



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tomi Rantamarkkula

3D-MITTAKONEEN KÄYTÖN TEHOS- TAMINEN

Tekniikka ja liikenne
2011

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasan ammattikorkeakoulun tekniikka- ja liikenneyksikön kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmassa syksyllä 2011. Työ on toteutettu ABB Oy, Moottorit ja generaattorit Vaasan yksikössä.

Työn tavoitteena oli kehittää parannusehdotuksia 3D-mittakoneen tehokkuuteen ja käytettävyyteen erityisesti sähkömoottorin runkojen osalta, sekä mittaustulosten analysointiin. Lisäksi työssä kiinnitetään huomiota mittauksessa käytettävien kiinnittimien valintaan.

Työn valvojina toimivat lehtori Hannu Hyvärinen Vaasan ammattikorkeakoulusta sekä tuotehallintapäällikkö Jaakko Rantamäki ja kehityspäällikkö Petri Berg Vaasan Moottorit ja generaattorit yksiköstä.

Vaasassa 23.11.2011

Tomi Rantamarkkula

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	5
ABSTRACT	6
KÄYTETYT LYHENTEET JA KÄSITTEET	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn taustat.....	8
1.2 Työn rajaukset.....	8
1.3 ABB lyhyesti.....	9
1.4 ABB Oy, Moottorit ja generaattorit	9
1.5 Tuotevalikoima	10
1.6 Moottorin rakenne.....	10
2 NYKYTILA JA TAVOITTEET	12
2.1 Vastaanottotarkastuksen tarkoitus ja toteutus.....	12
2.2 Ex-vaatimukset	12
2.3 Runkojen mittaus	13
2.4 Työpaikan ergonomia	15
2.5 Mittauskiinnitin.....	16
3 KOORDINAATTIMITTAUS	17
3.1 KMK	17
3.2 Mittaaminen	18
3.3 Suuntaus.....	19
3.4 Tekniset tiedot.....	19
3.5 Terminaaliyksikkö	20
3.6 Automaattinen lämpötilan kompensointi CLIMA	20
3.7 Mittausohjelma	21
3.8 Koordinaattimittauksen virhetekijät.....	22
4 SPC- TILASTOLLINEN PROSESSIN VALVONTA	23
4.1 Yleistä SPC:stä.....	23
4.2 Laadunvalvonnan vaiheet	23
4.3 SPC: käsitteitä.....	23

4.3.1	Valvontakortit	23
4.3.2	Perusjoukko	24
4.3.3	Näyte ja näyte-erä	24
4.3.4	Muita käsitteitä	24
4.4	Hajonnan lähteet	24
5	MITTATOLERANSSIT	25
5.1	Geometriset toleranssit	26
5.2	Toleranssisuunnittelu	28
5.3	Staattorirungon geometristen toleranssien mittaaminen	28
6	STAATTORIRUNGON VERTAILUMITTAUKSET	31
6.1	Staattorirungon käsimittaus	31
6.2	Rungon mittaaminen mittakoneella	32
6.3	Tulosten analysointi	36
7	KEHITTÄMISIDEAT	39
7.1	Liikuteltava mittauskiinnitin	39
7.2	Ehdotus geometristen toleranssien esittämiseen piirustuksessa	40
7.3	SPC:n hyödyntäminen laadunvalvonnassa	41
7.4	Käytössä oleva SPC-ohjelma	42
8	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET	45
	LIITELUETTELO	46

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Tomi Rantamarkkula
Opinnäytetyön nimi	3D-mittakoneen käytön tehostaminen
Vuosi	2011
Kieli	suomi
Sivumäärä	46 + 5 liitettä
Ohjaaja	Hannu Hyvärinen

Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää sähkömoottorin rungon geometrysten toleranssien käyttämistä valmistuksessa, suunnittelussa ja mittaamisessa. Lisäksi työssä otetaan kantaa tarkastajan työergonomiaan ja sen parantamiseksi suunniteltuihin apuvälineisiin.

Työssä tehtiin vertailumittauksia sähkömoottorin rungolle ja analysoitiin tuloksia eri mittaamenetelmiä käyttäen, sekä mietittiin erilaisten geometrysten toleranssien käyttöä mitoituksessa. Lisäksi mietittiin erilaisten kiinnittimien tarpeellisuutta ja kehittämistä mittauksessa.

3D-mittakoneella saadaan kappaleesta nopeasti iso määrä erilaisia mittoja verrattuna käsimitoilla mittaamiseen. Joskus tietoa voi olla liikaakin ja sen tarpeellisuutta on vaikea käsitellä laadunparantamisen kannalta.

Työssä tulee hyvin esille 3D-mittakoneen tarpeellisuus sähkömoottorin runkojen mittaamisessa, koska pelkästään käsimittoja käytettäessä ei rungoista saada kaikkia välttämättömiä mittoja esille.

3D-mittakoneen tuottama mittausraportti on helppo tallentaa SPC-järjestelmään ja sitä kautta hyvä dokumentti, esim. tuotekehityksen käyttöön.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- tuotantotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Tomi Rantamarkkula
Title	Intensification of the use of 3D measuring machine
Year	2011
Language	Finnish
Pages	46 + 5 Appendices
Name of Supervisor	Hannu Hyvärinen

The subject of this thesis was to examine the use of the geometric tolerances in the manufacturing, design and measuring of the electric motor frame. In addition to this thesis studied the inspector's work ergonomics in the control room to find to ways to improve it.

Comparative measurements of the electric motor frames were carried out and the results were analyzed using different methods in the measurements. Needs of different geometric tolerances in the design were considered. In addition, various fasteners needs and their improvement in the measurement process were studied.

The 3D measuring machine can take quickly a large number of different dimensions compared with manual measurement. Sometimes the information can be too much and the need for it is difficult to handle in terms of quality. This thesis brings up the need to use a CMC to measure electric motor frames because using manually measured dimensions only does not produce all the necessary dimensions of the frames.

The measurement report produced by a CMC is easy to store in the SPC system and it is a good document, for example through product development.

Keywords	Geometric tolerances, work ergonomics, fasteners
----------	--

KÄYTETYT LYHENTEET JA KÄSITTEET

KMK	Koordinaattimittauskone
3D	3-Dimensional, kolmiulotteinen
SAP	Toiminnanohjausjärjestelmä
MPEE	Maximum Permissible Error for length measurement , pituuden mittauksessa suurin sallittu virhe
NC	Numerical Control, numeerisesti ohjattu
SPC	Statistical Process Control, Tilastollinen prosessin ohjaus
ATEX	Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävien tuotteiden vaatimusdirektiivi
Ex	Nimitys räjähdysvaarallisiin tiloihin suunnitelluille tuotteille
ISO9001	Standardi, joka määrittelee laadunhallinnan vaatimukset
ISO/IEC 80079-34:2011	Standardi tuotteiden käytöstä räjähdysvaarallisissa tiloissa

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat

Idea tämän lopputyön tekemiseen tuli, koska todettiin että käsimittavälineillä ei rungoista saada tarpeeksi mittoja sen virheettömän kokoonpanon ja toiminnan kannalta.

Havaittiin, että runkojen koneistuspiirustuksissa olevia geometrisia mittoja ja toleransseja ei voi mittakoneella kaikkia identtisesti mitata ja löytää, eikä mittaamiseen ole tehty yhteneväisiä ohjeita. Toinen asia, johon haluttiin kiinnittää huomiota, ovat koneen kiinnittimet ja mittakoneen kivipöytä, johon nostellaan käsin sekä nosturilla raskaita kappaleita. Kappaleita ja mittauskiinnittimiä täytyy siirrellä kivipöydän päällä, josta seuraa kivipinnan kulumista. Kivipöydän pinnat toimivat johteina ilmalaakereille, joiden varassa mittakone liikkuu.

ABB Oy, Moottorit ja generaattorit Vaasan yksiköllä on käytettävissä kaksi mittakonetta, kumpikin DEA-merkkisiä. Isompi kone sijaitsee MM-tehtaassa jo toinen kk-tehtaassa. Koska kk-tehtaalle ostettiin uusi mittakone, haluttiin sen käyttöä ja ominaisuuksia mittauksessa parantaa myös runkojen osalta.

Myöskään työskentelyergonomia ei ole mittakoneella hyvä, koska kappaleet täytyy kurottaa pöydälle jopa metrin päähän mittakoneen rakenteesta johtuen. Suurin osa mitattavista kappaleista nostetaan mittakoneeseen käsin, koska sopivaa nostoapuvälinettä ei kappaleiden monimutkaisten muotojen takia ole kehitetty. Nostoissa tarkastajan alaselkään kohdistuu suuria voimia, joista seuraa alaselän kipeytymistä.

1.2 Työn rajaukset

Opinnäytetyössä käsitellään pääosin sähkömoottorin rungon mittaamista sekä toleransseja runkoluokissa 130,132,160,180,200,220 ja 250. Käytössä oleva KMK on varusteltu riittävällä määrällä lisävarusteita tehokkaaseen mittaukseen, eikä siihen hankita lisävarusteita. Ainoastaan mittauskiinnittimiä voidaan ostaa tai

valmistaa tässä työssä tulevien parannusehdotusten jälkeen, jos siihen nähdään tarvetta.

1.3 ABB lyhyesti

ABB muodostettiin 1988 yhdistämällä ruotsalainen Asea ja sveitsiläinen Brown Bover. Nyt ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, joka toimii yli 100 maassa. ABB:n kasvu perustuu sen teknologiseen voimaan ja vahvoihin paikallisiin juuriin.

Gottfrid Strömberg astui vuonna 1889 Helsingin maistraattiin ja teki elinkeinoilmoituksen perustamastaan sähköliikkeestä. Mielessä oli joukko uudistuksia, joiden avulla hän aikoi valmistaa parempia tasavirtadynamoita ja sähkövalaistuslaitoksia kuin silloiset kilpailijat. Uuden yhtiön tunnuslause oli "Hyvä työ ja parhaat raaka-aineet".

Strömbergin kehittämät sähkökoneet nostivat alkujaan neljän miehen konepajan Suomen merkittävimpien teollisuusyritysten joukkoon ja sähkötekniikan teollisuuden tiennäyttäjäksi. Strömbergin historia jatkuu ABB:ssä lukuisissa eri yksiköissä, jotka tarjoavat sähkökoneita, sähkökäyttöjä, sähköasema-automaatiota, pienjännitetuotteita, pienjännitejärjestelmiä, suur- ja jakelumuuntajia sekä keskijännitetuotteita. /1/

ABB:n palveluksessa on 12 400 henkilöä yli 100 maassa ja liikevaihto vuonna 2010 oli 31.6 miljardia US dollaria. Suomessa henkilöstöä oli vuoden 2010 lopussa 5 759 ja liikevaihto oli 2.2 miljardia euroa.

1.4 ABB Oy, Moottorit ja generaattorit

ABB Moottorit ja generaattorit on yksi johtavista sähkömoottorin valmistajista maailmassa. Valmistus aloitettiin Vaasassa vuonna 1944. Tuotanto vuonna 2010 oli 34 160 moottoria, henkilöstöä oli 557 ja liikevaihto 195 miljoonaa euroa. /2/

1.5 Tuotevalikoima

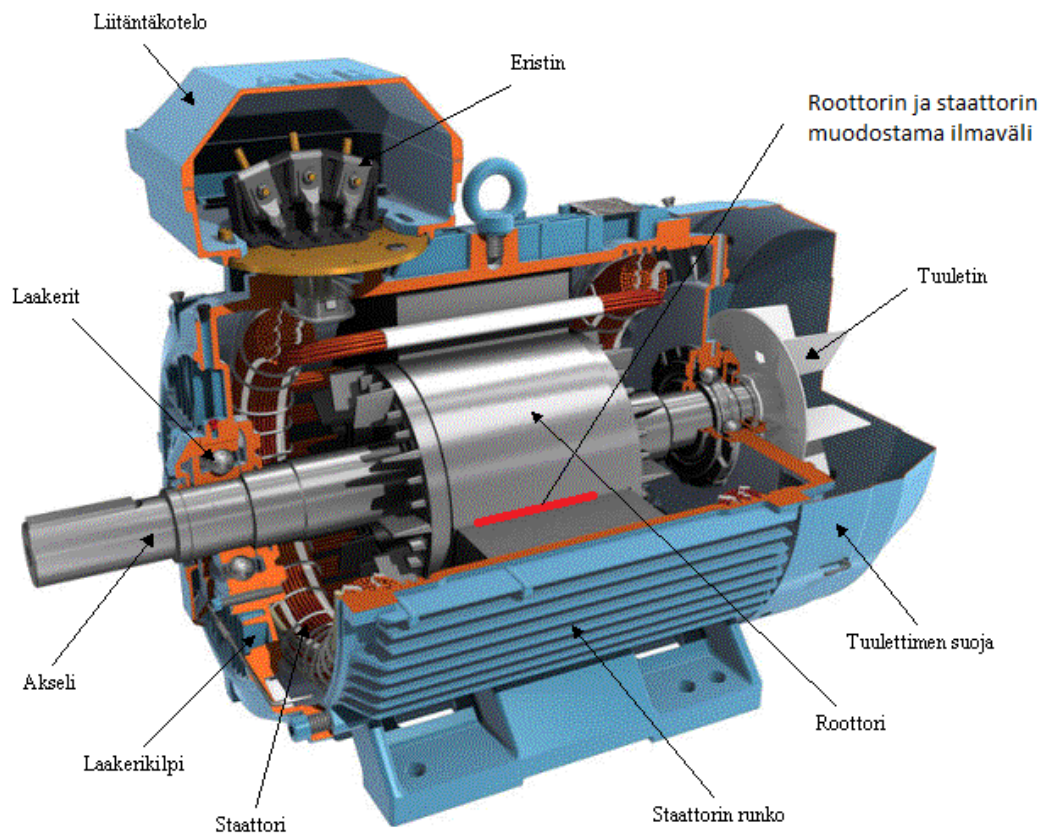
ABB Oy, Moottorit ja generaattorit valmistaa prosessi-, teollisuus- ja vakiomootoreita teholuokaltaan 75–1000 kW ja räjähdyspaineen kestäviä Ex-moottoreita teholuokaltaan 0,55–630 kW. /2/

1.6 Moottorin rakenne

Sähkömoottori muuttaa siihen syötetyn virran mekaaniseksi energiaksi. Roottori pyörii laakerointiosien ja laakerikilpien varassa staattoriaukossa. Roottorin ja staattorin väliin jäävään ilmaväliin saadaan käämitysten johdosta magneettikenttä. Virta syötetään moottoriin sen päällä tai sivulla olevasta liitäntäkotelosta (**Kuva 1 ja 2**).



Kuva 1. Räjähdysvaarallisiin tiloihin suunniteltu Ex-moottori /2/



Kuva 2. Poikkileikkaus ABB:n M3-sarjan standardimoottorista /2/

2 NYKYTILA JA TAVOITTEET

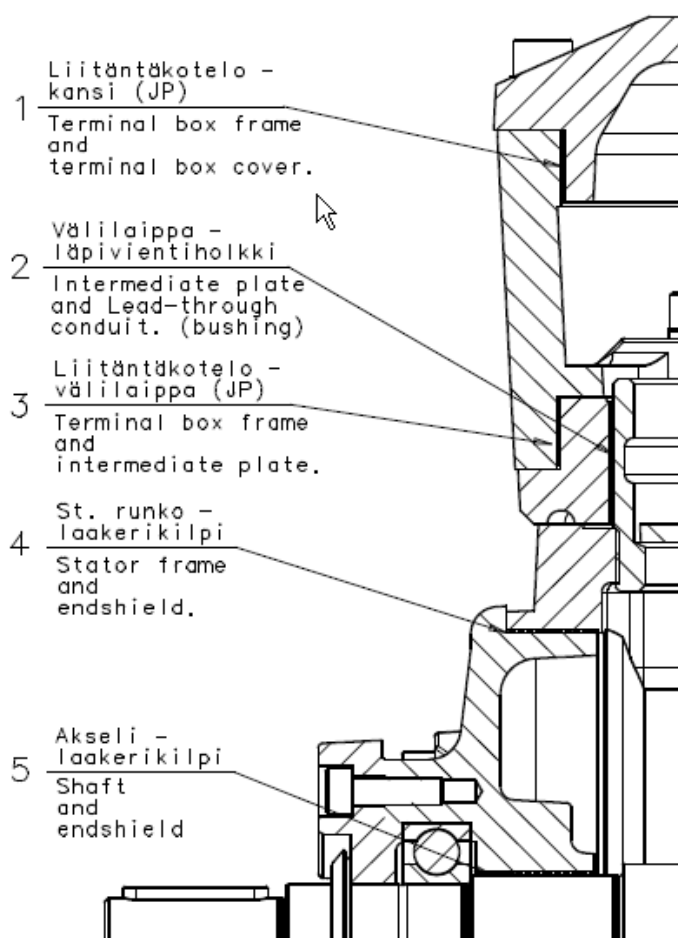
2.1 Vastaanottotarkastuksen tarkoitus ja toteutus

Vastaanottotarkastuksessa pyritään mittaamaan riittävä määrä alihankinnasta tulevista koneistetuista osista. Nyrkkisääntönä voidaan pitää viiden prosentin sääntöä, eli erästä mitataan viisi prosenttia, mutta aina kuitenkin vähintään kolme kappaletta. Myös ISO9001-laatustandardi, ISO/IEC 80079-34:2011-standardi sekä ATEX-direktiivi velvoittavat yrityksen tekemään sisäisen vastaanottotarkastuksen koneistetuille osille.

Mittaus tapahtuu pääosin mittakoneella, mutta myös ns. käsimittavälineitä joudutaan käyttämään. Koneistettujen pintojen lisäksi tuotteet tarkastetaan myös visuaalisesti valuhuokosten ja pinnanlaadun varalta. Tarkistuksen jälkeen erä joko hyväksytään tai hylätään ja laatuinsinööri tekee tarvittavat jatkotoimenpiteet.

2.2 Ex-vaatimukset

Ex-moottorin osien mittaaminen on tarkempaa niiden vaatimusten takia. Moottorit tulevat käyttöön räjähdysvaarallisiin tiloihin, kuten kaasu ja öljykentille. Mahdollisen moottorin sisäisen räjähdysvaaran sattuessa liekkiraon (**Kuva 3**) on pysäytettävä räjähdys, ettei se pääse moottorin ulkopuolelle.



Kuva 3. Liekipintoja Ex-moottorissa

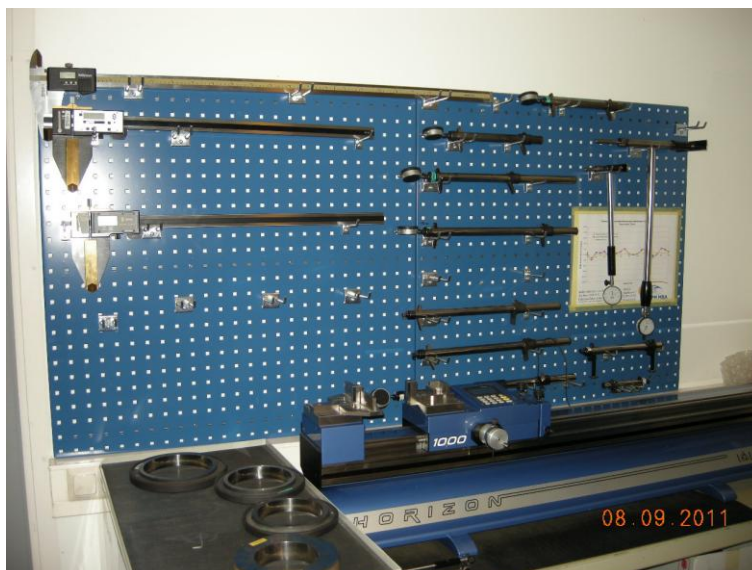
2.3 Runkojen mittaus

Kokoluokan 160–250-staattorirungot mitataan käytössä olevilla käsimittavälineillä (**Kuva 4 ja 5**). Käytännössä rungoista saadaan liitântäkotelon paikan ohjausten mitat sekä ohjausten ja staattoripaikan halkaisijamitat ja niiden ympyrämaisyys. Halkaisijat mitataan neljästä suunnasta ja lasketaan mittojen keskiarvo. Rungon soikeus saadaan selville kun lasketaan suurimman ja pienimmän halkaisijan ero. Runkojen muoto ohjausten ja staattoripaikan osalta on kuitenkin niin epäsymmetrinen, että pienikin mittauskohdan siirto aiheuttaa suuria poikkeamia lasketussa keskiarvossa.

Mittakonetta käytettäessä mittaussuuntia ja – pisteitä voidaan helposti ja nopeasti lisätä, mikä ei kuitenkaan suuresti vaikuta mittausaikaan. Muotovirheen saa vielä helpommin esille kun käytetään mittakoneen skannaus-ominaisuutta, jolloin mitauspisteitä on todellisuudessa jopa useita tuhansia ja kappaleen todellinen muoto saadaan hyvin esille.



Kuva 4. Rungon mittaukseen käytettäviä mittavälineitä

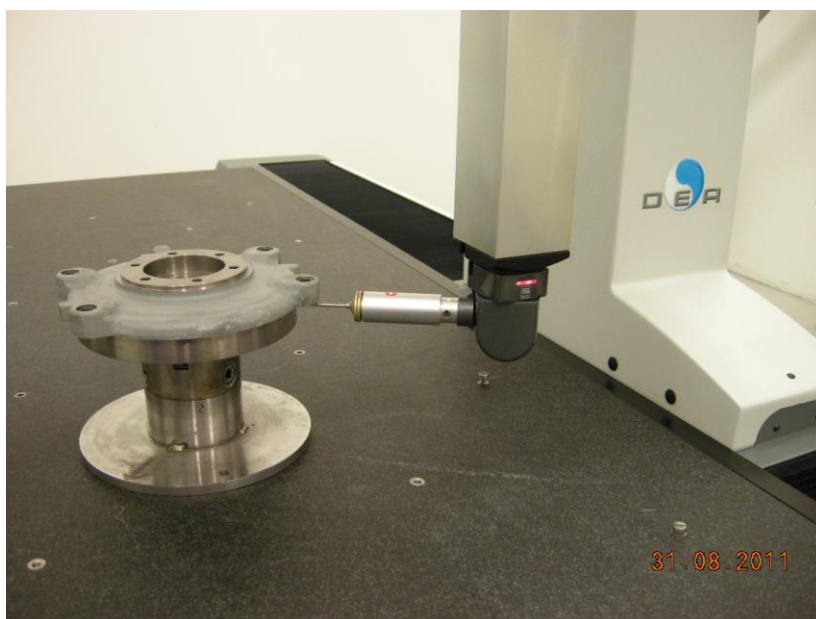


Kuva 5. Käsimittausvälineitä

2.4 Työpaikan ergonomia

Tarkastajan kannalta usein unohdettu seikka on ergonomia. Koneen kanssa työskennellään koko päivä. Tarkastaja joutuu nousemaan ja istumaan, kurkottelemaan kauas ja lähelle erilaisissa valaistusolosuhteissa, joskus on pimeää työkappaletta ja joskus kirkasta kuvaruutua. Tarkastaja joutuu nostelemaan raskaitakin työkappaleita tarkasti mittapöydälle. Valitettavan usein mittauskone ja sen ohjelmistoa käyttävä tietokone ovat kaukana toisistaan. /9/

Laakerikilpien ja – pohjien mittaamiseen käytettävä mittauskiinnitin asetetaan mittakoneen kivitasoilla olevien kierteitettyjen reikien varaan. Kiinnittimen keskipiste on lähimmillään noin 40 cm:n päässä pöydän etureunasta ja kauemmillaan mittausteknisistä syistä jopa 70 cm:n päässä. Pöydän tason korkeus lattiapinnasta on yksi metri (**Kuva 6**).



Kuva 6. Laakerikilpi kiinnitettynä mittauskiinnittimeen

Valtioneuvoston päätös vuodelta 1993 sitoo työnantajaa kiinnittämään huomiota käsin tehtäviin nostoihin työpaikalla. Päätöksen mukaan työnantajan on ryhdyttävä

vä asianmukaisiin järjestelyihin tai annettava työntekijän käyttöön asianmukaisia välineitä, erityisesti mekaanisia laitteita, jotta työntekijän ei käsin tarvitse käsitellä taakkoja. Päätöstä sovelletaan nostoihin ja siirtoihin sekä muihin taakan käsitte-lyihin, jotka tehdään käsin ja joista työn luonteesta tai epäsuotuisista ergonomisista olosuhteista johtuen aiheutuu erityisesti työntekijän selän vahingoittumisen vaara. /10/

2.5 Mittauskiinnitin

Kun uusi kappalekohtainen ohjelma tehdään, on aluksi mietittävä kappaleelle sopiva paikka mittapöydällä. Mittauspään on mahdollista kiertämään kappale, jotta kaikki halutut mitat voidaan mitata. Myös kappaleen korkeus tulee ottaa huomioon, jotta mittauspää mahtuu kulkemaan kappaleen yli. Toisinaan mittoja voidaan joutua ottamaan myös kappaleen alapuolelta kääntyvää mittauspäästä käyttäen **(kuva 6)**. Tällöin on tärkeää välttää törmäystä mittauspään rungon ja pöydän ta-son kanssa, myös mittauspään käännölle pitää olla tilaa.

Kun kappale saadaan aina kiinnitettyä samaan paikkaan mittapöydällä, voidaan ohjelma käynnistää suoraan automaattiajolle ja ohjelma löytää kappaleen. Jos kappale asetetaan mittapöydälle mielivaltaiseen paikkaan, on koneen kohdistus ajettava aina ohjelman alussa käsiajolla, mikä hidastaa mittaustapahtumaa.

Mittauskiinnitin on suunniteltava siten, että kappale pysyy tiukasti kiinni asetetus- sa paikassaan koko mittaustapahtuman ajan, kuitenkin kappaleeseen ei saa koh- distua niin suuria voimia, että se aiheuttaa kappaleeseen muotovirheitä.

Kk-tehtaan mittakoneessa käytetään laakerikilpien ja – pohjien mittauksessa sor- vin pakkaa jossa voima kohdistuu kappaleeseen kolmesta suunnasta, eikä sitä tar- vitse juurikaan kiristää mitattavien kappaleiden ison massan takia **(Kuva 6)**.

Kiinnittimen tärkein ominaisuus on, että mitattava kappale ja siihen luotu koor- dinaatisto pysyvät paikallaan mittauskoneeseen nähden ja sarjamittauksessa kap- pale asettuu aina samaan paikkaan ja asentoon.

3 KOORDINAATTIMITTAUS

Koordinaattimittaus tarkoittaa koordinaattien määrittämistä avaruudessa, joskus tasossa. Se on digitointia, jossa lähes mielivaltaisen pisteen paikka määritetään koneen mekaanissähköisen rakenteen rajoittamassa avaruudessa. Koordinaattimittauskoneen johteet muodostavat geometrisesti tarkan mekaanisen koordinaatiston, jonka avulla koneen luistit voivat liikkua mahdollisimman suoraviivaisesti ja kohtisuorasti toisiinsa nähden. Lisäksi on tärkeää tietää näiden luistien asemat koordinaattiakseleilla. Asemat mitataan tarkasti sähköisten mittaussauvojen avulla. Tärkeä komponentti on mittauspää, jolla saadaan informaatiota mitattavasta kohteesta.

Koordinaattimittauksen tärkein sovellusalue on geometrysten toleranssien määrittäminen ja erityisesti siinä koordinaattimittauskoneen nopeus nousee keskeiseksi ominaisuudeksi. /3/

3.1 KMK

Koordinaattimittauskoneet ovat käsikäyttöisiä tai numeerisesti ohjattuja. NC -mittauskoneen tarkoitus on automaattisesti mitata työkappale tai useita, ilman koneen käyttäjää. Tämä on mahdollista työkappalekohtaisten mittausohjelmien, automaattisten pisteiden rekisteröinnin ja servo-ohjattujen koneen liikkeiden avulla.

Mittauskoneessa on käytettävissä kappaleohjelma, jolla muodostetaan kappalekoordinaatisto, mitattujen pisteiden avulla geometrioita, lasketaan muotovirheet ja verrataan tuloksia toleransseihin. Mittauskoneen mittausohjelmistolla kalibroidaan koneen mittauspäät. Ohjelma käsittelee mitattuja pisteitä, laskee koneen liikeakselien paikka- ja anturitietojen perusteella kosketuskohdat kohteen pinnalla, korjaa mittauskoneen systemaattisia virheitä, muodostaa kosketuspisteistä geometrioita, laskee niiden avulla uusia elementtejä sekä muoto ja sijaintitoleranssivaihteluksiin ja lähettää lopuksi tulokset halutussa muodossa tulostimelle, mutta yhä useammin sähköisessä muodossa tietokoneverkkoon asiakkaille lähetettäväksi tai esimerkiksi SPC:n hyödynnettäväksi. Mittausohjelma sisältää kaikki mittauksessa tarvittavat komennot, siksi se on myös erinomainen mittauksen dokumentti. /9/

Suomen ensimmäinen mittauskone otettiin käyttöön Tampereen Teknillisessä Korkeakoulussa vuonna 1975. Kone oli käsikäyttöinen ja kun käytössä ei ollut minkäänlaisia tietokoneita eikä ohjelmistoja, oli mitattavan kappaleen suuntaus tehtävä asettamalla kappaleen peruselementit koneen liikkeiden suuntaisiksi. Käsipyörällä toimiva kytkintyyppinen anturi jäädyytti kosketushetkellä mitta-asteikkojen arvot näytölle.

Suomen tarkin KMK on Mittaustekniikan keskuksessa Otaniemessä. Mitutuyo Legex makaa paineilmavaimentimien varassa seitsemänkymmentä tonnia painavan betonilaatan päällä, joka on puolestaan peruskallioon tiivistetyn sorakerroksen päällä. Kone on tarkoin ilmastoidussa vakiolämpöisessä tilassa, jossa valaisimienkin tuottama lämpö johdetaan erikseen pois. Koneen tarkkuudeksi (MPEe), ilmoitetaan $0.035 \mu\text{m} + L/1000$. Virhe 650 mm mittauspituudella on pienempi kuin yksi tuhannesosamilli. /9/

3.2 Mittaaminen

”Usein ajatellaan väärin, että mittaaminen on nopeaa ja helppoa. Näin voi ollakin, jos mittaustyö on rutiinia, hyvin valmisteltua ja ohjelmat helppokäyttöisiä., mutta useimmiten mittausta edeltää sekä seuraa monenlaisia toimenpiteitä ns. sivuaikojia, joihin kuluu helposti pääaikaan verrattuna moninkertaisesti aikaa ja kuluja.

Koordinaattimittauskoneen käyttäjällä on suurin vaikutus mittaustulosten oikeellisuuteen. Hänen on hallittava oikeat mittausten menetelmät ja ymmärrettävä laitteen toimintaperiaate, tunnettava koneen kunto ja ympäristön vaikutukset parhaan mahdollisen mittausepävarmuuden saavuttamiseksi.”/9/

Koskettavan mittauskoneen epävarmuustekijät ja niiden prosentuaaliset osuudet:

- käyttäjä 30–50
- kone 5-20
- ympäristö 5-20
- työkappale 10–30.

Yleisesti pidetään suurimpana epävarmuustekijänä koneen käyttäjää ja kalibroidun mittauskoneen vaikutusta pienimpänä.

Jotta mittaustulokset olisivat luotettavia, on käyttäjiä koulutettava koneen oikeaan vastuunalaaiseen käyttämiseen. Poikkeamia mittaustuloksiin aiheuttavat mm. ilmanpainehäiriöt, sopimattomat kiinnitykset, ohjelmien ja koneen oudot toiminnot ja poikkeamat lämpötiloissa. Koneen suorituskyky on varmennettava säännöllisin tarkastuksin. Tärkeitä ovat viikkopalaverit, joissa tiimi käsittelee mittausasiantuntijan kanssa menneitä tapahtumia, sekä uusien kappaleiden mittauksia, kiinnittimiä ja ohjelmia. Päivittäisiä mittauksia tekevät ovat parhaita ideanikkareita kehittäessään omaa työtänsä. /9/

3.3 Suuntaus

Mittauskoneella mitataan irrallisia pisteitä ja niiden avulla lasketaan kappaleen-suuntaisia pituuksia, halkaisijoita ja muotoja. Tarkan laskennan perustana on oikein sijoitettu ja oikeansuuntainen kappalekoordinaatisto. Koordinaatiston määrittelevät peruselementit ovat suunnittelijan vastuulla. Suunnittelija määrittelee esim. kokoonpanon onnistumisen kannalta kappaleen peruselementit eli mitoituksen lähtökohdat valmistuksen ja mitoituksen kannalta. Näiden peruselementtien tulee olla korkealaatuisia siten, että niiden perusteella määritelty suuntaus ja origo ovat toistettavissa ja uusittavissa milloin ja missä vain. Koordinaattimittauksessa lähes kaikki mittaustulokset perustuvat hyvään suuntaukseen.

Suuntaus sallii kappaleen olevan hieman vinossa mittauksen aikana. Käytännössä niin paljon, ettei mittauskärjelle tapahdu varsikosketuksia, jotka vääristävät mittaustulosta. /9/

3.4 Tekniset tiedot

ABB Oy, Moottorit ja generaattorit Vaasan yksikössä pienmoottoritehtaalla oleva koordinaattimittauskone: Dea Global Performance on viimeisen sukupolven siltamallinen koordinaattimittauskone (KMK). Siltarakenteinen mittauskone takaa

rakenteen optimijäykkyyden ja mittauskone ei tarvitse erillistä perustusta. Kone tarjoaa erittäin hyvän tarkkuuden ja markkinoiden parhaan suorituskyvyn. Uuden sukupolven kontrolloyksikön ansiosta Dea Global Performance mittauskoneeseen on saatavissa laaja valikoima erilaisia mittainvaihtoehtoja, kuten liipaisuperiaatteella (Trigger) toimiva, analoginen, koskettava ja kosketukseton mittain. /5/

- hankintavuosi: 2011
- liikealueet (mm): X 900, Y 1500, Z800
- maksimi kappaleen paino 1500 kg
- mittausvirhe (ISO10360) LSP-X1 lämpötila-alueella 18–22°C
MPEE:1,5+L/250
- 3D kiihtyvyys: 4,3m/s².

3.5 Terminaaliyksikkö

Siirrettävällä terminaaliyksiköllä (Jog Box), voi käyttäjä manuaalisesti kontrolloida moottoroitua mittauskonetta. Terminaaliyksikön avulla voidaan myös ajaa konetta, kun hätä – seis nappia on painettu, säätää akseleiden liikenopeuksia ja asettaa sekä poistaa joitain toimintafunktioita. /5/

3.6 Automaattinen lämpötilan kompensointi CLIMA

CLIMA-tekniikka mittaa lämpötilaa tarkasti ja kompensoi lämpötilaa mahdollistaen tarkan mittauksen eri lämpötila-alueilla. Kone sisältää yksitoista lämpötilanturia. Anturit mittaavat lämpötilaa koneen kriittisistä kohdista sekä kappaleesta (Kuva 7).

Lineaariset lämpötilan kompensointianturit sijaitsevat koneen kolmella pääakselilla. CLIMA tekniikka käyttää matemaattista mallia mekaanisen rakenteen lämpötilan kompensointiin. Se ei ainoastaan laske aineen lineaarista muutosta, vaan huomioi myös koordinaattimittauskoneen kompleksisen geometrisen rakenteen muutoksen. CLIMA-kompensoinnin ansiosta mittauskonetta on mahdollista käyttää tarkkaan mittaukseen lämpötila-alueella 16 - 26 °C. /5/

	Sensor numbers:	Material coefficient:	Current temperature:	Previous temperature:	Reference temperature:	High threshold:	Low threshold:	Origin:
X axis:	4-5	0.0000105	20.552	20.552	20	40	10	0
Y axis:	14-15	0.0000105	20.09	20.09	20	40	10	0
Z axis:	7-8	0.0000105	20.55	20.55	20	40	10	0
Part:	9	0.000011	20.309	20.309	20	40	10	0,0,0

Qual tool coefficient:

Time remaining: 78

☒ Show temperatures in celsius

☒ Temperature compensation enabled

Delay before reading part temperature:

Compensation method:

Reset to Defaults Get Current Temperatures

Default OK Cancel

Kuva 7. Lämpötilan kompensointi-ikkuna

3.7 Mittausohjelma

Koska koordinaattimittauskone itsessään tuottaa ainoastaan koordinaatti-informaatiota, tarvitaan tietokone ja siihen sopiva ohjelmisto, jolla mitatut pisteet yhdistetään elementeiksi ja lasketaan poikkeamia tavoitemitoista ja muodoista.

Kaikissa mittauskoneissa onkin jonkin tasoinen tietokone ja ohjelma.



Kuva 8. DEA performance - mittakone /5/

3.8 Koordinaattimittauksen virhetekijät

Koneiden toimintatavat, rakenteet, koot ja automaatioaste ovat erilaisia samoin kuin mittausohjelmistot ja mittausolosuhteet. KMK ei ole ainoa mittaukseen vaikuttava epävarmuustekijä vaan myös koneen käyttäjän on joka hetki valvottava ympäristöä, ilmastointia, koneen kuntoa ja tehdä mittausteknilliset ratkaisut. Lisäksi virhetekijöitä ovat

- työkappale ja sen kiinnitys
- huolto, kalibrointi ja verifiointi
- ohjelma ja laskenta
- mittautapa ja piirustus.

Koordinaattimittauskoneen tarkistuksella ja verifiointilla eli todentamisella tarkoitetaan koneen osien ja toimintojen, kuten geometrian, toistuvuuden, mittausnopeuden, mittausohjelman ja mittausepävarmuuden testaamista. Usein halutaan verrata testi- ja mittautuloksia asetettuihin vaatimuksiin, esimerkiksi vastaanotto-tarkastuksen yhteydessä. Koneen valmistajat ilmoittavat koneen mittausepävarmuuden ja toistuvuuden tietyn testin eli verifiointitavan mukaisesti. /3/



Kuva 9. Mittauskärkien vaihtomakasiini ja kalibrointikuula

4 SPC- TILASTOLLINEN PROSESSIN VALVONTA

4.1 Yleistä SPC:stä

Tuotteen laatua ja kaikkia sen ominaisuuksia ei voida mitata joka tuotteesta. Syyinä voi olla esimerkiksi suuret tuotantomäärät. Siinä tapauksessa laatua valvotaan tarkastamalla edustava näyte määrävälein tai muulla säännöllisellä tavalla. Tilastollisella valvonnalla voidaan määritellä suunnilleen se riski, jolla viallisia tuotteita on tarkastamattomien joukossa.

Tilastollinen valvonta voidaan porrastaa esim. siten, että visuaalinen valvonta tehdään joka kappaleelle ja tarkempi tarkistus edustaville tuotteille.

Valmistusprosessin laatua eli tehtävien suorituskyyä ja sen muutoksia on hyödyllistä seurata, jotta normaalista poikkeavia tilanteita huomattaisiin, ennen kuin laatuun aiheutuisi suurempia ongelmia. Prosessin suorituskyy tulee määritellä tilastollisesti luotettavalla tavalla käytettävissä olevista havainnoista. /8/

4.2 Laadunvalvonnan vaiheet

Perinteisen laadunvalvonnan vaiheet ovat mittaaminen, tulosten vertaaminen toleranssiin sekä tuotteiden lajittelu hyväksytyihin, korjattaviin ja hylättyihin.

SPC:n mukaantulon jälkeen useat mittaustulokset yhdistetään valvontakorttiin, määritellään prosessin suorituskyy ja käynnistetään kehitystoimet. /8/

4.3 SPC: käsitteitä

4.3.1 Valvontakortit

Valvontakortit ovat graafisia apuvälineitä prosessin mittaustulosten esittämiseksi. Se on tärkein SPC:n työkalu. Valvontakorteilla voidaan käsitellä muuttujatietoja ja ominaisuustietoja. Valvontakortissa on taulukko, johon mittaustulokset merkitään ja tuloksia havainnollistaa yksi tai useampi graafinen kuvaaja. Kortti on myös apuväline prosessin tunnuslukujen laskentaan ja kortteja on hyvin monenlaisia. /8/

4.3.2 Perusjoukko

Koko tutkittavaa joukkoa kutsutaan perusjoukoksi eli populaatioksi. Esimerkiksi valmistuneet ja tulevaisuudessa valmistetut samanlaiset tuotteet muodostavat perusjoukon. Yksi perusjoukon osa on nimeltään alkio. /8/

4.3.3 Näyte ja näyte-erä

Koska koko perusjoukkoa ei voida käytännössä mitata, täytyy perusjoukosta ottaa näyte eli otos. Tilastotieteessä otos valitaan siten, että jokaisella perusjoukon alkioilla on sama todennäköisyys tulla valituksi. Prosessissa ei tehdä johtopäätöksiä yhden näytteen tai näyte-erän perusteella, vaan on kerättävä useita, yleensä vähintään 20 näyte-erää, ennen tilastollista tarkastelua. /8/

4.3.4 Muita käsitteitä

Lisäksi SPC:ssä käytettäviä käsitteitä ovat: keskiarvo ja -hajonta, vaihteluväli, varianssi, hajonnan laskettu arvio, valvontakortit ja – rajat, toleranssirajat, tavoitearvo sekä suorituskykyluvut. /8/

4.4 Hajonnan lähteet

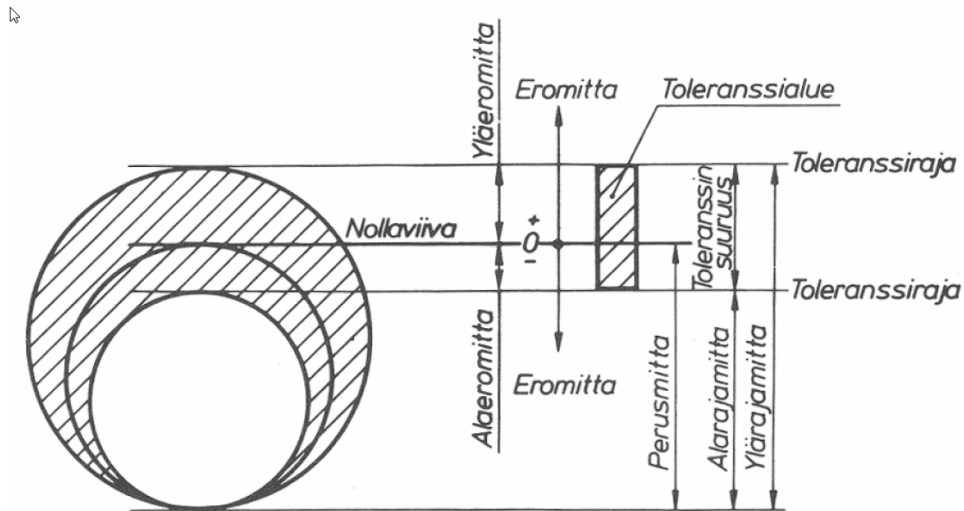
Tuotannossa on paljon erilaisia hajonnan lähteitä ja voidaan luokitella kolmeen eri ryhmään.

- Ulkoiset syyt johtuvat ympäristön vaihtelusta, näitä ovat esimerkiksi lämpötilan, kosteuden ja värähtelyn vaikutukset.
- Sisäisiksi syiksi kutsutaan tuotantojärjestelmän sisäisistä syistä johtuvia muutoksia, esimerkiksi työstökoneiden kuluminen, prosessin sisäiset lämpölähteet ja esiasetusten epätarkkuudet sekä robotin toistotarkkuus.
- Kun syyt eivät ole sisäisiä eivätkä ulkoisia, niitä kutsutaan variaatiokohinaksi. /3/

5 MITTATOLERANSSIT

Sähkömoottorin toiminnan kannalta on tärkeää, että sen osien mitat ovat oikein. Riittää, että osan mitat ovat kahden sallitun rajan sisällä. Näitä rajoja kutsutaan toleransseiksi. Toleranssi ilmaisee valmistuksessa sallittavan mittavaihtelun. Pii-
rustuksissa toleranssit ilmoitetaan Iso-tunnuksin, numeroin (ero- tai rajamitoin) tai ns. yleistoleranssien avulla. Yleisimpiä toleranssikäsitteitä ovat

- perusmitta tai nimellismitta, josta rajamitat lasketaan.
- tosimitta, joka on mittaamalla todettu.
- eromitat (ylä- ja alaeromitta), jotka ilmoittavat kuinka paljon tosimitta saa poiketa perusmitasta.
- ylärajamitta, eli suurin sallittu mitta.
- alaeromitta, eli pienin sallittu mitta.
- mittatoleranssi, eli ylä- ja alarajamitan erotus.
- toleranssialue, joka on sijainniltaan määrätty toleranssin suuruus. Toleranssialueen määrittävät toleranssin suuruus ja asema nollaviivaan nähden. Rei'ille se merkitään isoilla kirjaimilla ja akseleille pienillä kirjaimilla.
- sovite, eli kahden toisiinsa liitettävän osan (esim. akseli ja reikä) mittojen eroista ennen asennusta riippuva ominaisuus.

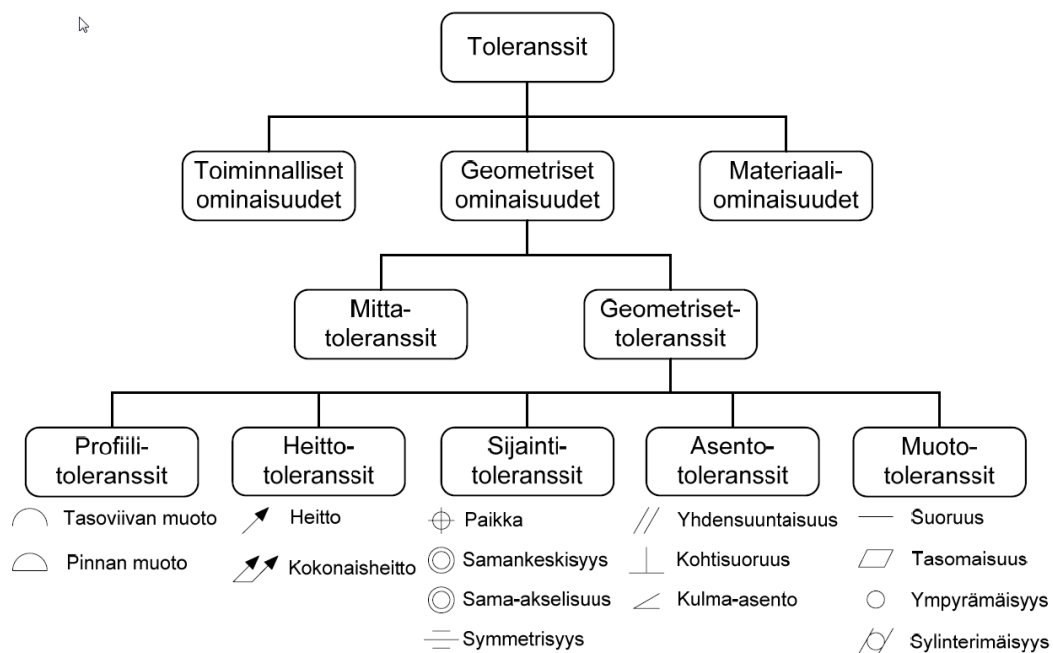


Kuva 10. Toleranssikäsitteet. /6/

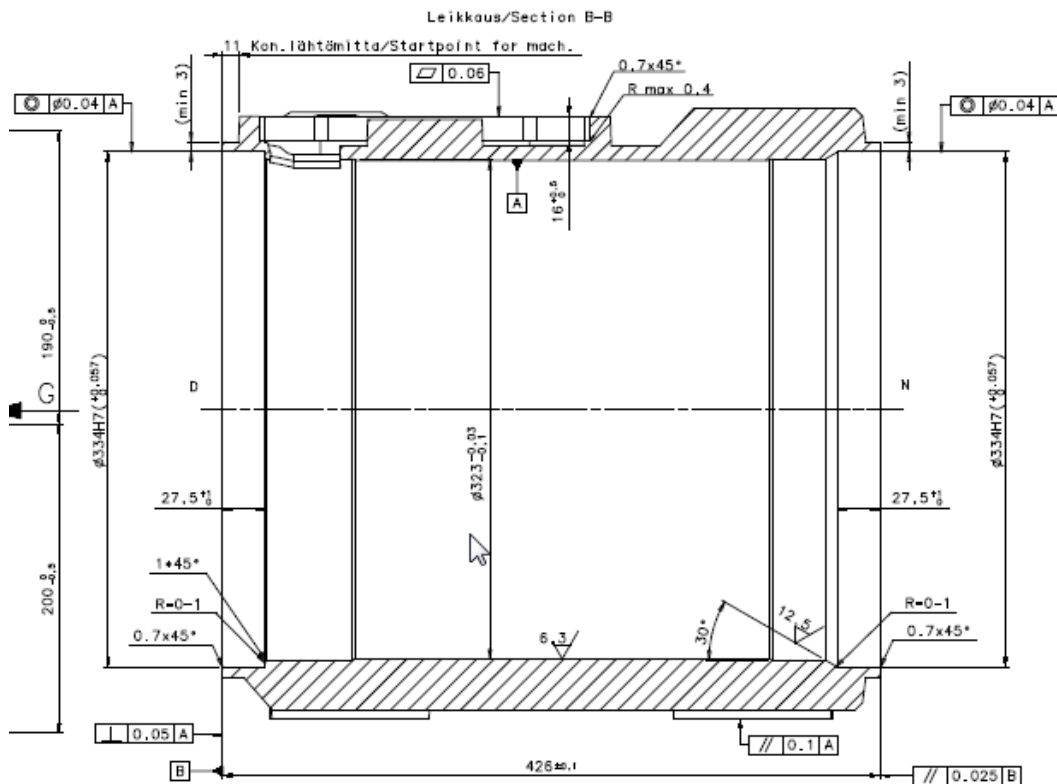
5.1 Geometriset toleranssit

Geometrisillä toleransseilla määritellään muodon, suunnan ja sijainnin poikkeamille sekä heitolle sallitut rajat. Esimerkiksi sähkömoottorin moitteeton toiminta vaatii rajoituksia mittapoikkeamiin. Toleranssit tulee ilmoittaa piirustuksissa täydellisinä, jotta valmistuksessa ja tarkastuksessa mikään ei jää tekijän tai tarkastajan arvioitavaksi. Suunnittelijan on tarkkaan harkittava geometristen toleranssien käyttöä, koska niiden toteuttaminen sekä tuotannossa että tarkastuksessa on kallista ja aikavievää. Sähkömoottorin osien yleisesti käytettyjä geometrisiä toleransseja ovat esimerkiksi kohtisuoruus, ympyrämuotoisuus, samankeskiyys, yhdensuuntaisuus, tasomaisuus sekä lieriömuotoisuus.

Käsimittavälineillä ei geometrisiä toleransseja ja ominaisuuksia voida saada selville. Niillä voidaan mitata ainoastaan halkaisija ja pituusmittoja. Ainoastaan KMK on sopiva mittaväline silloin kun geometrisiä ominaisuuksia halutaan mitata.



Kuva 11. Erilaisia toleranssikäsitteitä. /6/



Kuva 12. 200 kokoluokan rungon mittapiirustus

5.2 Toleranssisuunnittelu

Prosesseissa on aina vaihtelua, joka vaikuttaa lopputuotteen mittoihin. Vaihtelun vaikutukset on opittava tuntemaan niin, että sille voidaan määritellä rajat. Näiden rajojen ylitys aiheuttaa lopputuotteelle myöhemmässä käytössä häiriöitä. Nämä sallitut rajat, eli toleranssit, tulee suunnittelussa määritellä tarkoin lopputuotteen toimivuuden kannalta. Liian tiukat toleranssit aiheuttavat aiheettomia hylkäämisiä ja turhia kustannuksia, kun taas liian suuret toleranssit antavat tuotteen laadulle suuren vaihtelun mahdollisuuden ja antaa asiakkaalle huonon kuvan laadusta.

Koska ei ole mahdollista tarkastaa kaikista tuotteista jokaista mitta, voidaan määritellä kriittiset mitat, joita erityisesti seurataan. Nämä mitat voitaisiin merkitä piirustuksiin erityisillä merkinnöillä. Kun otantatiheys on pieni, tarjoaa SPC:n käyttö ratkaisun poikkeavien kappaleiden todennäköisyydelle. /8/

5.3 Staattorirungon geometrysten toleranssien mittaaminen

Ensimmäinen asia staattorirungon mittaamisessa mittakoneella on rungon asentaminen mittapöydälle. Runko pitää nostaa mittakoneen kivipöydälle nosturilla ja asentaa suoraan pääakselien suuntaisesti. Sarjamittaamisessa on tärkeää, että runko on aina samassa asemassa pöydällä, vähintään puolen millin sisällä, että kone löytää kappaleen.



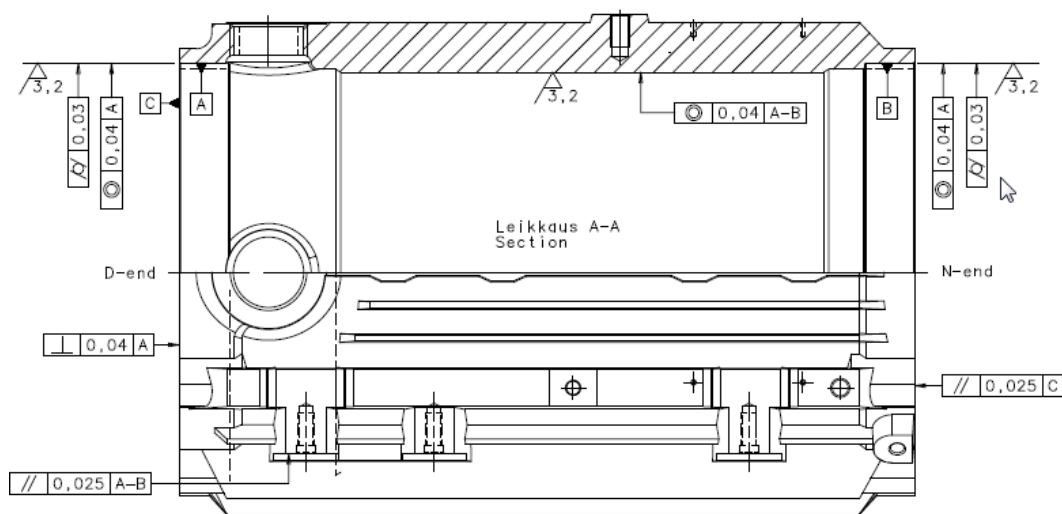
Kuva 13. Peruspinnan merkintätapa

ABB Oy, Moottorit ja generaattorin-yksikössä on runkojen piirustuksissa käytetty yleisesti kahta eri tapaa geometrysten toleranssien esityksessä.

Usein käytetyssä tavassa (**Kuva 12**) on peruspinnaksi A merkitty staattoripaikan sisähalkaisija. Laakerikilpien ohjauspintoja on sitten verrattu tähän pintaan sa-

mankeskisyystoleranssin (0,04 mm) avulla. Näitä ohjauspintoja ei kuitenkaan verrata toisiinsa nähden, joten laakerikilpien ohjausten samankeskisyydet voivat toisiinsa nähden olla 0,08 mm sivussa. Toiseksi peruspinnaksi B on merkitty D-pään otsapinta. Tähän pintaan on tehty samansuuntaisuustoleranssi (0,05 mm) N-pään otsapinnan kanssa. D-pään otsapinnan ja staattoripaikan kohtisuoruustoleranssi on 0,05 mm. Staattoripaikan ja ohjausten ympyrämaisyyksille on tehty erillinen ohje ja niitä ei ole piirustuksiin merkitty.

Uudemmissa piirustuksissa (**Kuva 14**) laakerikilpien ohjaukset on merkitty peruspinoiksi A ja B ja staattoripaikan halkaisijaa verrataan näistä pinnoista muodostettuun linjaan A-B samankeskisyystoleranssin (0,04 mm) avulla. Linja voisi hyvin kuvata roottorin akselin keskilinjaa ja kunhan muut laakerointiosat ovat kunnossa, näiden toleranssien tarve toteutuu hyvin. Piirustuksessa merkitään kuitenkin virheellisesti peruspinnan A samankeskisyyttä saman pinnan A kanssa. N-pään ohjausta B verrataan pintaan A samankeskisyyden (0,04 mm) avulla. Lisäksi ohjauspinoille on laitettu lieriömaisyydestoleranssi (0,03 mm), mikä on kuitenkin kyseenalaista, koska lyhyestä ohjauspinnasta saa vain noin 15 mm pituisen sylinterin. D-pään otsapinnan kohtisuoruustoleranssia olisi parempi verrata pitkään linjaa A-B sillä ohjauksesta A saa todella lyhyen sylinterin ja pienikin poikkeama sylinterin halkaisijassa aiheuttaa suuren kulmavirheen.



Kuva 14. Staattorirungon geometrisiä toleransseja

Kohtisuoruustoleranssin käyttöä on tutkittu tarkemminkin aikaisemmassa tutkimustyössä ABB Oy, Moottorit ja generaattorit yksikössä. Tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota laakerikilpien mittauksessa, laakeripesän ja kilven otsapinnan kohtisuoruuden suureen keskihajontaan sarjamittauksessa. Kappaleen kiinnityksellä tai asennon vaihtamisella ei ollut vaikutusta keskihajonnan suuruuteen. Vertailumittauksia tehtiin Tampereen teknillisellä korkeakoululla SIP-koordinaattimittauskoneella. Todennäköinen syy keskihajonnan suuruuteen oli laakeripesän pieni, 20 mm:n mittauspituus./11/

6 STAATTORIRUNGON VERTAILUMITTAUKSET

Vertailun vuoksi haluttiin tehdä mittauksia mittakoneella staattorirungosta kahdella eri tavalla. Runko pysyy mittapöydällä samassa asennossa ja mittauspisteitä otetaan kummallakin kerralla sama määrä. Rungoksi valittiin kokoluokan 160 runko 3GZF113016-126 ja mittaus tehtiin 12 rungolle, eri toimittajille A ja B. Koska aikaisemmin tämän tyyppin rungot mitattiin käsimittavälineillä, haluttiin myös ne tulokset tarkasteltavaksi.

6.1 Staattorirungon käsimittaus

Käsimitoilla mitattaessa rungoista mitattiin ohjausten mitat neljästä eri suunnasta ja staattoripaikan halkaisijamitat neljästä suunnasta ja kahdelta eri korkeudelta. Näistä mitoista laskettiin keskiarvo. Lisäksi mitattiin rungon pituus. Vertailurunkojen kaikki mitat olivat toleranssien sisällä ja rungot voitaisiin hyväksyä tuotantoon (**Taulukko 1**).

Taulukko 1. Käsimittaustulokset

Nro.	D-ohjaus 268(+0,12...+0,06)	N-ohjaus 268(+0,12...+0,06)	Staattori 256(0...-0,07)	Pituus 470,5(+/-0,10)
2311 A	0,105	0,085	-0,048	470,51
2307 A	0,095	0,08	-0,045	470,42
2312 A	0,11	0,08	-0,038	470,42
2309 A	0,11	0,065	-0,04	470,4
2308 A	0,115	0,113	-0,043	470,4
1310 A	0,115	0,08	-0,043	470,4
76 B	0,085	0,085	-0,03	470,4
77 B	0,085	0,08	-0,038	470,4
183 B	0,075	0,07	-0,04	470,37
2 B	0,075	0,068	-0,02	470,53
103 B	0,09	0,08	-0,033	470,43
49 B	0,09	0,075	-0,02	470,42

6.2 Rungon mittaaminen mittakoneella

Ohessa staattorirungon mittaamiseen käytettävän mittausohjelman rakentaminen PC-DMIS-ohjelmalla.

- Ensiksi määritellään mittauksessa käytettävä mittauskärki, koneen liike ja kosketusnopeudet sekä kosketus ja irrotusvälimatkat.

```
DATE=19.10.2011                      TIME=8:09:25
PART NAME  : Lopputyö_uusi
REV NUMBER : 3GZF113016-126.uusi
SER NUMBER :
STATS COUNT : 1

STARTUP    =ALIGNMENT/START,RECALL:,LIST=YES
            ALIGNMENT/END
            MODE/DCC
            PREHIT/3
            RETRACT/3
            MOVESPEED/ 200
            TOUCHSPEED/ 5
            FORMAT/TEXT,OPTIONS, ,HEADINGS,SYMBOLS, ;MEAS,NOM,DEV,TOL,OUTTOL, ,
            LOADPROBE/X1S_5BY100
            TIP/T1A0B0, SHANKIJK=0, 0, 1, ANGLE=90
            MOVE/POINT,NORMAL,PART,<-1173.139,213.896,-337.016>
            TIP/T1A90B180, SHANKIJK=1, 0, 0, ANGLE=-90
            MOVE/POINT,NORMAL,PART,<-232.270,213.487,-57.841>
```

- Mittain käännetään sopivaan asentoon ja rungon D-pään otsapinnasta otetaan piste ja ohjauksesta mitataan ympyrä vähintään kolmella pisteellä. Työskentelytasoksi vaihdetaan X-plus-taso.
- Nollapiste asetetaan keskelle ohjausta otsapinnan tasoon.
- Ohjauksesta mitataan sylinteri ja tehdään ensimmäinen suuntaus sen mukaan.

```
A2          =ALIGNMENT/START,RECALL:A1,LIST=YES
            ALIGNMENT/TRANS,XAXIS,PNT1
            ALIGNMENT/LEVEL,XPLUS,D_OHJAUS
            ALIGNMENT/TRANS,YAXIS,D_OHJAUS
            ALIGNMENT/TRANS,ZAXIS,D_OHJAUS
            ALIGNMENT/END
```

- Mitataan staattorin paikasta ympyrä niin kaukaa kuin se on mittakärjellä mahdollista sekä tehdään taso otsapinnasta.

- Mittakärki nostataan turvalliseen paikkaan ja käännetään sitä 180 astetta, jolloin päästään mittaamaan myös N-pää.
- Samat mittaukset tehdään myös N-päälle.
- D- ja N-pään staattoripaikan ympyröistä rakennetaan sylinteri ja ohjauksista suora A-B.
- Lopullinen suuntaus tehdään rakennettuun suoraan.

```

LIN1      =FEAT/LINE,CARTESIAN,UNBOUNDED,NO
          THEO/<-10.7,0,0>,<-0.9999991,0.0013393,0.0000491>
          ACTL/<-10.697,0,0>,<-1,0.000297,-0.0000316>
          CONSTR/LINE,BF,3D,D_OHJAUS,N_OHJAUS,,
          OUTLIER_REMOVAL/OFF,3
          FILTER/OFF,WAVELENGTH=0
PNT2      =FEAT/POINT,CARTESIAN,NO
          THEO/<-0.024,-0.014,-0.001>,<-0.9999991,0.0013393,0.0000491>
          ACTL/<-0.025,-0.003,0>,<-1,0.000297,-0.0000316>
          CONSTR/POINT,PIERCE,D_TASC,LIN1
A3         =ALIGNMENT/START,RECALL:A2,LIST=YES
          ALIGNMENT/LEVEL,XPLUS,LIN1
          ALIGNMENT/TRANS,XAXIS,PNT2
          ALIGNMENT/TRANS,YAXIS,PNT2
          ALIGNMENT/TRANS,ZAXIS,PNT2
          ALIGNMENT/END

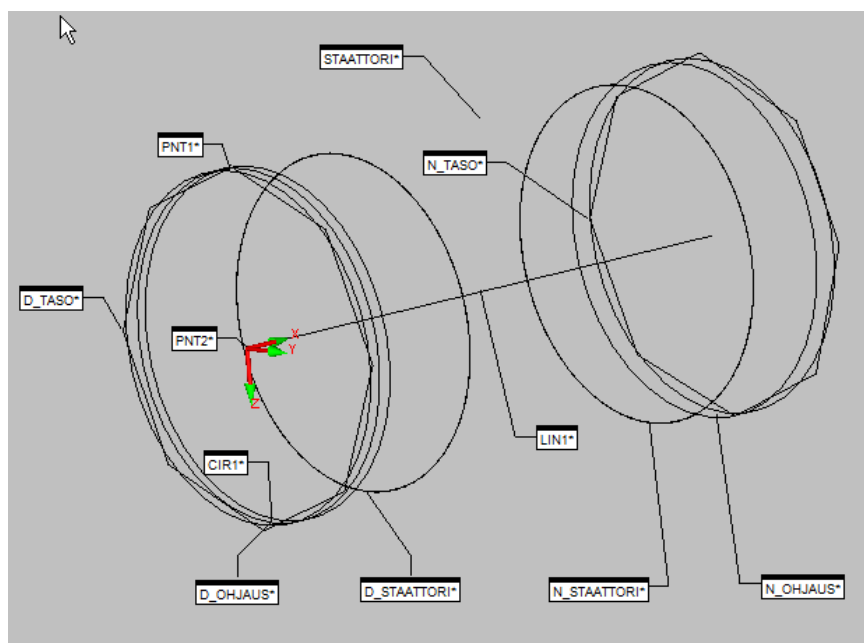
```

- Ohjelman loppuun laitetaan halutut mitat ja toleranssit, jotka halutaan tulostaa mittapöytäkirjaan.

Tämä runkotyyppi on yksinkertainen mitattava, koska siinä ei ole erillistä liitântä-kotelonpaikkaa, mutta piirustuksesta löytyy mitattujen ominaisuuksien lisäksi vielä kaksi geometrista toleranssia koskien jalanpaikkoja, eli oikean ja vasemman jalan tasomaisuus- ja niiden samansuuntaisuustoleranssit. Näiden toleranssien mittaaminen vaatisi rungon olemista mittapöydällä väärin päin ja se vaatisi erilaista kiinnitintä kuin mitä tällä hetkellä on saatavilla.



Kuva 15. Runko mittakoneessa



Kuva 16. Mitatun staattorin grafiikka esitettynä PC-DMIS –ohjelmassa

Taulukko 2. Mittakoneella mitatut halkaisijamitat sekä pituus

Nro.	D-Ohjaus 268(+0,12...+0,06)	N-ohjaus 268(+0,12...+0,06)	Staattori 256(0...-0,07)	Pituus 470,5(+/-0,10)
2311 A	0,094	0,084	-0,008	470,51
2307 A	0,091	0,079	-0,047	470,495
2312 A	0,094	0,085	-0,043	470,489
2309 A	0,100	0,089	-0,040	470,455
2308 A	0,118	0,110	-0,045	470,431
1310 A	0,095	0,083	-0,048	470,463
76 B	0,086	0,086	-0,039	470,417
77 B	0,087	0,087	-0,041	470,408
183 B	0,079	0,077	-0,042	470,414
2 B	0,073	0,070	-0,022	470,557
103 B	0,097	0,087	-0,036	470,436
49 B	0,094	0,091	-0,021	470,435

Taulukko 3. Ohjausten lieriömäisyys

Nro.	D-ohjaus 0,03	N-ohjaus 0,03
2311 A	0,087	0,074
2307 A	0,067	0,073
2312 A	0,155	0,123
2309 A	0,119	0,107
2308 A	0,09	0,069
1310 A	0,096	0,08
76 B	0,026	0,021
77 B	0,034	0,025
183 B	0,030	0,026
2 B	0,026	0,019
103 B	0,030	0,034
49 B	0,016	0,018

6.3 Tulosten analysointi

Havaittiin, että rungon käsimittaus sekä mittakoneen antamat tulokset halkaisija- ja rungon pituusmitoissa ovat erittäin lähellä toisiaan (**Taulukko 1 ja 2**).

Ohjausten lieriömaisyystoleranssit ovat kuitenkin erittäin huonoja monessa kappalessa (**Taulukko 3**). Varsinkin toimittajan A jokainen runko pitäisi hylätä ohjauksen lieriömaisyysden takia. Pinnanlaatu ohjauksissa oli erittäin hyvä.

Vertailun vuoksi joka rungosta mitattiin myös lieriömaisyys staattoriaukosta muodostetusta pitkästä sylinteristä. Sylinteri on muodostettu kahdesta ympyrästä. Huomattiin, että näiden ympyröiden halkaisijoissa oli eroa kaskimäärin vain muutamia tuhannesosamilli ja kuitenkin mittakoneen antama lieriömaisyysarvo oli todella suuri (**Taulukko 4**).

Taulukko 4. Staattoriaukon lieriömaisyys

Nro.	D-ympyrä 256(0...-0,07)	N-ympyrä 256(0...-0,07)	Erotus	Lieriömaisyys mittakoneella
2311 A	-0,03	-0,047	0,017	0,168
2307 A	-0,047	-0,04	-0,007	0,049
2312 A	-0,045	-0,04	-0,005	0,106
2309 A	-0,037	-0,043	0,006	0,076
2308 A	-0,044	-0,047	0,003	0,054
1310 A	-0,05	-0,047	-0,003	0,054
76 B	-0,039	-0,042	0,003	0,02
77 B	-0,039	-0,042	0,003	0,03
183 B	-0,039	-0,045	0,006	0,037
2 B	-0,023	-0,021	-0,002	0,024
103 B	-0,034	-0,038	0,004	0,033
49 B	-0,021	-0,021	0	0,011

Taulukko 5. Kohtisuoruus

Nro.	D-otsapinta/ D-ohjaus (0,04)	D-otsapinta/ Linja D-N (0,04)	N-otsapinta/ Linja D-N (0,04)
2311 A	0,110	0,048	0,049
2307 A	0,129	0,065	0,057
2312 A	0,178	0,057	0,059
2309 A	0,154	0,058	0,056
2308 A	0,120	0,044	0,058
1310 A	0,159	0,054	0,055
76 B	0,033	0,051	0,056
77 B	0,040	0,040	0,030
183 B	0,046	0,037	0,044
2 B	0,029	0,026	0,016
103 B	0,044	0,024	0,018
49 B	0,053	0,019	0,017

Piirustuksessa on vain yksi kohtisuoruustoleranssi (**Taulukko 5**). Siinä D-pään otsapintaa verrataan saman pään lyhkäiseen lieriöpintaan. Erityisesti toimittajan A rungoissa kohtisuoruus on todella huono, mikä johtunee ohjauksen lieriömäisyydestä (**Taulukko 3**). Toimittajan B rungoissa lieriömäisyys oli noin kolme kertaluokkaa pienempi ja myös kohtisuoruudet olivat parempia.

Kun otsapintojen kohtisuoruutta verrataan pitkää suoraan D-N, ovat arvot parempia ja toimittajalla B lähes hyväksyttävää tasoa.

Piirustuksessa on kaksi samankeskiyystoleranssia (**Taulukko 6**). Staattoripaikan vertaaminen linjaan D-N antoi pääosin hyviä tuloksia. Ainoastaan toimittajan A, yhdessä rungossa mitta meni yli sallitun. Kun D ja N- päiden ohjauksia verrattiin toisiinsa, olivat arvot jälleen erittäin huonoja.

Samansuuntaisuustoleransseja on piirustuksessa vain yksi (**Taulukko 7**). Siinä verrataan rungon otsapintoja toisiinsa. Tuloksista nähdään että samansuuntaisuudet olivat huonoja monessa rungossa, tämä johtuu otsapintojen huonosta kohtisuoruudesta perusmittoihin nähden.

Roottorin asentoa suhteessa staattoriaukkoon kuvaava samansuuntaisuus on kuitenkin lähes jokaisessa rungossa hyvä (**Taulukko 7**).

Taulukko 6. Samankeskeytyys

Nro.	staattori/ Linja D-N (0,04)	D-ohjaus/ N-ohjaus (0,04)
2311 A	0,071	0,121
2307 A	0,006	0,062
2312 A	0,007	0,101
2309 A	0,005	0,099
2308 A	0,004	0,091
1310 A	0,007	0,083
76 B	0,012	0,111
77 B	0,006	0,134
183 B	0,034	0,160
2 B	0,004	0,145
103 B	0,005	0,052
49 B	0,008	0,124

Taulukko 7. Samansuuntaisuus

Nro.	D-otsap./ N-otsap. (0,025)	Staattori/ Linja D-N (0,025)
2311 A	0,023	0,046
2307 A	0,024	0,025
2312 A	0,029	0,024
2309 A	0,032	0,023
2308 A	0,033	0,025
1310 A	0,033	0,025
76 B	0,027	0,018
77 B	0,030	0,019
183 B	0,020	0,007
2 B	0,027	0,009
103 B	0,025	0,013
49 B	0,024	0,009

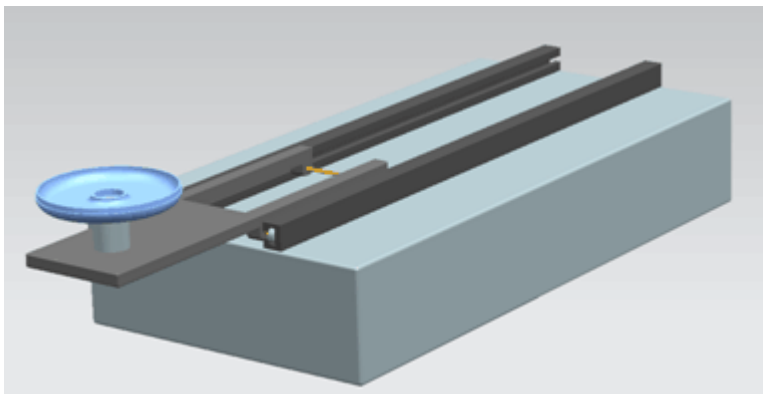
7 KEHITTÄMISIDEAT

7.1 Liikuteltava mittauskiinnitin

Koska pääosa mitattavista kappaleista nostetaan mittauskoneeseen käsin, olisi tärkeää, että työergonomia on kunnossa. Mittauskiinnittimen paikasta johtuen on kappaletta mahdoton nostaa siihen sellaisessa asennossa, joka ei rasittaisi mittajan selkää sekä olkapäiden ja niskan alueita.

Työergonomia parantuisi, jos mittauskiinnittimen voisi vetää kappaleen kiinnittämisen ajaksi lähemmäksi mittaajaa. Kappaleen voisi nostaa siihen suoralla selällä ja kuormitus alaselkään vähenisi huomattavasti. Myös kappaleen puhdistaminen onnistuisi paremmin eikä kivipöytä vahingoittuisi.

Yksi idea olisi kiskoilla liikkuva kelkka, johon voisi kiinnittää erilaisia mittauskiinnittimiä. Kiskot voi kiinnittää mittapöydässä oleviin kierteitettyihin reikiin, jotka ovat pöydässä tasajaolla. Kelkan täytyisi olla tukeva, koska sen liikkuminen mittauksen aikana ei tule kysymykseen. Lisäksi kelkalle tulisi rakentaa säädettäviä lukituksia sarjamittauksen takia sekä sen tipahtamisen estämiseksi mittapöydältä. Riittää, että kelkka tulisi noin puoli metriä ulos pöydän reunasta mittaajan suuntaan ja kappaleen nostaminen kiinnittimeen helpottuisi (**Kuva 17 ja 18**).

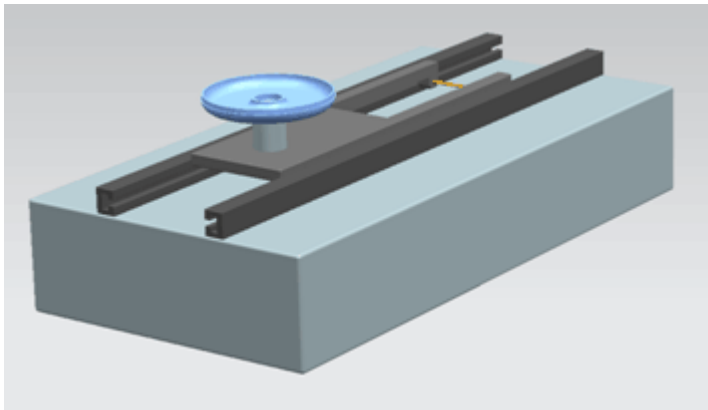


Kuva 17. Liikkuva kiinnitin ulosvedettynä

Vaatimuslista liikuteltavalle kelkalle:

- tukeva
- säädettävä ja muunneltava
- nopea ja helppo käyttää
- laakeroitu.

Tämän tutkimustyön tarkoituksena ei ole tarkoitus suunnitella liikuteltavaa mittauskiinnitintä niin, että se voitaisiin vielä valmistaa, vaan tarkoitus oli keksiä idea ongelmaan.



Kuva 18. Kiinnitin mittausasemassa

7.2 Ehdotus geometrysten toleranssien esittämiseen piirustuksessa

D- ja N-pään ohjauksista mitataan ympyrät ja niiden avulla muodostetaan suora D-N, ympyröiden keskipisteisiin. Tähän pitkään suoraan, joka kuvaa akselin keskikilinjaa, verrataan seuraavia muotoja (**Kuva 19**):

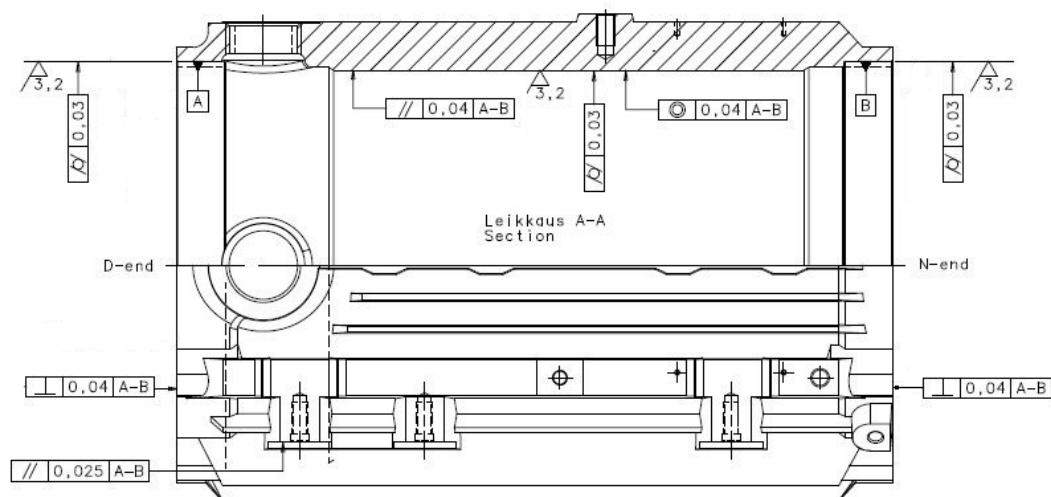
- Staattoriaukosta rakennetaan mahdollisimman iso sylinteri, jota verrataan perussuoraan D-N samankeskiyystoleranssin sekä vielä yhdensuuntaisuustoleranssin avulla. Näin voidaan olla varmoja siitä, että roottori pyörii staattoriaukossa suorassa ja mahdollisimman keskellä, ilmavälin ollessa

sama koko alueella. Samalla voidaan tarkistaa staattoriaukon sylinterimäisyys.

- Staattorin D- ja N-pään otsapinnoista mitataan tasot ja näitä tasoja verrataan jälleen tähän samaan perussuoraan kohtisuoruustoleranssin avulla.

Kun nämä rungon geometriset mitat ovat kunnossa, (olettaen, että kaikki muut laakerointiosat ovat virheettömiä) toimii sähkömoottori virheettömästi mekaanisten ja oikean ilmavälin ansiosta myös sähköisten ominaisuuksien perusteella. Roottori pyörii keskellä ja suorassa staattoriaukossa ja laakerit täysin kohtisuorassa akselin kanssa laakerivalmistajan antamien ehtojen mukaisesti.

Myös mittausteknillisesti kappaleen suuntaaminen tällaiseen pitkään suoraan antaa parhaan mahdollisen mittaustuloksen mitattaessa tämänkaltaisia kappaleita.



Kuva 19. Ehdotus geometrysten toleranssien esittämiseen piirustuksessa

7.3 SPC:n hyödyntäminen laadunvalvonnassa

ABB Oy, Moottorit ja generaattorit yksikössä mitataan alihankkijoilta tulevia ko-
neistettuja kappaleita. SPC:n käyttöä ei voidakaan kohdentaa eri työstökoneisiin,
joka jää valmistajan vastuulle vaan laaduntuottokyvyn seuraaminen täytyy koh-
dentaa eri alihankkijoiden toimintaan.

Perusjoukoksi voidaan määritellä esimerkiksi toimittajan A staattorirungon ohjausten halkaisija kokoluokassa 160 ja näyte-eräksi sama määrä, joka tarkastuksessa mitataan. Tämän halkaisijan vaihtelu johtuu kuitenkin prosessin ulkoisista syistä, kuten esim. metallin lämpötilakertoimen vaikutuksen mittaan, eikä anna kokonaiskuvaa toimittajan laaduntuottokyvystä. Parempi perusjoukko olisi esimerkiksi rungon D- ja N-päiden samansuuntaisuustoleranssi. Siinä hajonta johtuu prosessin sisäisestä vaihtelusta, kuten työstökoneen viasta tai asetusten muuttumisesta. Staattorirungon päät koneistetaan eri aikaan pyöräyttämällä kappaletta työstökoneessa 180 astetta ja jos lukitus ei ole kunnossa, se aiheuttaa otsapintojen samansuuntaisuusvirheen.

PC-DMIS mittausohjelmaan voidaan lisätä rivi, joka automaattisesti lähettää halutut tiedot esim. mittaustulokset SPC-ohjelmaan tai taulukkolaskentaohjelmaan.

7.4 Käytössä oleva SPC-ohjelma

Kun SPC-ohjelman käyttöä alettiin tutkia tarkemmin mittakonekäytössä, huomattiin että MM-tehtaan mittakoneen ohjelmiston mukana oli toimitettu QC-CALC-niminen SPC-ohjelma, kun mittakone otettiin käyttöön vuonna 2005. Ohjelman käyttämiseen ei kuitenkaan kukaan ole perehtynyt ja sen käyttö on unohdettu kokonaan.

QC-CALC-ohjelma on räätälöity mittakonekäyttöön ja se kerää tietoa mittausprosessista reaaliajassa. Ohjelma muodostaa mittaustuloksista valvontakortteja ja kaavioita sekä laskee prosessin tunnuslukuja.

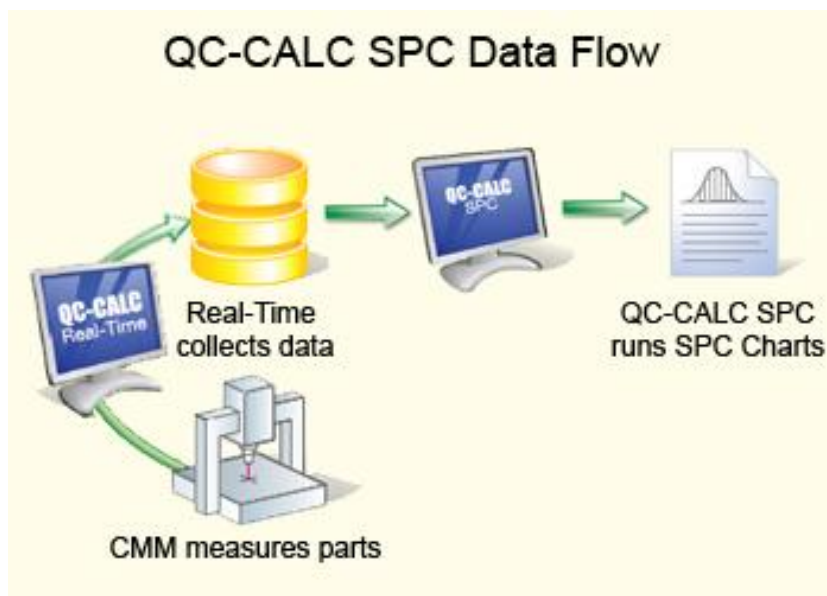
Ohjelman käyttöliittymä on erittäin selkeä ja helppokäyttöinen. Kun ohjelma on asennettu tietokoneelle, ei se vaadi käyttäjältä paljoakaan toimenpiteitä. Mittakoneohjelmaan lisätään pari ohjelmariviä, jonka jälkeen QC-CALC-ohjelma kerää tietoa taustalla. Kerättyihin mittaustietoihin pääsee käsiksi kuka vain, jolla on oikeudet kyseiseen tiedostoon. Tietoja on helppo suodattaa esim. halutun mitan tai toleranssin suhteen. Tietoa voi myös seurata tietyltä aikaväliltä esim. viikko tai kuukausi kerrallaan.

Mittaohjelmaan kirjoitetaan neljä riviä tekstiä ennen mittaustuloksia ja tiedonkeruu alkaa.

```
STATS/ON, DATAPAGE, $
DIRECTORY=, $
READ=0, WRITE=0, MEMPAGES=0, DIMENSION NAME, CONTROLCALC OFF, $
STATS/END
```

Mittaustulosten perään lisätään rivi ”STATS/OFF”, joka sulkee tiedonkeruun.

```
STATS/OFF
```



Kuva 20. QC-CALC ohjelmakaavio /7/

8 YHTEENVETO

Tämän lopputyön tekeminen oli hyödyllistä oman työn parantamiseksi, niin työergonomian kuin mittausohjeiden laatimisenkin kannalta. Havaittiin, että piirustuksissa olevia kaikkia geometrisia toleransseja ei mittausteknillisesti ole mahdollista mitata tai saadut tulokset eivät anna oikeaa kuvaa staattorirungon muodoista, eikä valmiin moottorin toiminnasta. Erityisesti lieriömäisyystoleranssin mittausta mittakoneella olisi tutkittava enemmän ja sen käyttöä piirustuksissa harkittava.

Koska moottorin laakerointiosien geometrisia toleransseja mitataan tarkasti mittakoneella, niin on erittäin tärkeää, että myös staattorirungon geometria on kunnossa. Runko on iso ja epävakaa kappale verrattuna muihin laakerointiosiin ja sen geometrysten toleranssien arvoja on mietittävä tarkkaan moottorin toiminnan kannalta.

Mittaamista pidetään yleensä yksinkertaisena työnä ja mittakoppia vain tavaranylävivirtauspaikkana. Nykyisen toiminnanohjausjärjestelmän ansiosta vastaanottoon saapuva tavara on jo osin kiireellistä ja sillä on varaus kaupalle, joka sitä odottaa. Tämä aiheuttaa tuotannon painetta tarkastajalle. ABB Moottorit ja generaattorit yksikössä tarkastajat kuuluvat logistiikkaosaston alaisuuteen. Suuri osa työajasta kuluukin tavaranyl siirtelyyn trukkien ja pumppukärkyjen avulla hyllyistä mittakoppiin ja takaisin. Myös tavaranyl siirto toiminnanohjausjärjestelmässä vie ison osan työajasta.

Kk-tehtaan mittakopissa työskentelee yksi tarkastaja yhdessä vuorossa ja viiden prosentin sääntö tarkastusotannassa tarkoittaa käytännössä vähintäänkin useita kymmeniä, jopa satoja tarkastustapahtumia päivässä. Lisäksi tarkastajan työhön kuuluu erilaiset mittaukset tuotannossa.

Työ tarkastajana vaatii laaja-alaisen mittavälineiden ja piirustuksen tuntemuksen. Kalliin 3D-mittakoneen käyttö vaatii jatkuvaa oppimista ja koneen vastuullista käyttämistä sen ominaisuuksien tehokkaaseen hyödyntämiseen.

LÄHTEET

- /1/ ABB yleisesittely.[viitattu 6.9.2011]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://www.abb.fi/cawp/fiabb251/4c7fb86040626fd9c2256b2000427c68.aspx>>
- /2/ ABB:n intranetistä, yleisesittely kalvosarjat [viitattu 6.9.2011]. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://fi.inside.abb.com/>>
- /3/ Andersson Paul H, Tikka Heikki 1997, Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoon kirjapainoyksikkö, WSOY
- /4/ Metallitekniikka-lehti 4/11, Mittauskoneet yleistyvät pienissä konepajoissa.
- /5/ Mittalaitteiden maahantuonti ja koulutus. Saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://www.visava.fi>>
- /6/ Pere, Aimo 2004, Koneenpiirustus. Espoo, Kirpe Oy.
- /7/ Prolink software. Saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://www.prolinksoftware.com>>
- /8/ Salomäki, Rauno1999, Hyödynnä SPC, Suorituskykyiset prosessit. Gummerus kirjapaino Oy Jyväskylä, MET
- /9/ Tikka, Heikki 2009, Koordinaattimittaus. Tampereen yliopistopaino Oy, Juvenes print.
- /10/ Valtion säädöstietopankki.[viitattu16.11.2011].Saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://www.finlex.fi>>.
- /11/ Vornanen, Mika 2007, Sähkömoottorin tietokoneavusteinen toleranssianalyysi. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

LIITELUETTELO

Liite 1. Staattorirungon käsimittauspöytäkirja

Liite 2. Staattorirungon piirustus 3GZF113016-126

Liite 3. Staattorirungon piirustus 3GZF113016-146

Liite 4. Staattorirungon piirustus 3GZF113020-20

Liite 5. Staattorirungon mittausohjelma mittakoneelle