaitteeseen	ei ilm.	ei ilm.	ei ilm.
Hinta [€] (alv. 0%)	ei ilm.	250	ei ilm.

Liite 5. Magneettinauhojen ominaisuudet

	Magneettinauha 1	Magneettinauha 2	Magneettinauha 3	Magneettinauha 4	Magneettinauha 5	Magneettinauha 6
Mittausalue L [mm]	0 - 12000	0 - 12000	0 - 12000	0 - 12000	0 - 12000	0 - 12000
Tarkkuus 20°C [mm], kun L=max	±0,17	±0,46	±0,22	±0,36	±0,66	±0,24
Toistotarkkuus [mm]	ei ilmoitettu	±0,01	ei ilmoitettu	±1 inkrementti	±1 digit	±0,002
Erottelukyky [μm]	10	10	40	10	10	1
Lähtösignaali [Analoginen/Digitaallinen]	A/D	D	D	A	A	A/D
Absoluuttinen / Inkrementaalinen mittatieto	Inkrementaalinen	Absoluuttinen	Inkrementaalinen	Inkrementaalinen	Inkrementaalinen	Inkrementaalinen
Anturin max. Liikenopeus [m/s]	5	5	3,2 (25)	12	1,6	7
Anturin koteloitusluokka	IP65	IP65	IP67	IP67	IP67	IP67
Lämpölaajenemiskerroin	(10,4±1)*10 ⁻⁶ /°C	ei ilmoitettu	(11,1±1)*10 ⁻⁶ /°C	10,5*10 ⁻⁶ /°C ±0,1	17*10 ⁻⁶ /°C	(11±1)*10 ⁻⁶ /°C
Käyttölämpötila [°C]	-5°C ... +45°C	0°C ... +60°C	-10°C ... +70°C	0°C ... +50°C	-40°C ... +85°C	0°C ... +50°C
Anturin kaapelin pituus [m]	15	Erikseen	Erikseen	vakio 2	3 / 20	Erikseen
Liitettävyys näyttölaitteeseen	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Valmistajan näyttölaitteessa virheen kompensointi	Kyllä	Ei	Ei	Kyllä	Ei	Ei
Hinta Nauha+anturi+näyttö	3,3	2,0	1,7	1,3	-	1,2

Liite 6. Lineaarimittanauhojen ominaisuudet

	Lineaarimittanauha 1	Lineaarimittanauha 2	Lineaarimittanauha 3
Mittausalue L [mm]	0 - 12000	1 - 12000	2 - 12000
Tarkkuus 20°C [mm], kun L=max	±0,005	±0,005	±2,4mm
Toistotarkkuus [mm]	ei ilmoitettu	ei ilmoitettu	ei ilmoitettu
Eroittelukyky [µm]	0,001	0,2 - 20	50
Lähtösignaali [Analoginen/Digitaalinen]	A/D	A/D	A/D
Absoluuttinen / Inkrementaalinen mittatieto	Absoluuttinen	Inkrementaalinen	Inkrementaalinen
Anturin max. Liikenopeus [m/s]	8	8	ei ilmoitettu
Anturin kotelointiluokka	IP40	IP40	IP65
Lämpölaajenemiskerroin	Riippuu asennuksesta	Riippuu asennuksesta	ei ilmoitettu
Käyttölämpötila [°C]	0°C ... + 70°C	0°C ... + 50°C	0°C ... + 70°C
Anturin kaapelin pituus [m]	1 / 3/ 50	1 / 3/ 20	ei ilmoitettu
Liitettävyys näyttölaitteeseen	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Valmistajan näyttölaitteessa virheen kompensointi	Kyllä	Kyllä	Ei
Hinta Nauha+anturi+näyttö	6,2	5,7	-

Liite 7. Mittauslaitteiden pisteytystaulukko

Magneettinauhat ja anturit

Lineaarimittanauhat

	Painoarvot:	Magneettinauha 1	Magneettinauha 2	Magneettinauha 3	Magneettinauha 4	Magneettinauha 5	Magneettinauha 6	Lineaarimittanauha 1	Lineaarimittanauha 2	Lineaarimittanauha 3
Mittausalue L	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tarkkuus 20 °C, toistotarkkuus ja erottelukyky	5	2	1	2	1	0	2	2	2	0
Lähtösignaali [Analoginen/ Digitaalinen]	4	2	2	2	1	1	2	2	2	2
Absoluuttinen / Inkrementaalinen mittatieto	3	1	2	1	1	1	1	2	1	1
Anturin max. Liikenopeus	2	1	1	1	2	0	2	2	2	0
Anturin kotelointiluokka + asennettavuus	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2
Lämpölaajene miskerroin	1	1	0	1	1	2	1	2	2	0
Käyttölämpötila	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Anturin kaapelin pituus	1	2	2	2	1	2	2	2	2	0
Liitettävyys näyttölaitteeseen ja virheen kompensointimahdollisuus	3	2	1	1	2	1	1	2	2	1
Hinta (Nauha+ anturi+näyttö)	2	2	2	2	2	0	2	1	1	0
Pisteet yht.	24	42	36	39	34	20	41	45	42	20
Maksimipisteet	48	88 %	75 %	81 %	71 %	42 %	85 %	94 %	88 %	42 %