



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Markus Aspholm

GEOMETRISET MITTAUKSET JA
SÄÄTÖ OSANA TYÖSTÖKESKUKSEN
LAADUNTUOTTOKYKYÄ

Tekniikka
2015

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasan ammattikorkeakoululle kone - ja tuotantotekniikan koulutusohjelmassa vuoden 2015 aikana. Työn tilaaja on Vaasassa toimiva ABB Oy Motors and Generators-yritys. Työn ohjaajina toimivat Vaasan ammattikorkeakoulusta lehtori Hannu Hyvärinen ja laatupäällikkö Jaakko Rantamäki ABB Motorsilta and Generaattoreilta.

Työn tavoitteena on tuottaa työstökoneen geometrian mittauksesta ja säätämisestä kertova yleisluonteinen ohje, sekä lisätä tietämystä työstökoneen geometrian tärkeydestä oikosulkumoottorin laatuun.

Haluan kiittää työn ohjaajia Jaakko Rantamäkeä ja Hannu Hyväristä, sekä kunnossapitopäällikkö Aki Kangasluomaa ja työnjohtaja Marko Tammilehtoa avusta ja mahdollisuudesta toteuttaa tämä työ. Erityiset kiitokset omistan vaimolleni Tuulikille ja perheelleni, joka on jaksanut kannustaa ja tukea minua koko opiskeluni ajan.

Vaasassa 6.11.2015

Markus Aspholm

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Markus Aspholm
Opinnäytetyön nimi	Geometriset mittaukset osana työstökeskuksen laaduntuottokykyä
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	78 + 3 liitettä
Ohjaaja	Hannu Hyvärinen

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa tietoa työstökeskuksen akseleiden geometrisista mittauksista sekä auttaa ymmärtämään geometrisia mittauksia, sekä luoda yleisluonteinen akseleiden geometrian säätöohje vaakakaraisille Burkhardt & Weber työstökeskuksille. Työn tarkoituksena on myös antaa uusia ajattelu ja ratkaisumalleja tehtaan kunnossapito- ja laatuosastolle.

Opinnäytetyössä tutkittiin onko mahdollista yhdenmukaistaa työstökeskuksella ja mittaushuoneen koordinaattikoneella tehtyjä mittauksia ja luoda näiden kahden välille mittausraportti, jonka avulla alaan perehtyneen henkilön olisi mahdollista säätää työstökone.

Opinnäytetyön mittaus- ja säätöohjeen havainnollistamisen apuna käytettiin työstökoneen valmistajan geometrian mittaustapaa, joka perustuu alan valmistajien käytössä oleviin keskeisiin standardeihin.

Työn tuloksena ymmärrys geometrian vaikutuksesta osana laaduntuottokykyä kasvaa, ja tehtaan kunnossapidolle saadaan käyttöön suomenkielinen geometrian mittausta helpottava ohjeistus. Mittaushuoneen mittaustulosraporttiin on tarkoituksena myös lisätä tuloksien tulkitsemista helpottava visuaalinen kuva rungon geometriasta.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Markus Aspholm
Title	Geometric Measurements as Part of the Machining Center Quality Assurance Capability
Year	2015
Language	Finnish
Pages	78 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Hannu Hyvärinen

The aim of this study was to produce information about the machining center axes of the geometric measurements and an understanding of geometric measurements, as well to create general instructions for axes geometry adjustment on horizontal machining centers Burkhardt and Weber. The aim was also to provide new thinking and solutions for plant maintenance and quality department.

The thesis studied whether it is possible to harmonize the machining center and the measurements-made in the measuring room with coordinate measuring machine and create reports between these two measurements, which would make it possible to adjust the machine by a skilled person.

The measurement and control instruction illustration of the thesis was supported by the machine tool manufacturer geometry measurement method, which is based on the key standards enabled manufacturers in the sector.

As a result the thesis, understanding the impact of geometry as a part of quality assurance capability increases, as well as instructions in Finnish for the plant maintenance which makes the geometry measurement easier. The purpose is to add a visual image of the body geometry to the ambient measurement report to make the interpretation of the results easier.

Keywords geometry, measuring, quality

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
LYHENTEET JA KÄSITTEET	11
1 JOHDANTO	12
1.1 Työn taustat	12
1.2 Työn rajaukset	13
2 ABB	14
2.1 ABB maailmalla	14
2.2 ABB:n alku Suomessa	14
2.3 ABB Motors and Generators, Vaasa	15
2.4 Sähkömoottorin rakenne	15
3 KUNNOSSAPITO JA SEN ERI MUODOT	17
3.1 Kunnossapitolajit	17
3.1.1 Korjaava kunnossapito	19
3.1.2 Ennakoiva kunnossapito	19
3.1.3 Parantava kunnossapito	20
3.1.4 ABB Motors and Generators-kunnossapitostrategia	21
4 STAATTORIRUNKO	23
4.1 Staattorirunkojen materiaali ja sen ominaisuudet	24
4.2 Rungon geometriset mitat	25
5 KONEISTUS OSANA TUOTANTOPROSESSIA	26
6 STAATTORIRUNGON MITTAAMINEN	27
6.1 Mittaustaajuus	27
6.2 3D-koordinaattimittaus	27
6.3 Kohtisuoruus	27
6.4 Tasomaisuus	28
6.5 Ympyrämäisyys	28
6.6 DEA-koordinaattimittauskone	28

6.7	Staattorirungon mittaaminen koordinaattimittauskoneella	29
6.8	Mittaustulosten tarkastelu	32
7	BURKHARDT & WEBER-TYÖSTÖKESKUS	34
7.1	Burkhardt & Weber MCR 1200.....	34
7.1.1	Pääkara ja voimansiirto	35
7.1.2	Työkalumakasiini	36
7.1.3	Paletinvaihtajat	37
7.1.4	Paletin kiinnitys NC- pyöröpöytään.....	38
7.1.5	Työstökeskuksen perustukset.....	40
7.1.6	Säätöjalkojen kiinnitys perustuksiin	40
8	TYÖSTÖKESKUKSEN GEOMETRISET MITTAUKSET	42
8.1	Mittausvälineet.....	42
8.1.1	Mittakello	42
8.1.2	Wyler nivelswiss-tarkkuusvesivaaka	43
8.1.3	Kivisuorakulma	43
8.1.4	Jatkettava mittausvarsi	44
8.1.5	Tyhjä paletti	44
8.2	Geometrinen mittausten suorittaminen	45
8.2.1	Esivalmistelut.....	46
8.2.2	Koordinaatisto	46
8.2.3	Mittaus x-z	47
8.2.4	Mittaus x-y	49
8.2.5	Mittaus y-z	51
8.2.6	Mittaus b-x	52
8.2.7	Mittaus b-z	54
8.2.8	B ja y-akselien suoruus x-suunnassa	55
8.2.9	B ja y-akselien suoruus z-suunnassa	55
8.2.10	Karan kohtisuoruusmittaus x-akselin suhteen.....	56
8.2.11	Karan kohtisuoruuden mittaaminen y-akselin suhteen	57
8.2.12	X-akselin kiertymä ja kaltevuus.....	58

9	MITTAUSTAPOJEN YHTEENSOVITTAMINEN.....	61
9.1	Mittaushuoneen raportin uudistaminen.....	61
9.2	Ehdotus koordinaattikoneen mittausraportiksi	62
9.3	Työstökeskuksen vertaaminen mittausraporttiin	64
10	KEHITYSIDEOITA.....	67
10.1	Koneistuskeskuksen puhtaus	67
10.2	Koneistuspaletit.....	68
10.3	Mittauspaletti	69
10.4	Uusi työkalu koordinaattimittauskoneelle	69
10.5	Työstökeskuksen liukupinnat.....	70
10.6	Mittauskertojen tihentäminen	72
10.7	Yhteistyö koneenvalmistajan kanssa	74
10.8	Vaihtoehtoisen mittausmenetelmien tutkiminen.....	74
11	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	76
	LÄHTEET	78
	LIITTEET.....	1

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Valurautarunkoisen oikosulkumoottorin rakenne.....	16
Kuva 2 Arrow maint-kunnossapito ohjelmisto	18
Kuva 3. Näkymä Arrow-maint raportointi	18
Kuva 4. Korjauksien ja huoltojen suunnittelu	22
Kuva 5. Valurautaisia staattorirunkoja koneistuksen jälkeen.....	23
Kuva 6. Valurautojen ominaisuudet	24
Kuva 7. Geometriset mitat ja pintamerkinnot	25
Kuva 8. Koneistusosaston periaatekuva	26
Kuva 9. 3D-koordinaattimittauskone DEA	29
Kuva 10. Ohjauksen pisteiden mittaaminen	30
Kuva 11. Tason pisteiden mittaaminen	30
Kuva 12. Ympyrän mittaaminen rungon sisältä	31
Kuva 13. Ympyröiden keskipisteiden avulla muodostettava suora.....	31
Kuva 14. Burkhardt & Weber työstökeskuksen pääakseleiden suunnat	35
Kuva 15. Pääkara, vaihteisto sekä päämoottori	36
Kuva 16. Työkalumakasiinin akselit ja laitteet	37
Kuva 17. Paletinvaihtaja.....	38
Kuva 18. Huuhtelusuuttimien ja kohdistussylinterien sijainti.....	39
Kuva 19. Vastinpinnat ja kiinnityslista NC- pyöröpöydässä	39
Kuva 20 a ja b. Säätojalkojen esiasennus	41
Kuvat 21 a ja b. Säätojalan valaminen	41
Kuva 22. Mittakello.....	43
Kuva 23. Elektroninen tarkkuusvaaka.....	43
Kuva 24. Kivisuorakulma.....	44
Kuva 25. Jatkettava mittausvarsi	44
Kuva 26. Paletti ilman koneistuskiinnitintä	45
Kuva 27. Työstökeskuksen koordinaatisto	47
Kuva 28. M1-M2-pisteiden mittaus	48
Kuva 29. M3-M4-pisteiden mittaus	48

Kuva 30. M1-M2-pisteiden mittaus sekä vällyspellit kiven ja paletin välissä	50
Kuva 31. M3-M4-pisteiden mittaus	50
Kuva 32. M1-M2-pisteiden mittaus	51
Kuva 33. M3-M4-pisteiden mittaus	52
Kuva 34. M1-M2 ja M3-M4 pisteiden mittaus	53
Kuva 35. M1-M2 ja M3-M4-pisteiden mittaus	54
Kuva 36. Karan kohtisuoruuden mittaaminen x-akselin suhteen	57
Kuva 37. Karan kohtisuoruuden mittaaminen y-akselin suhteen	58
Kuva 38. X-akselin suoruuden mittaaminen työstöalueella	60
Kuva 39. Koneistettu runko koneistuskiinnittimessä	62
Kuva 40 a ja b. Mittauspisteiden värit ja koordinaattipisteet	64
Kuvat 41 a ja b. Virheiden tulkinta mittausraportista	65
Kuva 42. X- ja z-akselien keskinäinen suorakulmaisuus	66
Kuva 43. Koneistusjätettä paletinlukituslistan ja ohjauspintojen välissä.....	68
Kuva 44 a ja b. Staattoriaukon suuntavirhe kytkentäkotelon puolelta	71
Taulukko 1. Koordinaattimittauskoneen mittausraportti	33
Taulukko 2. X-z mittaustuloksien laskentataulukko.....	49
Taulukko 3. X-y mittaustuloksien laskentataulukko	51
Taulukko 4. Y-z-mittaustuloksien laskentataulukko	52
Taulukko 5. B-z mittaustuloksien laskentataulukko.....	55
Taulukko 6. By-x laskentataulukko	55
Taulukko 7. By-z laskentataulukko	56
Taulukko 8. Karan kohtisuoruuden laskentataulukko x-akselin suhteen	57
Taulukko 9. Karan kohtisuoruuden laskentataulukko y-akselin suhteen	58
Taulukko 10. Kmk:n mittatarkkuus käsivaraiseen mittaamiseen verrattuna.....	73

LIITELUETTELO

LIITE 1. Staattorirungon piirustus 3GZF113035-1

LIITE 2. Staattorirungon piirustus 3GZF113035-236

LIITE 3. Staattorirungon piirustus 3GZF114035-1

LYHENTEET JA KÄSITTEET

ABB	Asea Brown Boweri
BW	Burkhardt+Weber, työstökonevalmistaja
D-PÄÄTY	Oikosulkumoottorin akselin puoleinen pääty
IEC	International Electro technical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
KARA	Työstökoneen koneistuspää
KMK	Koordinaattimittauskone
KK	Rakennuksen nimi Strömberg parkissa
MM	Rakennuksen nimi Strömberg parkissa
N-PÄÄTY	Oikosulkumoottorin tuulettimen puoleinen pääty
NC	Numerical Controlled. Numeerisesti ohjattu järjestelmä
PALETTI	Kiinnittimen liikuteltava alusta
71-450	Sähkömoottorin IEC-runkokoot

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat

Puhuttaessa oikosulkumoottorin virheettömästä ja luotettavasta toiminnasta, on moottorin valurautainen runko yksi tärkeimmistä osista. Mahdolliset rungon koneistuksen eri vaiheiden työstövirheet vaikuttavat olennaisesti moottorin laakereiden elinikään, värinöihin, roottorin ja staattorin väliseen ilmaväliin, ja näin saattavat luoda monia ennalta arvaamattomia ja vaikeasti hallittavissa olevia vikoja tuotteen. Vaasan tehtailla ABB käyttää runkokoneistuksessa tunnetun saksalaisen valmistajan Burkhardt & Weberin vaakakaraisia työstökeskuksia, joilla tehdään kaikki rungon koneistuksen tarkkuutta vaativat työvaiheet, kuten laakerikilpien ohjauksien koneistukset ja staattoripaketin paikan avarrukset. Käytössä on tällä hetkellä neljä MC-120-ja kaksi MC-80-työstökeskusta. Koneet on valmistettu 1991 - 2009 välisenä aikana.

Työstökeskukset ovat yleensä konepajojen tarkimpia työstökoneita joiden pääakselien samansuuntaisuus vaikuttaa suuresti valmistettavan tuotteen laadukkuuteen. Työstökoneiden laaduntuottokykyä ja virheetöntä toimintaa varmistamaan onkin yleensä kehitetty koneiden valmistajan taholta ennakkohuoltosuunnitelma, jossa varmistetaan työstökeskuksen laaduntuottokyvyn säilyttämiseksi tärkeimmät huoltokohteet. Vaasan tehtaalla on oma huolto- ja kunnossapito-organisaatio, joka yhdessä koneenvalmistajan kanssa pyrkii varmistamaan koneiden häiriöttömän toiminnan sekä varaosien saatavuuden. Tehtaan kunnossapito suorittaa geometriset mittaukset samoilla ohjeilla, työkaluilla sekä samalla menetelmällä kuin koneen valmistaja. Tällä pyritään varmistamaan, että suoritettavat mittaukset ovat aina vertailukelpoisia keskenään eikä tuloksin varaisuutta pääse syntymään.

Koneistaja mittaa käsin jokaisesta valmistuneesta rungosta staattoriaukon ja ohjauksen halkaisijan sekä kappaleen pituuden. Tämän lisäksi laadunvalvonnan mitaushuoneessa mitataan 3D-koordinaattimittauskoneella staattorirunkoja, joiden tulee olla määriteltujen toleranssien mukaisesti valmistettuja. Näin voidaan ylläpitää

riittävää laaduntuottoa koneistuskeskuksilla. Mittauksia suoritetaan yksi kuu-kaudessa jokaiselta työstökeskukselta. Mitattava runkotyyppi ei ole aina sama.

Mittaustuloksien ylittäessä suunnittelijan määrittämät toleranssialueet ja on syytä epäillä työstökoneesta johtuvaa vikaa, kunnossapitoasentaja kutsutaan selvittämään mahdollista vikaa mittaushuoneesta saadun mittausraportin mukaan. Tämä poikkeaa esitystavaltaan täysin työstökoneen valmistajan geometrian mittaustavasta. Näiden kahden erilaisen tavan välille on tarkoituksena luoda mittaustapojen tulkin-taa helpottava ohjeistus, joka auttaa työstökeskuksen korjaamiseen koulutettua henkilöstöä etsimään vikoja koneen geometriasta, reagoimaan niihin oikealla tavalla ja suorittamaan tarvittavat säätötoimenpiteet laaduntuottoa palauttamiseksi.

Moottorirungon geometrian muutoksia aiheuttavia muita poikkeamia työstökoneella voivat olla esimerkiksi valukappaleen vääränlainen kiinnitys kiinnittimeen, epäpuhtaudet työstökoneen pyörivällä pöydällä sekä työstökeskuksen perustuksissa tapahtuneet muutokset. Voi myös olla tarpeellista selvittää teflonista valmistettujen liukupintojen kunto.

1.2 Työn rajaukset

Tämä työ tulee keskittymään työstökeskuksen x, -y, -z ja b-pääakseleiden mekaaniseen geometriaan ja niiden vaikutuksiin työstettävän valurautaisen kappaleen laatuun. Työssä ei käsitellä paljon työkalujen, koneistuskiinnittimien tai rungon pesukoneen veden lämpötilan aiheuttamia muodonmuutoksia kappaleelle. Myöskään akselien numeeriseen kompensointiin ei mennä syvällisemmin. Laadittava mitaus- ja säätöohje on tarkoitettu ABB Motorsin käyttämille vaakakaraisille Burkhardt and Weber-työstökeskuksille.

2 ABB

Tässä luvussa kerrotaan ABB:stä maailmanlaajuisena yhtiönä sekä ABB Oy Motors and Generatorsin edeltäjästä Strömberg Oy:stä.

2.1 ABB maailmalla

ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka tuotteet, järjestelmät ja palvelut auttavat asiakkaita hyödyntämään sähköä tehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. ABB:n pääkonttori sijaitsee Zürichissä Sveitsissä. ABB muodostettiin 1988 yhdistämällä ruotsalainen Asea ja sveitsiläinen Brown Power BBC. Tänään ABB:llä työskentelee noin 140 000 henkilöä yli 100 maassa kaikilla mantereilla. Vuonna 2014 pääyhtiön liikevaihto oli 38 miljardia EUR josta Suomen ABB:n osuus 2,1 miljardia EUR. Suomen ABB:llä työskentelee 5 200 henkilöä. Yhtiö käyttää maailmanlaajuisesti tuotekehitykseen vuosittain 1,5 miljardia EUR. Yhtiön pääjohtajana toimii saksalainen Ulrich Spiesshofer. ABB:n liiketoiminta on jaettu viiteen divisioonaan jotka keskittyvät eri tuoteryhmiin ja teollisuuden aloihin.

2.2 ABB:n alku Suomessa

Suomen ABB:n edeltäjän Strömbergin tarina alkoi Helsingin Kampista, jonne Gottfrid Strömberg perusti vuonna 1889 sähköliikkeensä, joka valmisti dynamo- ja tasa-virtageneraattoreita sekä sähkövalaistuskeskuksia. Suomen sähköistyessä 1900-luvun ensimmäisinä vuosikymmeninä Strömbergille riitti töitä ja Pitäjänmäen tehdas valmistui 1910-luvun lopulla. Vaasan tehtaiden toiminta alkoi sotavuonna 1944. Strömberg kasvoi sotien jälkeisinä vuosikymmeninä yhdeksi Suomen merkittävimmistä yhtiöistä. Sotakorvauksien suorittamisella Neuvostoliitolle oli merkittävä osuus yrityksen kehityksessä. Strömbergin aikakausi itsenäisenä yhtiönä päättyi 1983, kun Kymi-Kymmene myi osakeomistuksensa Ruotsalaiselle Asealle, joka puolestaan fuusioitui sveitsiläisen BBC:n kanssa. Yhteenliittymästä alkoi nykyisen ABB:n aikakausi. /1/

2.3 ABB Motors and Generators, Vaasa

Vaasan tehdas on osa Suomen ABB:n moottorit ja generaattorit-yksikköä, jolla on tehtaat Vaasassa sekä Helsingissä. ABB:n tuuligeneraattorien sekä korkea- ja keskomagneettimoottoreiden tuotekehitysvastuu on Helsingissä. Vaasan yksikkö tuottaa asiakkaan tarpeisiin ja sovelluksiin räätälöityjä valurautarunkoisia sähkömoottoreita ja generaattoreita. Vaasassa valmistettavien moottorien akselikorkeuksia ovat: 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400 ja 450 mm. Yksikön tuotevalikoimaan kuuluu myös räjähdyspaineen kestäviä Exd-moottoreita teholuokassa 0,55 - 630 kW, sekä uutena tuotteena HDP-moottorit. Räjähdysvaarallisten tilojen pienjännitemoottoreissa Vaasan tehtaalla on maailmanlaajuinen vastuu. ABB:n valmistamat moottorit täyttävät IEC- ja EN-standardit. Kaikki tuotantoyksiköt noudattavat myös ISO 9001- laatustandardeja sekä ISO 14000- ympäristöstandardin vaatimuksia sekä asianmukaisia EU-direktiivejä. Vaasan tehtailla on noin 600 työntekijää ja yhtiön toimitusjohtajana toimii Harri Mykkänen.

/2/

2.4 Sähkömoottorin rakenne

Oikosulkumoottorin keksijänä pidetään Nikola Teslaa, joka 1880-luvulla kehitti ja patentoi pitkälti nykymoottoreissakin käytössä olevan rakenteen. Mekaaniselta rakenteeltaan sähkömoottori on varsin yksinkertainen sisältäen pyörivän roottorin akselineen, staattorin käämityksineen, laakeroinnin, rungon ja tarvittavat liitännät.

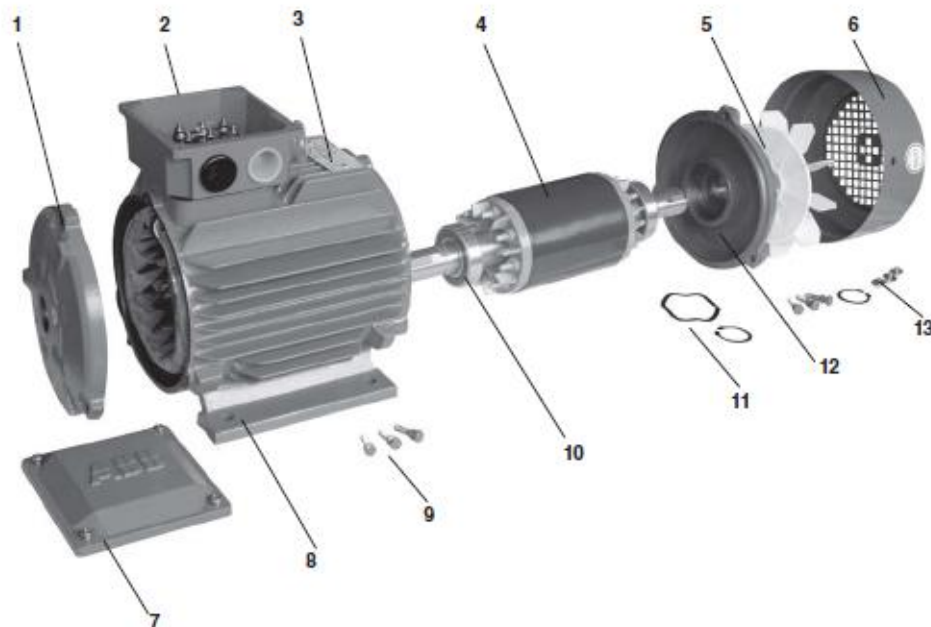
/3/ (**Kuva 1.**)

Sähköisesti oikosulkumoottorin toiminta perustuu magneettikentän ja siinä olevan virrallisen johtimen välisiin vuorovaikutuksiin. Staattoriin sijoitettujen kuparikäämitysten ja verkkotaajuudella vaihtelevan vaihtovirran avulla voidaan induktiolain mukaisesti indusoida virta roottoriin.

Roottori on valmistettu ohuista sähkölevyistä siten, että levyihin on uritettaessa jätetty reiät roottorisauvoja varten. Roottorisauvat on valettu sulasta alumiinista ja suljettu molemmista päistä oikosulkurenkailla. Näin roottorivirtapiiriin muodostuu

induktiolain mukainen virta, joka puolestaan aiheuttaa magneettikentässä ollessaan voimavaikutuksen ja tempaa roottorin akseleineen pyörimään staattorin magneettikentän mukana.

Sähkömoottoreita voidaan käyttää joko tasavirralla tai vaihtovirralla, riippuen sovelluksesta. Tasavirtamoottorin roottorin pyörimisen saa aikaan kommutaattori, jolla vaihdetaan magneettien napaisuutta. Vaihtovirtamoottorissa puolestaan napaisuuden vaihdon saa aikaan vaihtosähkön taajuuden muutos. Vasassa valmistettavat sähkömoottorit ovat kolmivaiheisia vaihtosähköoikosulkumoottoreita. /4/



1	D-pään laakerkilpi	8	Staattori
2	Liitännäkotelo	9	Pultti
3	Arvokilpi	10	Laakeri
4	Roottori	11	Aaltomuotoinen jousirengas
5	Tuuletin	12	N-pään laakerkilpi
6	Tuulettimen suojus	13	Ruuvi
7	Liitännäkotelon kansi		

Kuva 1. Valurautarunkoisen oikosulkumoottorin rakenne

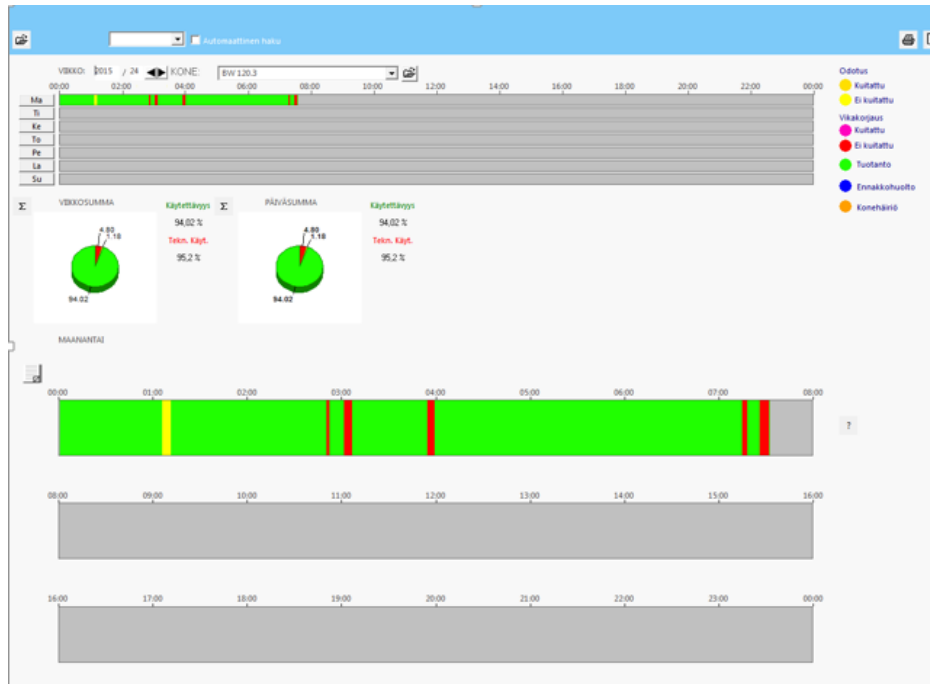
3 KUNNOSSAPITO JA SEN ERI MUODOT

Teollisuuden kunnossapidon kehitysvauhti konepajateollisuudessa on ollut melko nopeaa. Yritysten tarve laitteiden toimintakyvyn säilyttämisestä kaikkina vuorokauden aikoina on kasvanut ja kunnossapidon tarve on näin korostunut entisestään. Kunnossapidon pääasiallinen tehtävä on vikaantumisten estäminen ennalta ennakkohuoltojärjestelmän avulla, sekä vikaantumaan päässeiden laitteiden korjaaminen ja niiden vikaantumiseen johtaneiden juurisyiden selvittäminen.

Kunnossapidon määritelmä standardissa SFS-EN 13306 2001 on seuraava: Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana. Tässä luvussa kerrotaan lisäksi kunnossapidon eri muodoista ja ABB Motors and Generators kunnossapito-osastosta sekä sitä ohjaavasta kunnossapidon strategiasta.

3.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapitolajit voidaan määritellä kahteen kategoriaan: korjaavaan ja ennakkoivaan kunnossapitoon. Ennakoivan kunnossapidon merkitys kasvaa jatkuvasti, koska mahdollisuudet välillisten kustannuksien kohdentamiseen ennakkohuollon toimenpiteissä on parantunut. Ennakoivan kunnossapidon osuus tulisi olla suunnittelematonta kunnossapitoa selvästi suuremmassa osassa yllättävien vikaantumisten estäjänä. Silti on osoittautunut käytännössä, että koneiden ja laitteiden yllättävistä vikaantumisista ei koskaan tulla täysin pääsemään eroon. Ennalta arvaamattomia tekijöitä löytyy aina, johtuen koneiden ja niitä ohjaavien ohjelmistojen yhä kasvavasta monimutkaisuudesta sekä inhimillisestä tekijästä. Näitä tekijöitä ei kattavinkaan ennakkohuoltojärjestelmä pysty täysin poistamaan. Koneiden käytettävyyden arviointiin käytetään Vaasan tehtailla Arrow-maint kunnossapito-ohjelmistoa, jolla voidaan mitata kunnossapidon toteutuneita strategioita sekä saadaan ennakkohuoltojen ja korjausten taloudelliset vaikutukset selvitettyä (**Kuva 2 ja 3.**)



Kuva 2 Arrow maint-kunnossapito ohjelmisto

The screenshot shows the 'Tee uusi raportti' (Create new report) window in the Arrow maintenance reporting software. The window has a blue header and a navigation bar with options: 'Valitse koneet', 'Valitse laskurit', 'Valitse aikaväli', 'Valitse ryhmittely', 'Valitse hakuehdot (Loki listaus)', and 'Valitse tarkemmat hakuehdot'. The main area is divided into three columns of report options:

- Tilaraportit** (Status reports):
 - Käytettävyyss %
 - Tekninen käytettävyyss %
 - Tilat %
 - Tilat aika
 - Tilat kpl
 - Tilat aika keskimäärin
- Kunnossapidon tunnusluvut** (Maintenance indicators):
 - MTBF (vain häiriöt)
 - MDT (tekn. käytettävyyss)
 - MTBF (tekn. käytettävyyss)
 - MOT (käytettävyyss)
- Odutus / Häiriö syyt** (Waiting / Fault causes):
 - Odotukset
 - Häiriöt
 - Syy aika %
 - Syy aika
 - Syy Kpl %
 - Syy Kpl
- Tapahtumaraportit** (Event reports):
 - Tapahtumaraportti
 - Loki listaus
- Laskuriraportit** (Billing reports):
 - Brutto
 - Netto
 - Hävikki
 - Hävikki %
 - Hyväksytty %
 - Tuotantonopeus yks./h
 - Tuotantonopeus yks./min
 - Tuotantonopeus yks./s
 - Jaksoaika 1/h
 - Jaksoaika 1/min
 - Jaksoaika 1/s
 - Jaksoaika laskuri
 - Laskuri raportti

At the bottom left, it says 'ARROW Engineering'. At the bottom right, there is a 'Seuraava' (Next) button.

Kuva 3. Näkymä Arrow-maint raportointi

3.1.1 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito on yleensä koneessa ilmenneen vian välitöntä korjaamista vaativa toimenpide. Koneen pysäyttävän vian ilmetessä, kunnossapitohenkilöstö arvioi tilanteen, korjaa koneen ja palauttaa sen tuotantoon. Korjauksen lykkääntymisen johtaneet syyt ovat normaalisti varaosien puute tai tuotannolliset paineet. Tämän kaltaisissa tilanteissa kone pyritään korjaamaan väliaikaisesti kunnes edellä mainitut tekijät poistuvat, tai kunnes konetta ei vian vuoksi voida enää käyttää tuotannon edellyttämiin tehtäviin. Tällöin koneen korjaaminen välittömästi on ainoa mahdollisuus. Korjaavan kunnossapidon määrän ollessa korkea, tarvitaan suuri määrä erilaisia varaosia, jolloin varaosissa kiinnitettynä oleva tuottamaton pääoma kasvaa. ABB Motors and Generatorsin Vaasan tehtailla onkin pyritty kartoittamaan tarkasti millaisia varaosia varastossa tulee olla ja mitkä osat voidaan saada nopealakin toimitusajalla eri varaosatoimittajilta. Kunnossapito-osaston yhteydessä sijaitsee työstökoneilla varustettu erikoissolu, jossa voidaan tarvittaessa valmistaa erilaisia varaosia myös itse.

3.1.2 Ennakoiva kunnossapito

Ennakoivan kunnossapidon tärkeimpänä tavoitteena voidaan pitää koneiden toimintakyvyn ylläpitoa. Koneenvalmistaja määrittelee kullekin konetyypille sopivan aikaväliin perustuvan huolto-ohjelman, jossa koneet huolletaan tavallisesti kaksi kertaa vuodessa. Tämän kaltaisia huoltoja kutsutaan vuosi- ja puolivuosi- huolloiksi. Valmistaja on voinut määritellä joidenkin koneen toiminnalle kriittisten varaosien vaihtamistarpeen ennalta määrätyn käyttötuntimäärän välein. Näiden osien vaihtaminen pyritään aina ajoittamaan ennakkohuollon yhteyteen ylimääräisten seisakien minimoimiseksi. Edellä mainitusta syistä, ennakkohuoltojen tarkka suunnittelu on tärkeässä osassa toiminnan tehokkuuden kannalta.

Ennakkohuoltoa suorittavilla henkilöillä tulee olla tarpeelliset varaosat, sekä resurssit käytettävissään huollon läpiviemiseksi ohjeiden mukaisella tavalla. Vaasan teh-

taiden käyttämät koneiden ja laitteiden huolto-ohjeet perustuvat osittain valmistajien huolto-ohjeisiin ja käytännössä hyväksi havaittuihin toimintamalleihin. Huolto-ohjeiden oikeellisuutta myös valvotaan ja niiden muuttaminen tarpeen vaatiessa on mahdollista, jos huollon jälkeen havaitaan jokin muutostarve.

Vuosi- ja puolivuosisuoritus- ja puoli- ja vuosihuollot ovat myös erinomainen keino suorittaa koneiden ja laitteiden kunnonvalvontaa. Näiden huoltojen aikana voidaan suorittaa monia mittaus- ja huoltotoimenpiteitä komponenteille, joita ei normaalissa tilanteessa koneen käytössä ole mahdollista suorittaa. Huoltojen aikana on myös mahdollista suorittaa voiteluaineanalyyskejä sekä tehdä koneiden omaan diagnostiikkaan perustuvia testejä. Tämä antaa myös mahdollisuuden luoda historiaa koneen kuluvi- komponenteista sekä tarpeen vaatiessa optimoida niiden vaihto- tai huoltoväliä. Oikein suoritettuina tämän kaltaiset toimenpiteet yleensä pienentävät pitkällä aikavälillä kunnossapidon kustannuksia, koska suunnittelemattomat koneseisokit aiheuttavat poikkeuksetta enemmän kustannuksia kuin ennalta suunnitellut.

Huoltoja ja niiden ohjeistusta suunniteltaessa on kiinnitettävä huomiota siihen, ettei huolto-ohjeissa esiinny turhia huoltokohteita jotka eivät edistä koneen virheetöntä käyntiä. Suojien tai esimerkiksi herkästi likaantumisenstä kärsivien keskusvoitelukohteiden avaaminen turhaan, saattaa aiheuttaa ylimääräisiä seisokkeja myöhemmin. Periaatteena voikin pitää, ettei ehjää konetta tai osaa kannata korjata.

3.1.3 Parantava kunnossapito

Parantavan kunnossapidon yhtenä tavoitteena voi olla koneiden rakenteellisten vikojen korjaaminen tai että koneeseen ei valmistajan taholta ole enää saatavissa varaosia. Koneeseen voidaan vaihtaa uusia tai uudelleen suunniteltuja komponentteja, laitekokonaisuuksia tai jopa koneen koko ohjausjärjestelmä. Tällaisilla toimenpiteillä ei koneen suorituskykyä tavallisesti saada paljoakaan parannettua, mikäli kyseessä ei ole koko koneen modernisaatio. Modernisaatio voi olla hyvin kallis vaihtoehto jopa uuteen koneeseen verrattuna.

Koneen osamodernisaatioon voidaan päätyä koska se on poikkeuksetta uuden koneen hintaa halvempi ratkaisu. Osittaisella modernisaatiolla voidaan jatkaa vanhan koneen elinkaarta joillakin vuosilla, mutta käytännössä on havaittu, ettei tuotantonopeus välttämättä parane lainkaan, koska koneeseen jäävät vanhat ratkaisut eivät mahdollista esimerkiksi nopeuden nostamista korkeammaksi. Näin ollen hyödyt voivat joskus jäädä pieniksi. Uuden koneen etuja vanhaan nähden ovat tavallisesti tarkkuus, luotettavuus ja nopeus. Vaasan tehtailla on suoritettu useampia osamodernisaatioita erityyppisille koneille ja muutamia on vireillä. Tarpeet modernisaatioiden suorittamiseen ovat olleet vanhentunut ohjausjärjestelmä tai koneen tarkkuuden puutteeseen johtaneet syyt.

3.1.4 ABB Motors and Generators-kunnossapitostrategia

Uusien tuotantoteknologioiden käyttöönotto eri tuotantoprosessien vaiheissa vaatii, että on tarpeellista modernisoida ja tehostaa kunnossapidon toimintaa moottoritehtaalla vuoteen 2018 mennessä merkittävällä tavalla. Tavoitteena on saavuttaa parempi tuottavuus.

Avainasemassa tämän saavuttamiseksi on koneiden käytettävyyden säilyttäminen korkealla 98 prosentin tasolla, sekä kunnossapidon kustannustehokkuus. Tavoitteena on myös vähentää korjaustöiden osuutta kunnossapidon töistä. Asentajien vasteaika korjauskutsun saapumisesta korjaamisen aloittamiseen pyritään myös laskemaan alle tuntiin. Nopeampi reaktioaika pienentää tuotantokatkoksia ja parantaa tuottavuutta.

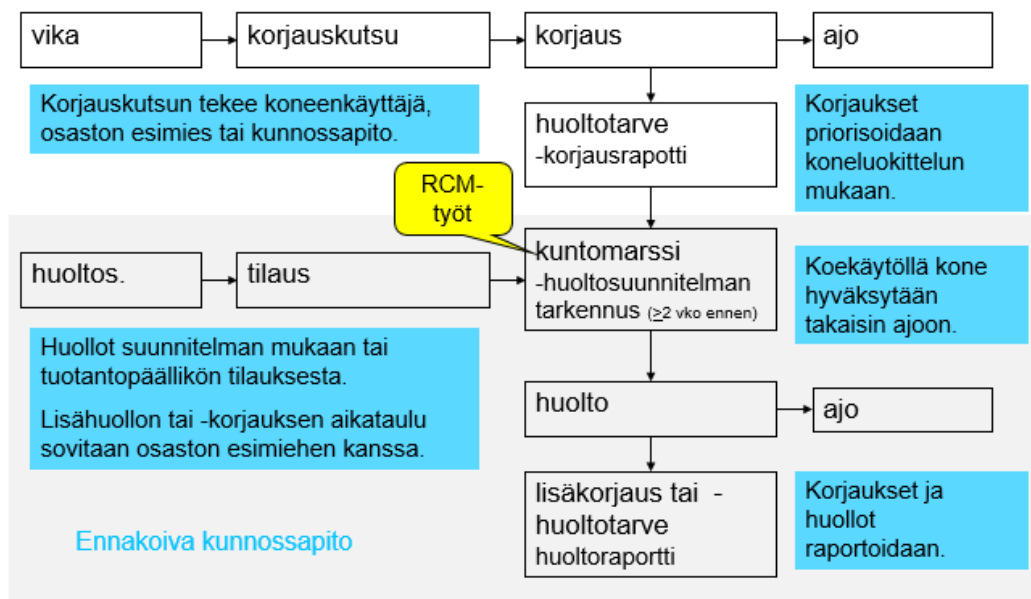
Tuotantokoneet on luokiteltu tärkeysjärjestyksiin, prioriteetteihin. Prioriteetin yksi luokan koneet voivat aiheuttaa pullonkauloja tuotantoon ja ne korjataan aina ensimmäiseksi muusta työjonosta riippumatta. Korjaukset ja huollot on Vaasan tehtailla järjestetty seuraavasti (**Kuva 4.**)

Kunnossapidon järjestäminen kuuluu ensisijaisesti tuotantopäällikön, valmistuspäällikön, kunnossapitopäällikön ja työnjohdon vastuulle. Päivittäisestä käyttäjäkunnossapidosta vastaavat koneenkäyttäjät yhdessä oman kunnossapito-osaston ja

työnjohdon kanssa. Koneiden kriittiset varaosat pyritään pitämään omassa varastossa ja muut hankkimaan työkohtaisesti.

Oman kunnossapitohenkilöstön korkea osaaminen ja sitoutuminen strategian tavoitteisiin ovat onnistumisen kannalta merkittävässä roolissa. Korjaushenkilöstössä ei ole lähes lainkaan vaihtuvuutta, mikä takaa korkean osaamisen pysymisen talon sisällä. Uhkana voidaan nähdä kuitenkin henkilöstön eläköityminen, jolloin katoaa vuosikymmenten aikana hankittu ammattitaito, jota ei voida helposti korvata aliurakoinnilla. Tähän voidaan vastata kouluttamalla lisää omaa henkilöstöä, mikä on jo osittain aloitettukin.

Korjaukset ja Huollot



Kuva 4. Korjauksien ja huoltojen suunnittelu

4 STAATTORIRUNKO

Oikosulkumoottorin staattorirunko on keskeisessä asemassa sähkömoottorin toiminnan kannalta (**Kuva 5.**) Runkoon kiinnitetään staattorikäänitys ja laakerikilvet, joihin edelleen asennetaan laakerit. Laakerointi mahdollistaa roottorin pyörimisen staattorin sisällä. Laakereiden optimaalisen käyttöiän kannalta on välttämätöntä, että koneistetut pinnat täyttävät niille asetetut toleranssiarvot, niin kohtisuoruuden kuin yhdensuuntaisuudenkin osalta. Näin voidaan myös varmistaa roottorin pyöriminen mahdollisimman keskellä käämeihin muodostettavaa magneettikenttää, joka taas on tärkeä asia moottorin sähköisen toiminnan kannalta. Staattorirungon tehtävänä on myös johtaa pois moottorin käämityksessä syntyvää lämpöä ja tarvittaessa ottaa vastaan muodostuvaa tärinää.

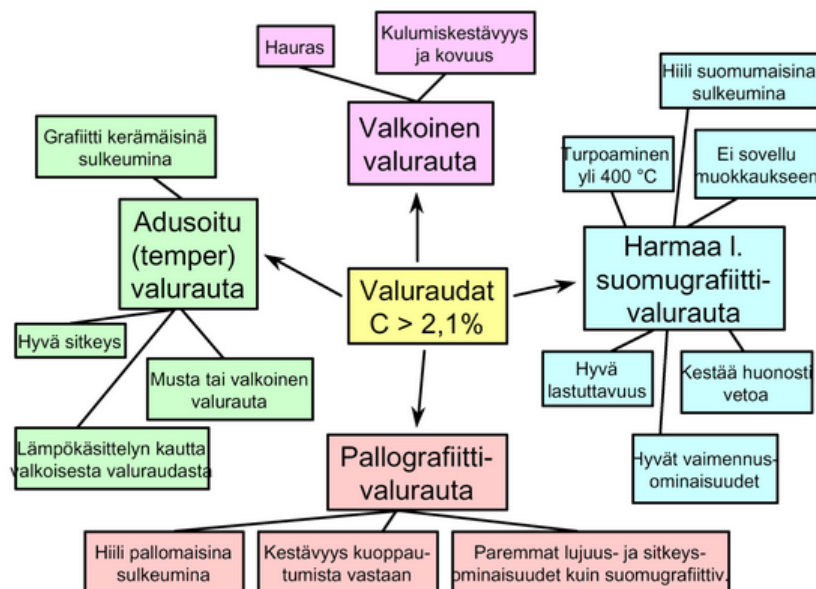


Kuva 5. Valurautaisia staattorirunkoja koneistuksen jälkeen

4.1 Staattorirunkojen materiaali ja sen ominaisuudet

Valurautamoottoreiden rungon materiaalina käytetään pääasiassa valettavaa ISO 185:2005-standardin mukaista GRS-200-suomugrafiittivalurautaa, jonka ominaisuuksiin kuuluu hyvä värähdysten vaimennuskyky mutta muihin valurautoihin verrattuna huonot lujuusominaisuudet. Grafiitti edistää voiteluaineen toimintaa liukupinnoissa ja sillä on kuivanakin hyvät liukuominaisuudet. Matriisin rakenne saadaan seosaineiden avulla muutettua austeniittiseksi tai bainiittiseksi, jolloin lujuusominaisuuksia saadaan parannettua. Lämpötilankestoa ja korroosionkestävyyttä on mahdollista kasvattaa seostamalla (**Kuva 6.**) /4/

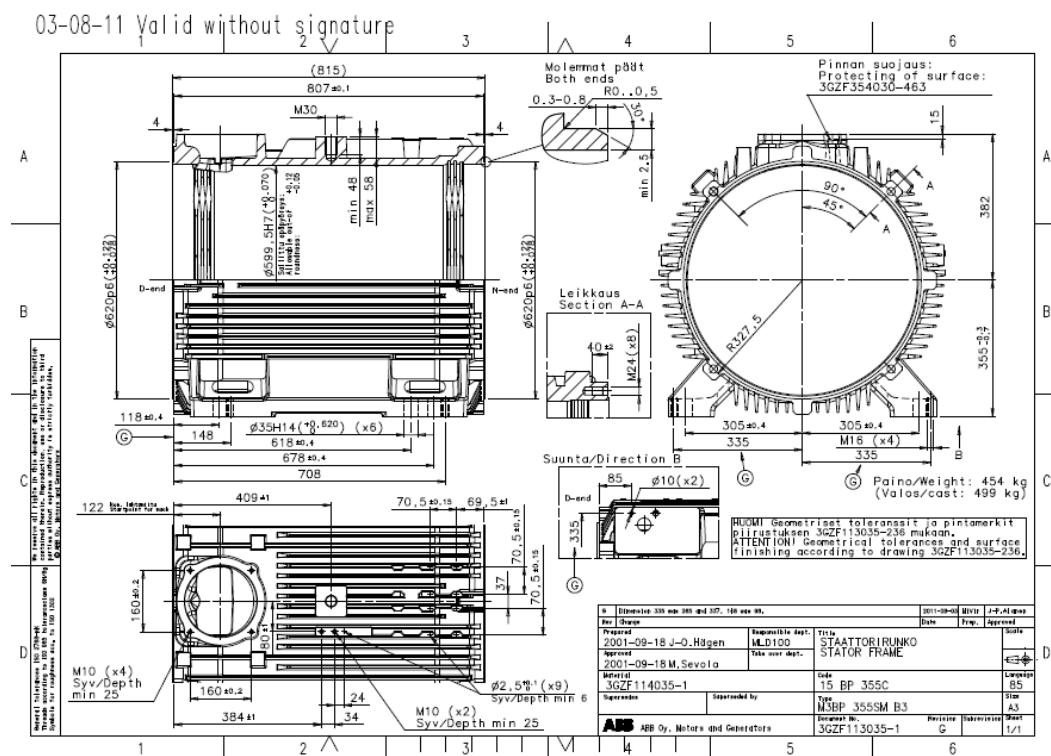
Suomugrafiittivaluraudat sisältävät keskimäärin n. 3,4 % hiiltä ja n. 2,2 % piitä. Grafiitti saadaan jakautumaan rakenteeseen ylikuumentamalla sula ennen valua n. 1650 celsiusasteeseen jolloin jähmettymiseen liittyy alijäähtyminen ja ytimenmuodostus tapahtuvat homogeenisenä kautta rakenteen. Näin myös grafiitti hienojakoistuu ja lujuusominaisuudet parantuvat. /5/



Kuva 6. Valurautojen ominaisuudet

4.2 Rungon geometriset mitat

Runkojen suunnittelijan vastuulla on oikeiden toleranssien määrittäminen oikosulkumoottorin häiriöttömän toiminnan kannalta. Tämän kaltaisia toleransseja määritellään piirustuksissa staattori paikan aukon halkaisijalle, rungon pituudelle sekä päätyjen ja niiden tasojen samansuuntaisuudelle ja keskeisyydelle. Yksinkertaistettuna moottorin roottorin akselin keskipisteestä tehdyn suoran tulee olla suorassa kulmassa rungon päätyjen kanssa. Akselin keskilinjan tulee myös sijaita mahdollisimman tarkasti staattoriaukon keskellä. Rungon mittautapa ja geometrinen malli selviää myös tarkemmin myöhemmässä luvussa, jossa keskitytään rungon mittamiseen koordinaattimittauskoneella. Piirustuksessa nähdään suunnittelijan merkittömiä geometrisia pintamerkintöjä ja toleransseja (**Kuva 7.**)



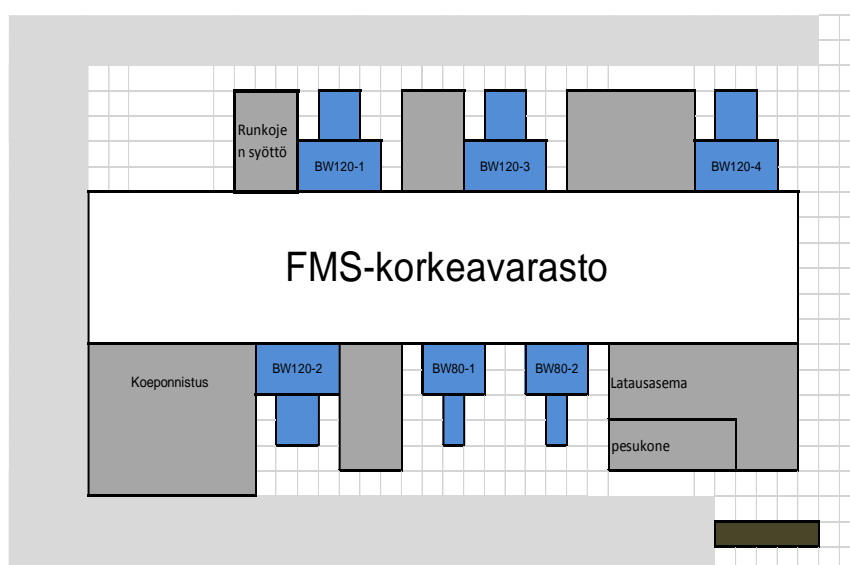
Kuva 7. Geometriset mitat ja pintamerkinnt

5 KONEISTUS OSANA TUOTANTOPROSESSIA

Koneistusosastoon kuuluu kuusi BW-työstökeskusta, joilla staattorinrungot valmistetaan, sekä Flexible Manufacturing System-korkeavarastojärjestelmä, joka palvelee koneistuskeskuksia (**Kuva 8.**) Tehtaalle valimoilta tulevat koneistamattomat tai esikoneistetut rungot syötetään sisään hyllystöhissiin, josta koneistaja tilaa tuotannonohjausjärjestelmässä kaupan mukaisessa koneistusjärjestyksessä olevan runkoryypin latausasemalle.

Latausasemassa runko asennetaan koneistuskiinnittimeen, josta se tämän jälkeen lähetetään koneistuskeskukselle työstettäväksi. Koneistuksen jälkeen varastojärjestelmä kuljettaa rungon takaisin latausasemaan, missä se mitataan käsivaraisesti ja irrotetaan kiinnittimestä.

Tämän jälkeen kappaleesta pestään leikkuuemulsio ja rasvajäämät työstökeskuksen vieressä sijaitsevalla pesukoneella. Runko on nyt valmis kuljetettavaksi kokoonpanolinjalle. Osastolla työskentelee 1 työnjohtaja, 2 ohjelmoitsijaa ja 18 työntekijää. Runkoja koneilta valmistuu kolmessa vuorossa noin 500 kappaletta viikossa.



Kuva 8. Koneistusosaston periaatekuva

6 STAATTORIRUNGON MITTAAMINEN

Tässä luvussa kerrotaan staattorirungon mittaamisesta koordinaattimittauskoneella, sekä rungon tärkeimmistä laatuun vaikuttavista geometriatoleransseista.

6.1 Mittaustaajuus

Kaikki koneistetut kappaleet mitataan käsin valmistamisen jälkeen. Tämän lisäksi osana työstökeskusten laaduntuottokyvyn tarkkailua, jokaiselta työstökeskukselta mitataan koordinaattimittauskoneella yksi koneistettu staattorirunko kuukaudessa. Tämän on katsottu olevan sopiva määrä riittävän laadun saavuttamiseksi. Mitattava runko ei ole aina samanlainen, vaan riippuu työstökeskuksella kulloinkin tuotannossa olevasta kappaleesta.

6.2 3D-koordinaattimittaus

Koordinaattimittauksella tarkoitetaan koordinaattien määrittämistä avaruudessa tai tasossa. Mielivaltaisen pisteen paikka määritetään koneen mekaanisen ja sähköisen rakenteen rajoittamassa avaruudessa. Mekaaninen koordinaatisto saadaan koneen johteista, joiden avulla koneen luistit voivat liikkua mahdollisimman kohtisuorasti toisiinsa nähden. Luistien asemat on tiedettävä tarkasti koordinaattiakselilla. Luistien asemaa mitataan mittasauvoilla. Mittauspää taas tuottaa tietoa mitattavasta kappaleesta mittauslogiikalle.

Koordinaattimittauskone tuottaa ainoastaan koordinaatti-informaatiota, jolla ei ole käyttöä ilman toimivaa ohjelmistoa, millä pisteet yhdistetään elementeiksi ja laskeaan poikkeamia tavoitemitoista tai muodoista. Tämä on keskeinen osa koordinaattimittausta./6/

6.3 Kohtisuoruus

Kohtisuoruuden määritelmä on analoginen suoruuden määritelmän kanssa. Suorutta ei ilmoiteta minkään elementin suhteen, vaan se on riippumaton. Kohtisuo-

ruudessa arvioitavaa elementtiä verrataan aina johonkin referenssielementtiin. Koh-tisuoruudessa toleranssialueen muodostaa kaksi yhdensuuntaista suoraa tasoa. Staattorirungossa tämä tarkoittaa päätyjä, joita verrataan avaruuteen tehtyyn root-torin akselin keskipisteen suhteen tehtyyn suoraan./6/

6.4 Tasomaisuus

Tasomaisuudessa toleranssialuetta rajoittavat kaksi yhdensuuntaista minimietäisyydellä toisistaan olevaa tasoa, joiden välissä tarkasteltavaa tasoa edustava piste-joukko sijaitsee./6/

6.5 Ympyrämäisyys

Ympyrämäisyys on kahden saman keskisen minimietäisyydelle toisistaan piirretyn ympyrän säteiden ero, joiden väliin mittausarvot mahtuvat. Koordinaattimittauksella tämä tapahtuu arvioimalla mitattujen pisteiden koordinaatteja./6/

6.6 DEA-koordinaattimittauskone

MM-tehtaalla laaduntarkkailuun käytettävä portaalityyppinen koordinaattimittauskone on numeerisesti ohjattava DEA Global Advantage 12.30.10. Mittakone sijaitsee mittahuoneessa, missä ilman lämpötila ja kosteus pidetään optimaalisena mit-taustapahtumaa varten (**Kuva 9.**) Koneen tärkeimmät ominaisuudet ovat:

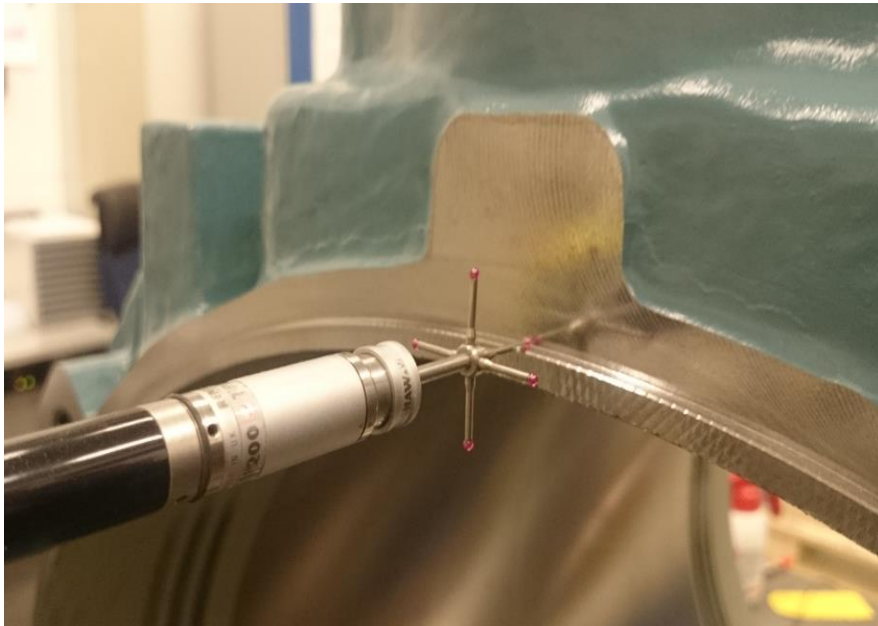
- liikealueet X-1200mm, Y-3000mm, Z-1000mm
- max kappaleen paino 2250 kg
- mittaustarkkuus (ISO 10360/2 MPEe MPEp) mikrometriä.
- MPEe=2,5 mikrometriä L/333(maksimi virhe)
- MPEp=2,2 mikrometriä (maksimi toistuvuus/kosketusvirhe)
- lämpötilavalvonta kaikilla akseleilla.



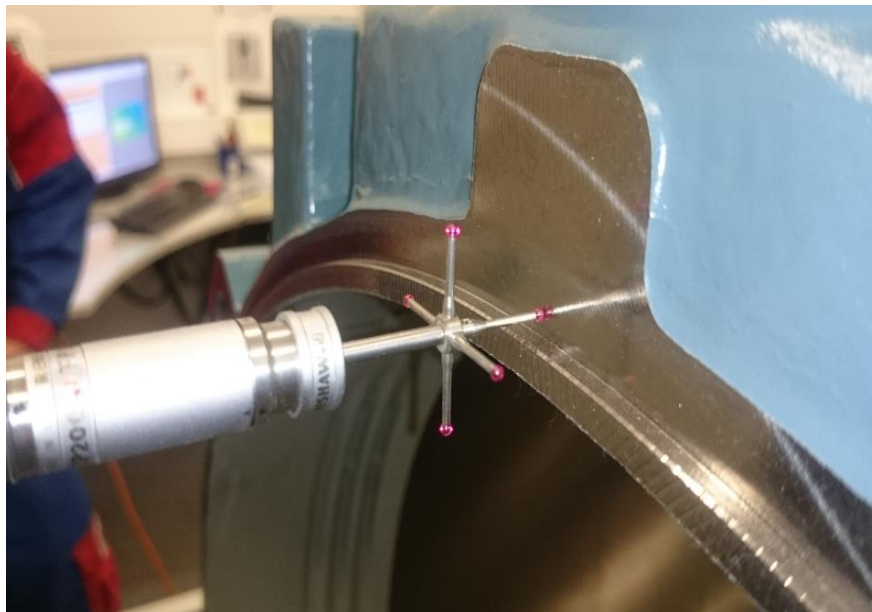
Kuva 9. 3D-koordinaattimittauskone DEA

6.7 Staattorirungon mittaaminen koordinaattimittauskoneella

Mittaaminen aloitetaan määrittämällä käytettävä mittauskärki, sekä tarvittavat liike- ja kosketusnopeudet. Runko puhdistetaan pyyhkeellä mittausta haittaavien likapartikkelien poistamiseksi. Mitattavaan runkoon asetetaan anturi lämpötilan kompensointia varten. Tämän jälkeen suoritetaan opetusohjelmointi, jossa mitataan kolme pistettä tasosta, sekä kolme pistettä ohjauksesta. Näistä mittausarvoista muodostetaan nollapiste, joka kertoo kappaleen aseman mittauspöydällä. D-päädyn ohjauksesta mitataan kahdeksan pistettä sekä ohjauksen vieressä olevasta ympyrän tasosta yhdeksän pistettä (**Kuvat 10 ja 11.**)

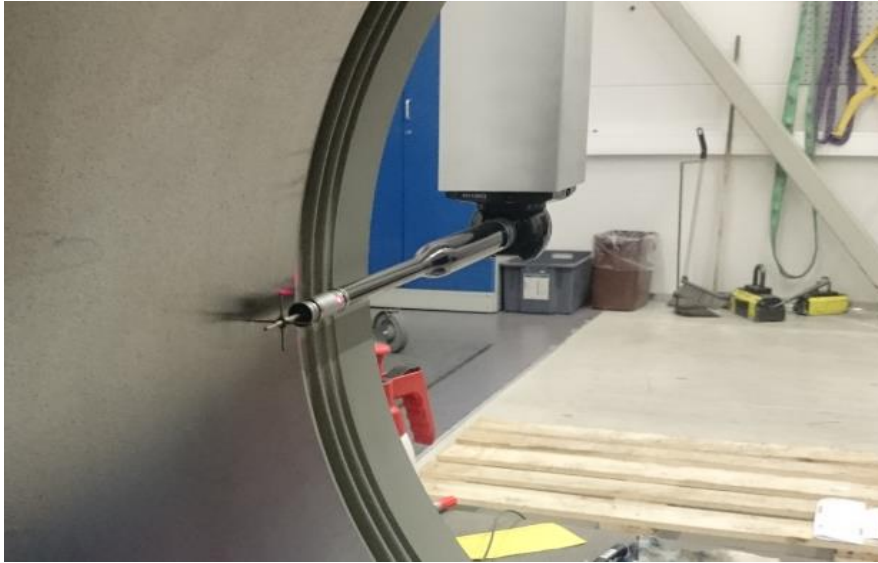


Kuva 10. Ohjauksen pisteiden mittaaminen



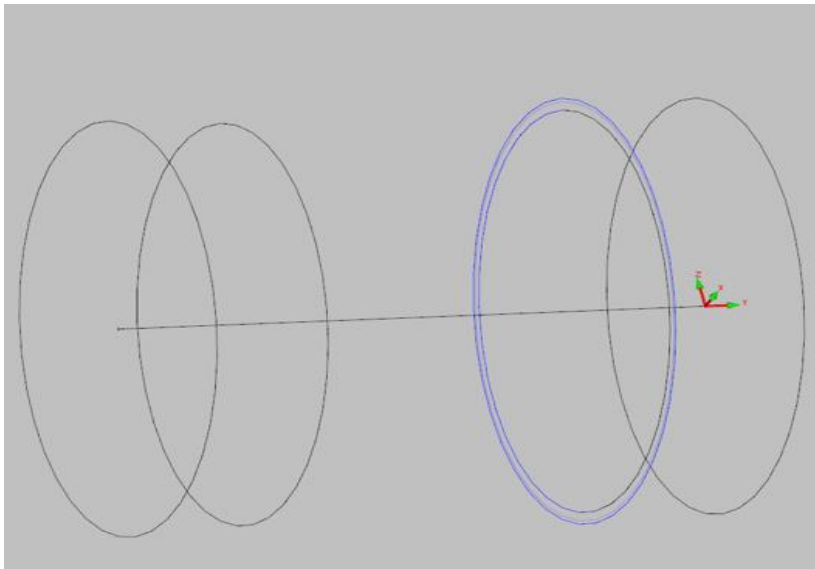
Kuva 11. Tason pisteiden mittaaminen

Rungon sisältä mitataan 12 pistettä ympyrältä noin 20 cm:n syvyydeltä (**Kuva 12.**)



Kuva 12. Ympyrän mittaaminen rungon sisältä

Siirrytään mittaamaan N-päättyyn ja toistetaan yllä kerrotut mittaukset, jonka jälkeen kone rakentaa suoran ohjauksien ympyrän keskipisteistä. Tämä suora vastaa roottorin akselin keskipistettä (**Kuva 13.**)



Kuva 13. Ympyröiden keskipisteiden avulla muodostettava suora

Päätyjen tasoa verrataan nyt muodostettuun suoraan, josta saadaan päätyjen kohtisuoruus. Ympyrämäisyydet ja halkaisijat saadaan mitattujen pisteiden mukaan. Ympyröiden samankeskeisyys saadaan vertaamalla staattoripaketin paikan aukkoja ohjauksien ympyröihin. Rungon pituus määritellään päädyistä mitattujen pisteiden välisestä etäisyydestä.

6.8 Mittaustulosten tarkastelu

Suoritettujen mittausten jälkeen kone tekee mittausraportin, jossa mitattuja pisteitä verrataan tuotteen suunnittelijan määrittämiin geometriatoleransseihin. Tarkasteltaessa mittausraporttia (**Taulukko 1.**) havaitaan, että D- ja N-päätyjen kohtisuoruden toleranssiarvot on ylitetty. Muissa keskeisissä mittausarvoissa ei havaita ylityksiä.

D- ja N-päätyjen samankeskeisyys on myös tärkeä huomioida, koska staattorirungon staattoripaketin aukko koneistetaan kahdessa osassa. Koneistuskeskuksella runko käännetään koneistuksen aikana 180 astetta, koska työkalun pituuden vuoksi ei voida koneistaa paketin paikkaa kerralla. Kaksi sylinteriä koneistamalla päästään myös vähemmän tarkkuutta vaativaan lopputulokseen. Kaikkia työstökoneen runkoon aiheuttamia virheitä ei todeta mittaushuoneessa suoritetuissa mittauksissa.

Tarkasteltaessa edelleen mittausraporttia, voidaan varmistua rungon päätyjen olevan riittävän samansuuntaisia keskenään, mutta poikkeavan kohtisuoruudeltaan akselin keskilinjasta. Liian suuret poikkeamat tällä alueella aiheuttavat rasiudesta laakereille sekä muille laakerointiosille, kuten laakerikilville. Myöskään staattoripaketin paikka ei ole enää optimaalinen.

On tavallista, että runko mitataan pienien toleranssiylityksien jälkeen uudelleen, mutta mikäli uudelleenmittaamisen jälkeen havaitaan edelleen toleranssin ylityksiä, on syytä epäillä työstökoneen joidenkin akselien samansuuntaisuuden muuttuneen ja laaduntuottokyvyn tätä kautta heikentyneen. Syyn selvittämiseksi voidaan työstökoneelle suorittaa geometrian tarkistusmittaukset.

Taulukko 1. Koordinaattimittauskoneen mittausraportti

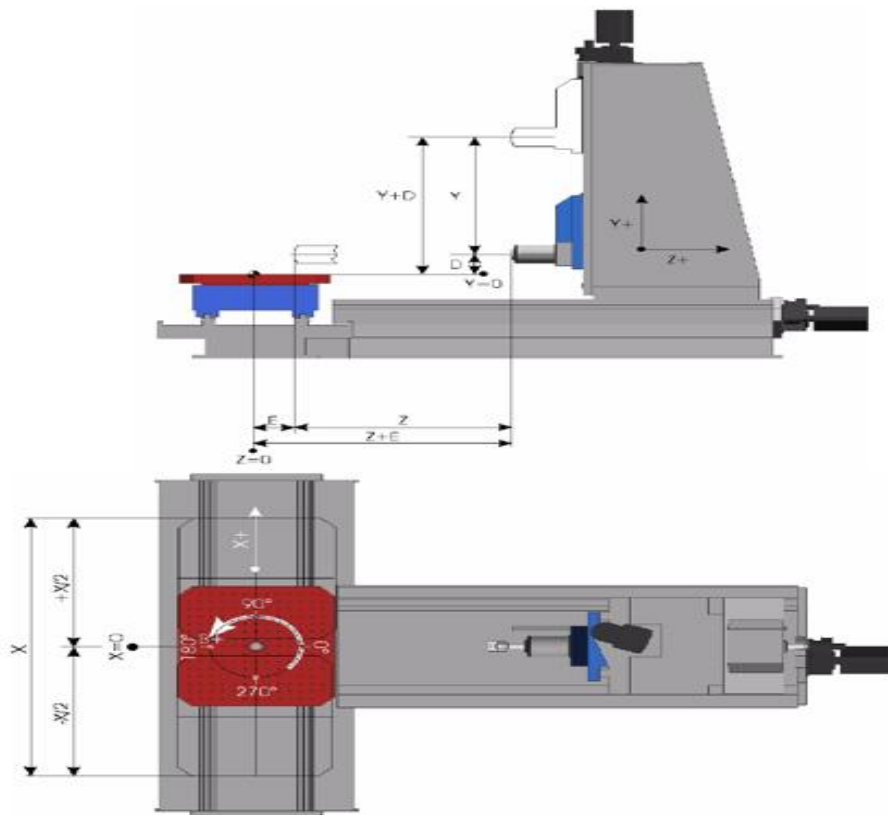
ST AUKKO D-PÄÄ						
⊕	MM	LOC2 - ST - D-PÄÄ				
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL
D	519.548	519.500	0.048	0.070	0.000	0.000
OHJAUS N-PÄÄ						
⊕	MM	LOC3 - CIR4				
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL
D	540.105	540.000	0.105	0.122	0.078	0.000
ST AUKKO N-PÄÄ						
⊕	MM	LOC4 - ST N-PÄÄ				
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL
D	519.564	519.500	0.064	0.070	0.000	0.000
SAMANKESKISYYS D-PÄÄ						
⊙	MM	CONCEN1 - ST - D-PÄÄ TO LIN1				
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL
M	0.049	0.000	0.049	0.080	0.000	0.000
SAMANKESKISYYS N-PÄÄ						
⊙	MM	CONCEN2 - ST N-PÄÄ TO LIN1				
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL
M	0.030	0.000	0.030	0.080	0.000	0.000
KOHTEISUURUUS D-PÄÄ						
⊥	MM	PERP1 - PLN2 TO LIN1				
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL
M	0.063	0	0.063	0.050	0	0.013
KOHTEISUURUUS N-PÄÄ						
⊥	MM	PERP2 - PLN3 TO LIN1				
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL
M	0.068	0	0.068	0.050	0	0.018
YHDENSUUNTAISUUS						
//	MM	PARL1 - PLN3 TO PLN2				
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL
M	0.021	0	0.021	0.070	0	0.000

7 BURKHARDT & WEBER-TYÖSTÖKESKUS

Tässä luvussa kerrotaan perustietoja staattorirunkojen koneistamiseen käytettävistä työstökeskus Burkhardt & Weber-koneen rakenteista ja sen tärkeimmistä toimilaitteista. Koneistusosaston työstökeskukset on valmistettu vuosien 1991–2009 aikana. Tänä aikana varsinkin koneiden elektronisiin ohjausjärjestelmiin on tullut muutoksia. Luvussa keskitytään osaston uusimpaan koneeseen, jonka toiminnalliset ja mekaaniset periaatteet pätevät osaston muihinkin koneisiin, joitakin teknisiä yksityiskohtia lukuun ottamatta.

7.1 Burkhardt & Weber MCR 1200

Vaakakaraisen BW-työstökeskuksen pääakseleiden pituusmittoja ovat: X/2400 mm, Y/1800 mm ja Z/1800 mm. (**Kuva 14.**) NC-pyöröpöytä, eli b-akseli pyörii 360 astetta ja sen maksiminopeus on 10 m/min. Pääakseleiden pikaliikkeiden nopeudet ovat 20 m/min ja suurimmat syöttövoimat 30 kN. Koneen runko ja sen liikkuvat luistit, ovat valurautaa. Luistit on säädetty tarkasti johteita vasten. Tämä tapahtuu teflonpinnoitetuilla, teräksisillä säätökiiloilla, jotka takaavat luistien liikkumisen välyksettömästi. Akseleiden johteet on tarkkuushiottua erikoisterästä, jotka on kiinnitetty kunkin akselin päärunkoon hitsaamalla. Pääkara sekä vaihteisto moottoreineen ovat osana liikkuvaa y-akselia, joka puolestaan on sijoitettu z-akselilla kulkevaan torniin. X-akselin runko kiinnittyy z-akselin runkoon ja niiden keskinäinen suoruus muodostetaan tarkkuushiottuilla levyillä.



Kuva 14. Burkhardt & Weber työstökeskuksen pääakselien suunnat

7.1.1 Pääkara ja voimansiirto

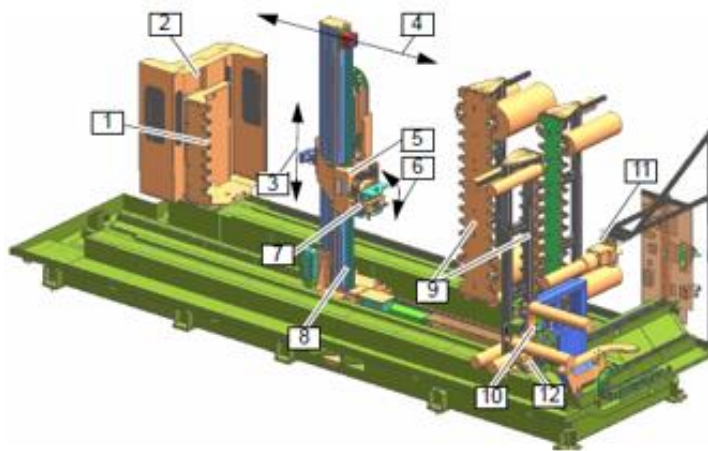
Pääkaraa käytetään painevoidellulla hammaspyörävaihteistolla, jossa on neljä vaihdealuetta sekä 60 KW:n sähkömoottori. Vaihteiston välityssuhteet ovat. 9.36, 3.90, 1.50 ja 0.62. Pääkaran työkalukiinnityksessä käytetään SK-50, DIN 55021 mukaista työkaluadapteria, mihin varsinaiset työkalut kiinnitetään. Työkaluadapterin kiinnitysvoima karaan on 37 kN. Pääkaran maksimi kierrosnopeus on 4000 rpm. Pääkara, vaihteisto moottoreineen ja teflonista valmistetut liukupinnat muodostavat y-akselin (**Kuva 15.**) Y-akselin johteet taas sijaitsevat koneistustornissa.



Kuva 15. Pääkara, vaihteisto sekä päämoottori

7.1.2 Työkalumakasiini

Työstökeskuksen kaikki työkalut on sijoitettu kahdelle puolelle työkalumakasiiniin, vasempaan ja oikeaan hyllymakasiiniin. Kaikki työkalut on sijoitettu työkaluharavaan. Työkalujen määrä ja paino riippuu asiakkaan valitsemasta kokonaisuudesta. Makasiinissa toimii työkaluajoneuvo, joka lataa työkalun työkaluharavasta työkaluvaihtajaan, joka puolestaan vaihtaa työstöohjelmassa vaaditun työkalun pääkarralle. Ennen työkalun lataamista karralle, työkalun terän rikkovalvontalaite tarkastaa, että työkalu on ehjä. Tämä tapahtuu mittaamalla karralle ladattavan työkalun pituutta. Sama toimenpide suoritetaan haettaessa työkalu karralta pois. Näin saadaan selville pituuksien mahdollinen erotus. Vain kierteyttäviä tai poraavia työkaluja mitataan. Mittaus varmistaa, että työkalumakasiinissa on aina ehjät työkalut. Vialliset työkalut viedään automaattisesti lataus- ja poistoasemaan, missä operaattori vaihtaa tilalle uuden työkalun. Työkalumakasiinin akseleita ovat X1, X1, MGR, WGR ja Q. Työkalumakasiinin tarkempi kokoonpano (**Kuva 16.**)

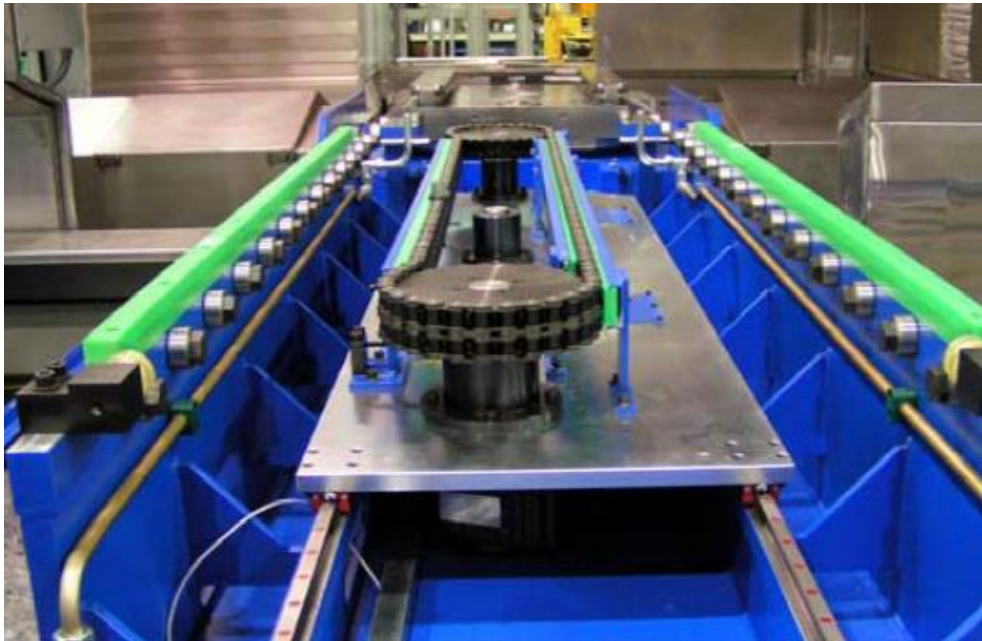


Nro	Nimitys
1	Työkalunvit lataus-/poistokasetti
2	Kääntöasema
3	Y1-akseli (liikesuunta)
4	X1-akseli (liikesuunta)
5	Kelkka pystysuora (työkalunkuljetus)
6	MGR-akseli makasiintarttuja 180°
7	Makasiinitarttuja (pöimä)
8	Ajoneuvo vaakasuora
9	Työkaluharavat, joissa on kaikissa 30 työkalupaikkaa
10	Työkalun vaihtaja
11	Työkalun kartiopuhdistus
12	Poran rikkovalvonta

Kuva 16. Työkalumakasiinin akselit ja laitteet

7.1.3 Paletinvaihtajat

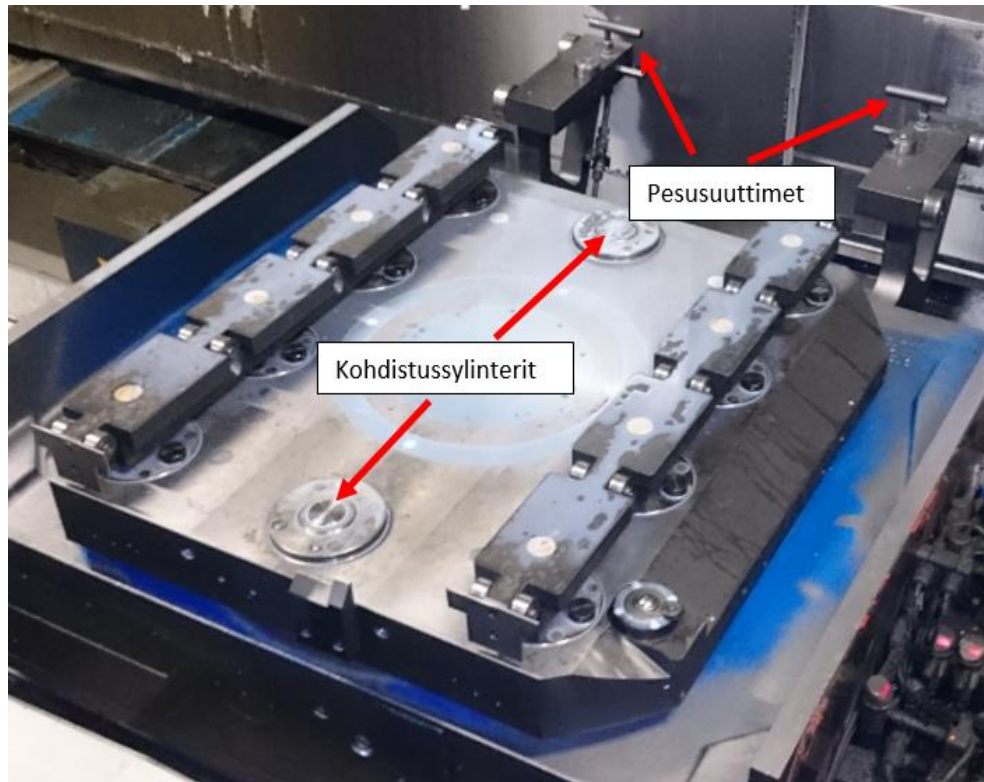
Paletin siirtämistä varten koneessa on kaksi ketjulla toimivaa paletinvaihtajaa. Ketjuja liikutetaan taajuusmuuttajalla ohjatuilla, sekä takaisinkytkennän mahdollistavilla pulssiantureilla varustetuilla sähkömoottoreilla. Näin saavutetaan riittävä paikoitustarkkuus siirrettäessä palettia NC-pyöröpöydälle. Tavallisesti toinen vaihtajista tuo paletin sisälle ja toinen vie ulos, mutta vikaantumistilanteessa on mahdollista käyttää myös yhtä vaihtajaa molempiin toimintoihin (**Kuva 17.**)



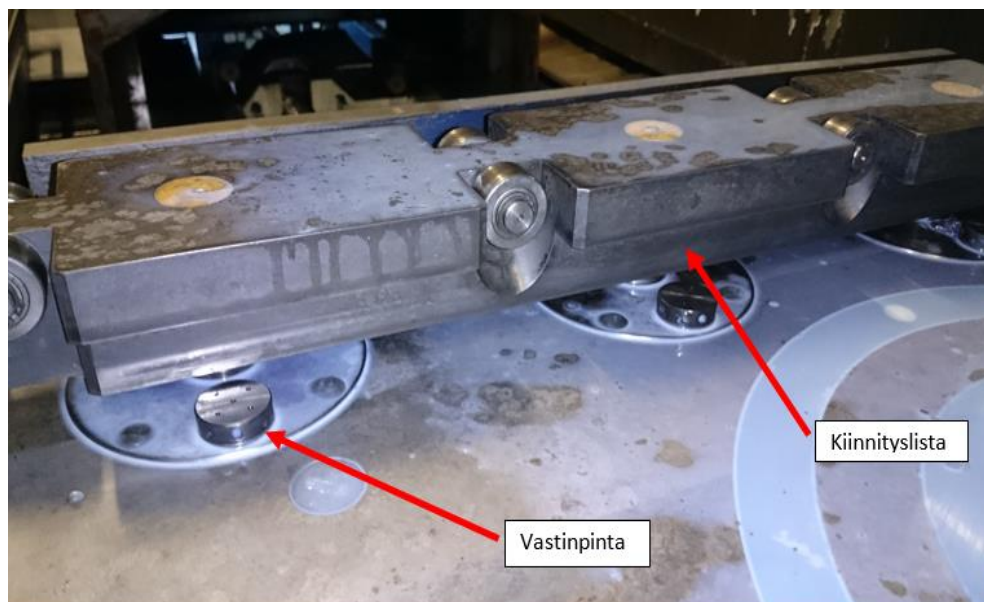
Kuva 17. Paletinvaihtaja

7.1.4 Paletin kiinnitys NC- pyöröpöytään

Paletti on koneeseen ladattava kappalekiinnittimen kiinnitysalusta. Palettikokona käytetään 1000x1250 mm kokoista palettia ja sen suurin kuorma voi olla enintään 7000 kg. Koska paletin kohdistus pyöröpöytään on valmistustarkkuuden kannalta erittäin tärkeä, paletin kiinnitysarat puhdistetaan automaattisesti leikkuuemulsiolla, palettia tuotaessa ja pois vietäessä, koneen pyöröpöydässä sijaitsevilla huuhtelusuuttimilla (**Kuva 18.**) Tämän jälkeen paletti kohdistetaan tarkasti NC- pyöröpöydälle kohdistussylintereillä ja lukitaan vastinpintoihin paikoilleen kahdella hydraulisesti toimivalla kiinnityslistalla (**Kuva 19.**)



Kuva 18. Huuhtelusuuttimien ja kohdistussylinterien sijainti



Kuva 19. Vastinpinnat ja kiinnityslista NC- pyöröpöydässä

7.1.5 Työstökeskuksen perustukset

Työstökeskuksen perustusten tärkeyttä koneen tarkkuuden yhtenä tärkeimpänä tekijänä ei voi olla korostamatta tarpeeksi. Tapoja perustan tekemiseen on useita, mutta periaatteena voidaan pitää, että perustusten tulee olla eristetty suurilta ulkopuolisilta tärinöiltä ja niiden tulee olla tarkasti valmistajan ohjeiden mukaan valmistettuja.

Koska perustuksiin valetaan kiinni koneen vaaituksen säätöön tarkoitetut säätöjalat, on perustusten peittämisellä tuhoisat seuraukset koneen työstötarkkuuden menetyksenä. Perustusten korjaaminen jälkeenpäin on myös hyvin kallista. Käytännössä tämä vastaa koneen asennuksen aloittamista alusta uudelleen.

7.1.6 Säätöjalkojen kiinnitys perustuksiin

Kun perustustyöt on saatettu päätökseen, työstökeskuksen asennustyöt voidaan aloittaa. Aluksi raudoitettuihin perustuksiin merkitään tarkasti perustuspiirustuksissa määritellyt paikat säätöjalkoja varten erikoisvalmisteisen sabluunan avulla, minkä jälkeen x - ja z-akseleiden kiinnitystä varten porataan 34 kpl reikiä halkaisijaltaan 80 mm ja syvyydeltään 300 mm.

Työkalumakasiinin, paletinvaihtajien ja muiden apulaitteiden säätöjalat kiinnitetään lattiapintaa vasten betoniin valetuilla kiinnityspulteilla.

Varsinaiset säätöjalat asetetaan paikoilleen asennettavan akselin runkoon riippumaan vapaana (**Kuvat 20 a ja b.**) Tämän jälkeen asennettava runko lasketaan reikien päälle ja säädetään suoraan lattiapintaan vastaavien väliaikaisten säätöjalkojen avulla joiden tehtävänä on pitää akselin runko suorassa varsinaisten säätöjalkojen valamisen aikana.



Kuva 20 a ja b. Säätojalkojen esiasennus

Säätojalkojen ympärille valmistetaan vanerista valmistetut muotit, jonka jälkeen valetaan kutistumattomalla erikoisbetonilla muotti täyteen. Samassa yhteydessä säätojalkaa varten tehdyt reiät täyttyvät ja säätojalan kiinnitysankkuri kiinnittyy betoniin (**Kuvat 21 a ja b.**)



Kuvat 21 a ja b. Säätojalan valaminen

Betonin annetaan kuivua kaksi päivää, jonka jälkeen säätojaloilla säädetään runko täysin suoraan. Tämän jälkeen väliaikaiset säätojalat poistetaan. Koska runkojen ympärille asennetaan monia muitakin laitteita, säätojalkoihin asennetaan jatkovarret helpottamaan mahdollisesti myöhemmin tapahtuvaa säätämistä.

8 TYÖSTÖKESKUKSEN GEOMETRISET MITTAUKSET

Tässä luvussa käsitellään Burkhardt & Weber MCR-1200 suoritettavia tärkeimpiä geometrisia mittauksia sekä niiden suorittamisessa tarvittavia mittausvälineitä. Esiteltävät mittausmenetelmät perustuvat koneen valmistajan ohjeisiin. Mittausmenetelmät soveltuvat kaikille koneistusosaston BW-työstökeskuksille. Varsinaisissa mittauksissa tulokset täytetään valmistajan omien ohjeiden taulukoihin tuloksien laskentaa varten.

8.1 Mittausvälineet

Mittausvälineet ovat herkkiä laitteita joita tulee käsitellä huolellisesti sekä noudattaa valmistajan käyttöohjeita. Ennen mittaamista on huolehdittava, että tarvittavat kalibroinnit on suoritettu niiltä osin kun standardit sitä vaativat.

Mittalaitteella, jota epäillään vialliseksi, ei saa suorittaa mittauksia vaan se on toimitettava mittaushuoneeseen, joka huolehtii sen edelleen korjattavaksi.

Luvussa esitetyt mittavälineet ovat esimerkkejä ja ne voidaan korvata saman tarkkuuden omaavilla muun merkkisillä välineillä. Työstökoneen valmistajan ohjeet tulee kuitenkin huomioida mittausmatkoista, esimerkiksi kivisuorakulman riittävä sivun pituus on huomioitava.

8.1.1 Mittakello

Mittauksissa käytetään mittakelloa, jolla on yhden mikrometrin tarkkuus ja +/-50 mikrometrin mittausalue (**Kuva 22.**) Mittakelloa valittaessa tulee huomioida mitauskärjen kosketusvoiman vaikutus mittauksissa. Väärin valittu mittakello on mahdollinen virhelähde tarkoissa mittauksissa.



Kuva 22. Mittakello

8.1.2 Wyler nivelswiss-tarkkuusvesivaaka

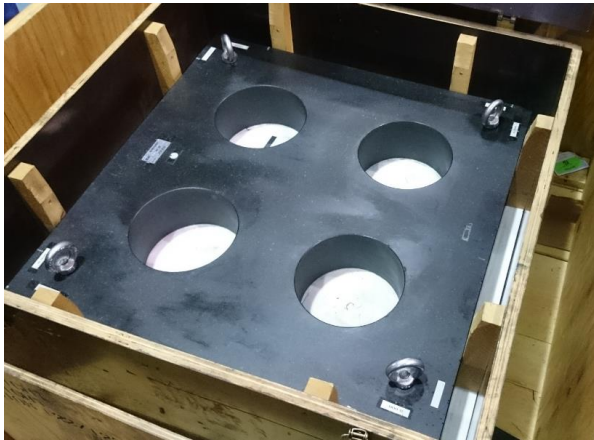
Akseleiden kiertymisen tarkastamista vaativissa mittauksissa käytetään elektronista Wyler-nivelswiss tarkkuusvesivaakaa, jonka valittavissa olevia tarkkuusalueita ovat 0.05 mm/m ja 0.01 mm/m (**Kuva 23.**) Elektroninen vaaka kalibroidaan aina ennen mittauksen aloittamista.



Kuva 23. Elektroninen tarkkuusvaaka

8.1.3 Kivisuorakulma

Kivisuorakulman tulee olla vähimmäismitoiltaan 600x600x50 mm ja sen mittatarkkuus yksi mikrometri jokaisen sivun pituudella (**Kuva 24.**)



Kuva 24. Kivisuorakulma

8.1.4 Jatkettava mittausvarsi

Yhdensuuntaisuusmittausten suorittamiseen tarvitaan pääkaraan kiinnitettävä jatkettava mittausvarsi (**Kuva 25.**) Mittausvarsi on valmistettu mitattavaa konetyypä varten.

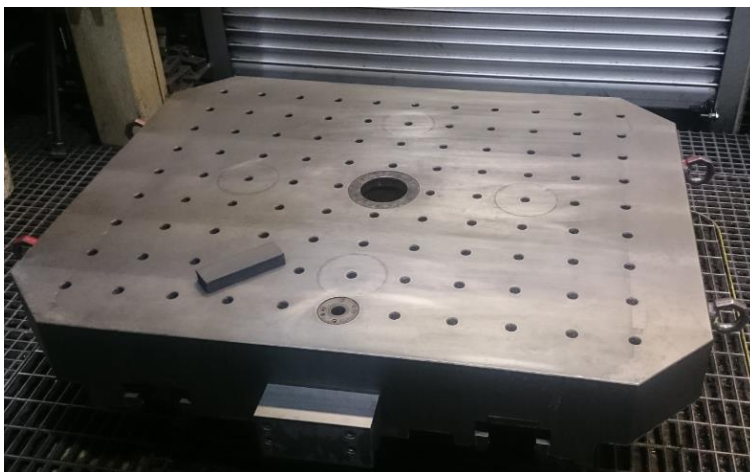


Kuva 25. Jatkettava mittausvarsi

8.1.5 Tyhjä paletti

Mikäli ei ole käytettävissä pelkästään mittaamiseen varattua tyhjää palettia, voidaan irrottaa jostakin käytössä olevasta paletista koneistuskiinnitin (**Kuva 26.**) Paletin

pinnalta tulee hioa hiomakivellä huolellisesti kaikki mahdolliset terävät kohoumat ja muut epätasaisuudet pois, sekä tarkastaa ja puhdistaa paletin pohjassa olevat vastinpinnat. Huonokuntoinen paletti aiheuttaa suurta mittausepävarmuutta.



Kuva 26. Paletti ilman koneistuskiinnitintä

8.2 Geometrinen mittauksen suorittaminen

Mittausten suorittamisen hahmottaminen voi olla perehtymättömälle vaikeaa. Koneen valmistusvaiheessa, sekä joskus huollonkin yhteydessä, saatetaan tehdä lukuisia mittauksia, joita ei normaalin ennakkohuollon yhteydessä suoriteta. Tässä kapaleessa kerrotaankin mahdollisimman tarkasti tärkeimmät mittauksetapahtumat. Vaikkakin geometrinen mittauksen päätteeksi suoritetaan aina x, - y- ja z- akselien nollapisteen tarkastus ja säätö parametreista, ei sitä käsitellä tässä työssä.

Geometrinen mittauksen suorittamisessa tulee noudattaa tarkkuutta ja huolellisuutta. Mittaukset suorittavan henkilön tulisi olla perehtynyt metrologian keskeisiin sääntöihin mittausvirheiden välttämiseksi. Mittaukset toistetaan kolme kertaa riittävän mittaustarkkuuden saavuttamiseksi. Mittauksia suorittaessa tulee aina pitää mielessä, että työstökeskuksen kaikki akselit on alun perin asennettu suoraan maan, sekä toisiinsa nähden. Maan taso tarkoittaa tässä yhteydessä tavallista vesivaakaa käytettäessä saatavaa tulosta.

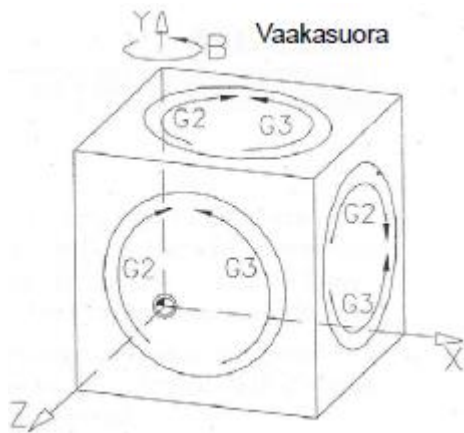
Jossain vaiheessa on saattanut tapahtua muutoksia perustuksissa tai vaikkapa törmäys koneistuksen yhteydessä, joka on vaatinut jonkin akselin säätämistä uudelleen. Tästä syystä yksittäisen akselin suoruus maata vasten ei kerro vielä oikeasta suoruudesta, vaan akselit säädetään aina ensisijaisesti samansuuntaisiksi toisiinsa nähden.

8.2.1 Esivalmistelut

Ennen mittauksen aloittamista, mittausvarsi mittakelloineen kiinnitetään pääkaraan ja kivisuorakulma asetetaan ensimmäistä mittausta varten hiotun ja puhdistetun paletin päälle lappeelleen. Varmistetaan työstökeskuksen pyöröpöydän lukitusten ja vastinpintojen puhtaus. Tämän jälkeen puhdistettu paletti ajetaan hyllystöhissin kautta koneeseen ja lukitaan paikoilleen.

8.2.2 Koordinaatisto

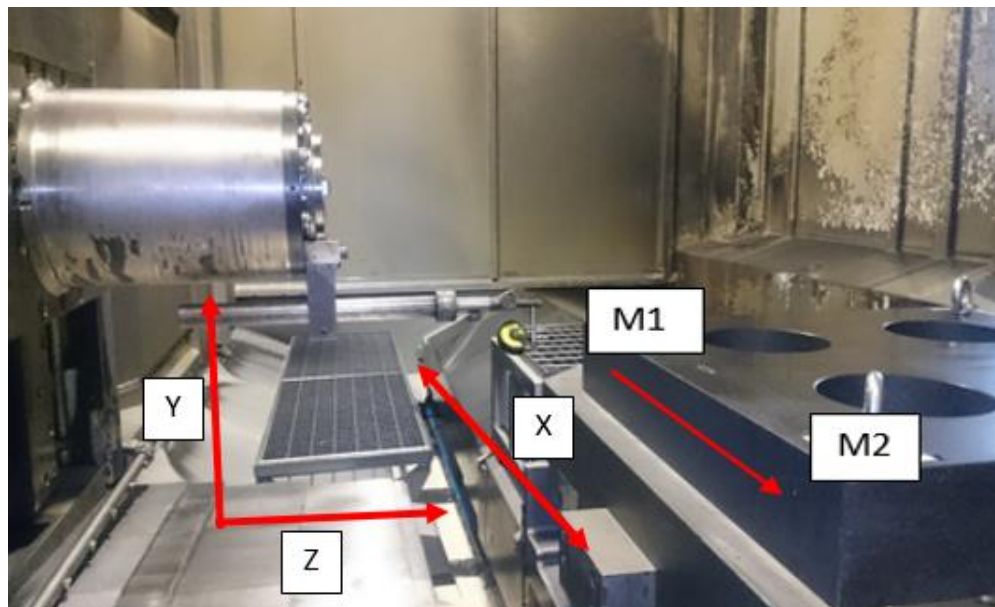
Burkhardt+Weber-koneissa käytetty koordinaatisto vastaa normia DIN 66217, "Koordinaattiakselit ja liikesuunnat numeerisesti ohjatuille työkoneille". Oikeakätisen, suorakulmaisen koordinaatiston säännöt ovat voimassa. Tämän järjestelmän akseleita kutsutaan nimillä x, y, z ja b (**Kuva 27.**)



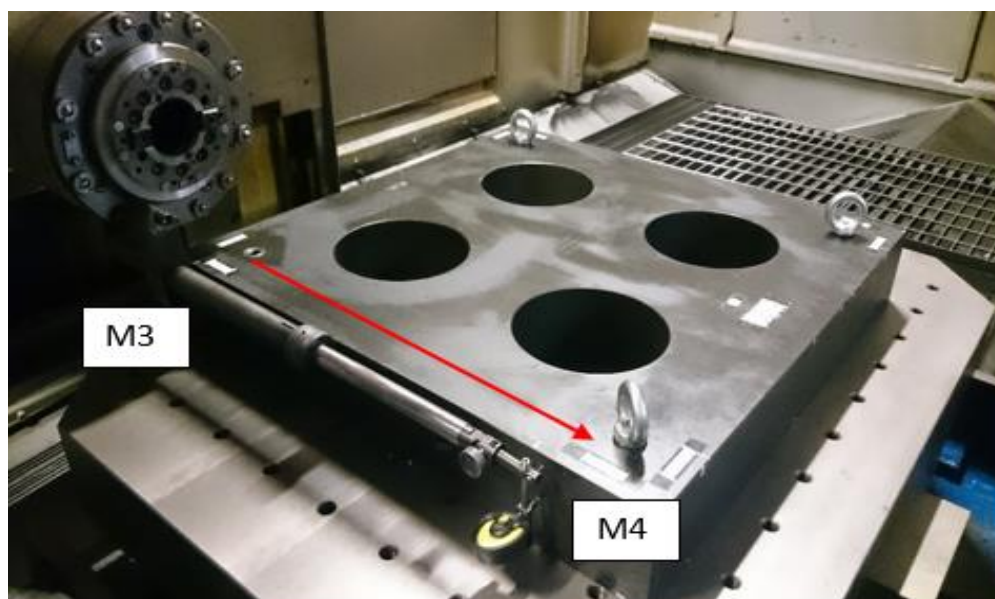
Kuva 27. Työstökeskuksen koordinaatisto

8.2.3 Mittaus x-z

Tällä mittauksella saadaan selville X- ja Z-akselien keskinäinen suorakulma. B-akselin asema tulee olla 0-astetta. Mittakello nollataan pisteessä M1. Ajetaan X-liikkeellä 600 mm matka pisteiden M1 ja M2 välillä suuntaa vaihtamatta kivellä niin, että karaan kiinnitetty mittakello näyttää pisteiden välillä nolaa. Nyt kivisuorakulma on X-akselin suuntaisesti suora (**Kuva 28.**), käännetään kello sopivaan asentoon mittausvarressa. Ajetaan Z-liikkeellä 600 mm matka mittauspisteestä M3, pisteeseen M4 (**Kuva 29.**), luetaan mittaustulos ja kirjataan se taulukkoon. Laskeaan akselien suoruus valmistajan ohjeiden mukaan. Alimmalta riviltä voidaan lukea suurin sallittu poikkeama (**Taulukko2.**)



Kuva 28. M1-M2-pisteiden mittaus



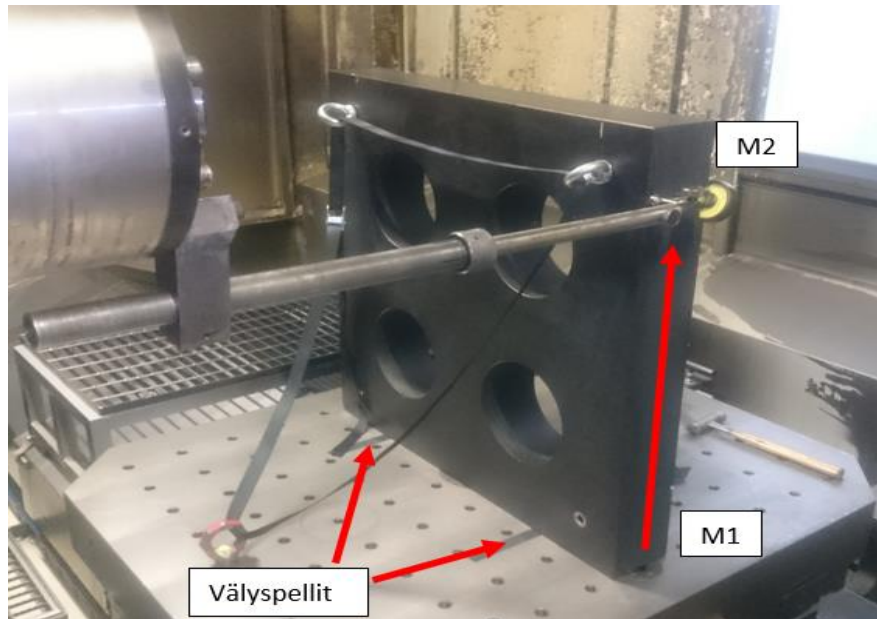
Kuva 29. M3-M4-pisteiden mittaus

Taulukko 2. X-z mittaustuloksien laskentataulukko

M1=	M2=	M3=	M4=
$Dx = M2 - M1 = (\quad) - (\quad) =$			
$Dz = M4 - M3 = (\quad) - (\quad) =$			
$Wxz = Dx - Dz = (\quad) - (\quad) =$			
$Wxz\ zul = 0,02\ mm / 600\ mm$			

8.2.4 Mittaus x-y

Tällä mittauksella saadaan selville x- ja y-akselien keskinäinen suoruus toisiinsa nähden. Kivisuorakulma nostetaan pystyyn paletin päälle. Kiven alle laitetaan kaksi saman paksuista tarkkuushiottua mittapalaa tai vällyspeltiä. Palojen tarkoituksena on pienentää kiven ja paletin välistä kosketuspintaa, sekä vähentää paletista aiheutuvia mittausvirheitä. B-akselin asema tulee olla 270-astetta. Kivi suoristetaan mittakellon avulla Z-suunnassa. Asetetaan mittakello oikeaan asentoon ja nollataan se kohdassa M1. Y-suunnassa mitataan pisteiden M1-M2 väliltä 600 mm matkalta **(Kuva 30.)**



Kuva 30. M1-M2-pisteiden mittaus sekä vällyspellit kiven ja paletin välissä
Mittakello asetetaan oikeaan asentoon mittausvarressa ja nollataan se kohdassa M3.
Mitataan pisteiden M3 ja M4 väliltä x-suunnassa 600 mm matkalta (**Kuva 31.**)



Kuva 31. M3-M4-pisteiden mittaus

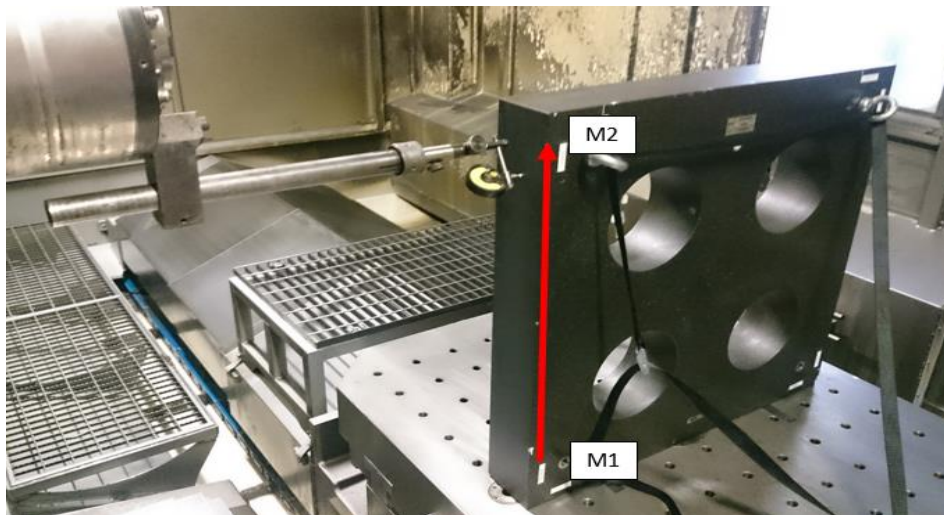
Mittaustulos luetaan ja kirjataan se taulukkoon. Lasketaan akseleiden suoruus valmistajan ohjeiden mukaan. Alimmalta riviltä voidaan lukea suurin sallittu poikkeama (**Taulukko 3.**)

Taulukko 3. X-y mittaustuloksien laskentataulukko

M1=	M2=	M3=	M4=
$Dy = M2 - M1 = (\quad) - (\quad) =$			
$Dx = M4 - M3 = (\quad) - (\quad) =$			
$W_{xy} = Dy - Dx = (\quad) - (\quad) =$			
$W_{xy\text{ zul}} = 0,02 \text{ mm} / 600 \text{ mm}$			

8.2.5 Mittaus y-z

Mittaustuloksella y- ja z-akseleiden keskinäinen suoruus toisiinsa nähden. B-akseli asetetaan asentoon 0-astetta. Mittausvarsi asetetaan oikeaan asentoon ja kivi suoritetaan x-suunnassa. Mittakello nollataan kohtaan M1, mitataan pisteiden M1 ja M2 väliltä y-suunnassa (**Kuva 32.**)



Kuva 32. M1-M2-pisteiden mittaus

Asetetaan mittakello oikeaan asentoon mittausvarressa ja nollataan se kohdassa M3. Mitataan pisteiden M3 ja M4 väliltä z-suunnassa 600 mm matkalta (**Kuva 33.**)



Kuva 33. M3-M4-pisteiden mitta

Mittaustulos luetaan ja kirjataan taulukkoon. Lasketaan akseleiden suoruus valmistajan ohjeiden mukaan. Alimmalta riviltä voidaan lukea suurin sallittu poikkeama (**Taulukko 4.**)

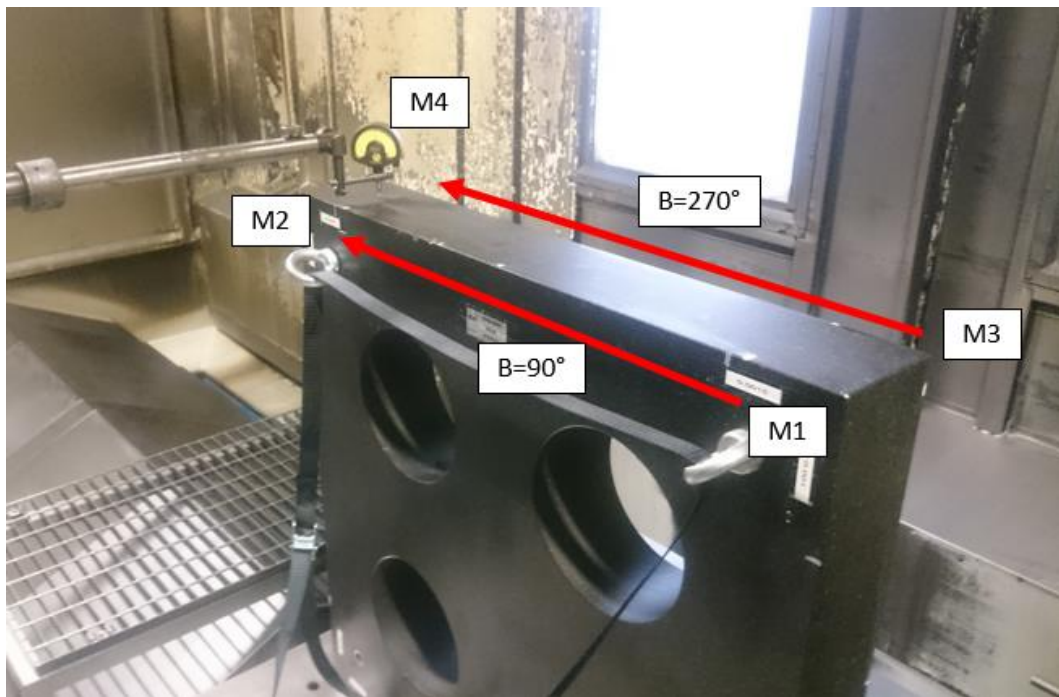
Taulukko 4. Y-z-mittaustuloksien laskentataulukko

M1=	M2=	M3=	M4=
$Dy = M2 - M1 = (\quad) - (\quad) =$			
$Dz = M4 - M3 = (\quad) - (\quad) =$			
$Wyz = Dy - Dz = (\quad) - (\quad) =$			
Wyz zul = 0,02 mm / 600 mm			

8.2.6 Mittaus b-x

Tällä mittauksella saadaan selville b- ja x -akseleiden keskinäinen suoruus toisiinsa nähden. Tämä kertoo, kuinka paljon b-akselin pyörittämisestä aiheutuu eroa mittauksien tulosten välille. b-akseli asetetaan ensin asentoon 90-astetta. Mittausvarsi asetetaan oikeaan asentoon. Mittakello nollataan kohtaan M1. Mitataan pisteiden

M1 ja M2 väliltä x-suunnassa 600 mm matkalta. Mittauksen jälkeen b-akseli asetetaan asentoon 270-astetta. Mittakello nollataan kohtaan M3. Mitataan pisteiden M3 ja M4 väliltä x-suunnassa 600 mm matkalta (**Kuva 34.**)



Kuva 34. M1-M2 ja M3-M4 pisteiden mittaus

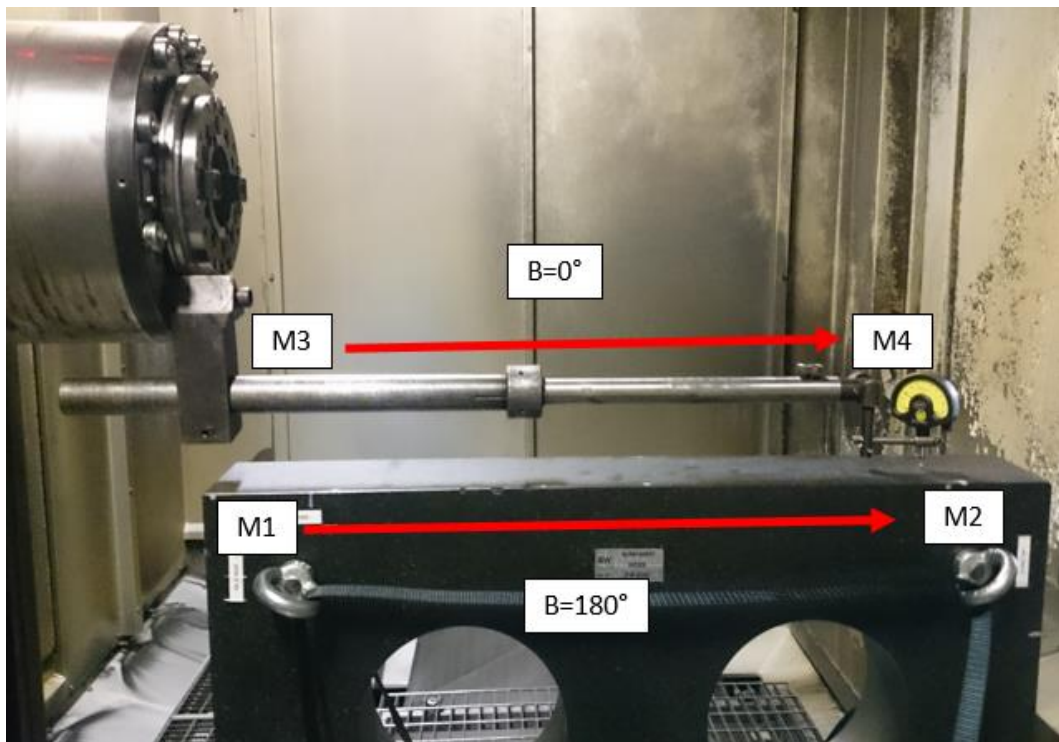
Luetaan mittaustulokset ja kirjataan ne taulukkoon. Lasketaan akseleiden suoruus valmistajan ohjeiden mukaan. Alimmalta riviltä voidaan lukea suurin sallittu poikkeama (**Taulukko 5.**)

Taulukko 5. B-x mittaustuloksien laskentataulukko

M1=	M2=	M3=	M4=
$D_{180} = M1 - M2 = (\quad) - (\quad) =$			
$D_0 = M3 - M4 = (\quad) - (\quad) =$			
$W_{bz} = \frac{D_{180} + D_0}{2} = \frac{(\quad) + (\quad)}{2} =$			
$W_{bz\ zul} = 0,01\ mm / 300\ mm$			

8.2.7 Mittaus b-z

Tällä mittauksella saadaan selville b- ja z -akseleiden keskinäinen suoruus toisiinsa nähden. Tämä kertoo, kuinka paljon b-akselin pyörittämisestä aiheutuu eroa mittauksien tulosten välillä. B-akseli asetetaan ensin asentoon 180-astetta. Mittausvarsi asetetaan oikeaan asentoon. Mittakello nollataan kohtaan M1. Mitataan pisteiden M1 ja M2 väliltä z-suunnassa 600 mm matkalta. Mittauksen jälkeen b-akseli asetetaan asentoon 0-astetta. Mittakello nollataan kohtaan M3. Mitataan pisteiden M3 ja M4 väliltä z-suunnassa 600 mm matkalta (**Kuva35.**)



Kuva 35. M1-M2 ja M3-M4-pisteiden mittaus

Mittaustulokset luetaan ja kirjataan ne taulukkoon. Lasketaan akseleiden suoruus valmistajan ohjeiden mukaan. Alimmalta riviltä voidaan lukea suurin sallittu poikkeama (**Taulukko 5.**)

Taulukko 5. B-z mittaustuloksien laskentataulukko

M1=	M2=	M3=	M4=
$D_{180} = M1 - M2 = (\quad) - (\quad) =$			
$D_0 = M3 - M4 = (\quad) - (\quad) =$			
$W_{bz} = \frac{D_{180} + D_0}{2} = \frac{(\quad) + (\quad)}{2} =$			
Wbz zul = 0,01 mm / 300 mm			

8.2.8 B ja y-akseleiden suoruus x-suunnassa

Aiemmista mittauksista kirjatut mittaustulokset sijoitetaan valmistajan ohjeiden mukaiseen laskentataulukkoon ja niiden avulla lasketaan b- ja y-akseleiden suoruus x-suunnassa. Taulukon alimmalta riviltä voidaan myös lukea sallittu suurin poikkeama (**Taulukko 6.**)

Taulukko 6. By-x laskentataulukko

Wxy =	Wbx =
$W_{by-x} = W_{xy} - W_{bx} = (\quad) - (\quad) =$	
Wby-x zul = 0,015 mm / 300 mm	

8.2.9 B ja y-akseleiden suoruus z-suunnassa

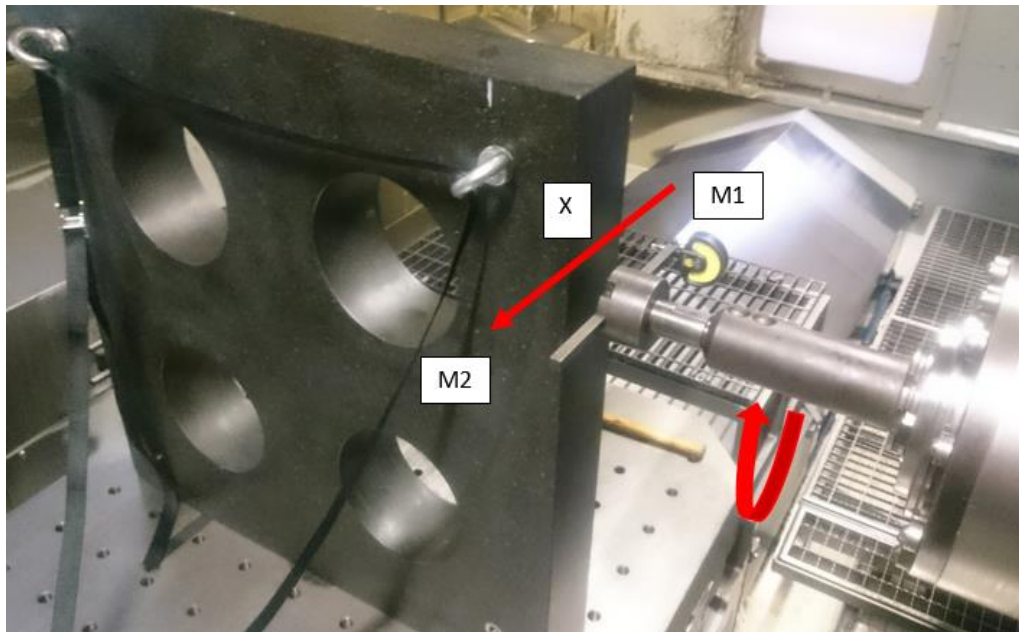
Aiemmista mittauksista kirjatut mittaustulokset sijoitetaan valmistajan ohjeiden mukaiseen taulukkoon ja niiden avulla lasketaan b- ja y-akseleiden suoruus z-suunnassa. Taulukon alimmalta riviltä voidaan myös lukea sallittu suurin poikkeama (**Taulukko 7.**)

Taulukko 7. By-z laskentataulukko

Wyz =	Wbz =
Wby-z = Wyz - Wbz = () - () =	
Wby-z zul = 0,015 mm / 300 mm	

8.2.10 Karan kohtisuoruusmittaus x-akselin suhteen

Mittauksella saadaan selville karan kohtisuoruus x-akselin suhteen. Karalle asetetaan mittaukseen sopiva mittausvarsi jonka pituus on 150 mm. Käännetään mittausvarsi vaakasuoraan. Siirretään mittauskivi x-suunnassa kohtaan M1 ja nollataan mittakellon lukema keskelle mittauskiveä. Mittauskivi siirretään x-suunnassa 300 mm matka mittauskohtaan M2. Mittausvarsi pyöräytetään karalla myötäpäivään samaan paikkaan (**Kuva 36.**) Mittaustulos luetaan ja kirjataan taulukkoon. Lasketaan akseleiden suoruus valmistajan ohjeiden mukaan (**Taulukko 8.**) Alimmalta riviltä voidaan lukea suurin sallittu poikkeama.



Kuva 36. Karan kohtisuoruuden mittaaminen x-akselin suhteen

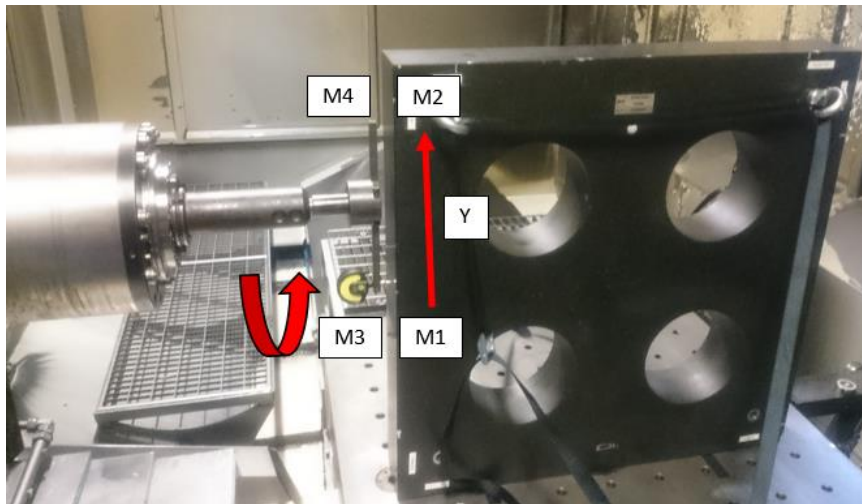
Taulukko 8. Karan kohtisuoruuden laskentataulukko x-akselin suhteen

M1 =	M2 =
$W_{sx} = M2 - M1 = (\quad) - (\quad) =$	
$W_{sx} \text{ zul} = 0,01 \text{ mm} / 300 \text{ mm}$	

8.2.11 Karan kohtisuoruuden mittaaminen y-akselin suhteen

Mittauksella saadaan selville karan kohtisuoruus y-akselin suhteen. Mittaus suoritetaan edellisessä kohdassa esitetyllä työkalulla. Mittauskivi siirretään sopivaan kohtaan x-suunnassa. Käännetään mittausvarsi suoraan alas y-suunnassa kohtaan M1 ja nollataan mittakellon lukema. Mittausvartta ajetaan y-akselilla 300 mm matka kohtaan M2. Mittauksen tarkoitus on selvittää y-akselin samansuuntaisuus kiveen nähden. Otetaan tulos ylös. Mittausvarsi ajetaan takaisin kohtaan M3/M1 ja mittakello nollataan. Mittausvarsi pyöräytetään myötä päivään karalla kohtaan M4/M2 ja otetaan tulos ylös (**Kuva 37.**) Kirjataan tulokset taulukkoon. Lasketaan

karan kohtisuoruus valmistajan ohjeiden mukaan (**Taulukko 9.**) Alimmalta riviltä voidaan lukea suurin sallittu poikkeama.



Kuva 37. Karan kohtisuoruuden mittaaminen y-akselin suhteen

Taulukko 9. Karan kohtisuoruuden laskentataulukko y-akselin suhteen

M1=	M2=	M3=	M4=
$D_y = M2 - M1 = (\quad) - (\quad) =$			
$D_{ys} = M4 - M3 = (\quad) - (\quad) =$			
$W_{sy} = D_{ys} - D_y = (\quad) - (\quad) =$			
$W_{sy\ zul} = 0,01\text{ mm} / 300\text{ mm}$			

8.2.12 X-akselin kiertymä ja kaltevuus

Yhtenä tärkeimmistä tarkastuksista voidaan pitää x-akselin pituussuuntaisen kiertymän mittaamista. Pituussuuntaiset virheet akselissa aiheuttavat joskus vaikeasti tulkittavia mittaustuloksia koordinaattimittauskoneelta, koska akselin kallistuma saattaa olla x-miinusliikkeen ääriasennossa kallistunut plussuuntaan ja päinvastoin. Tämä vika aiheutuu x-akselin virheellisestä vaaituksesta. Mitatessa tulee myös huomioida x-akselilla oleva pyöröpöytä b-akselin suoruus, ettei tule mittavirheitä.

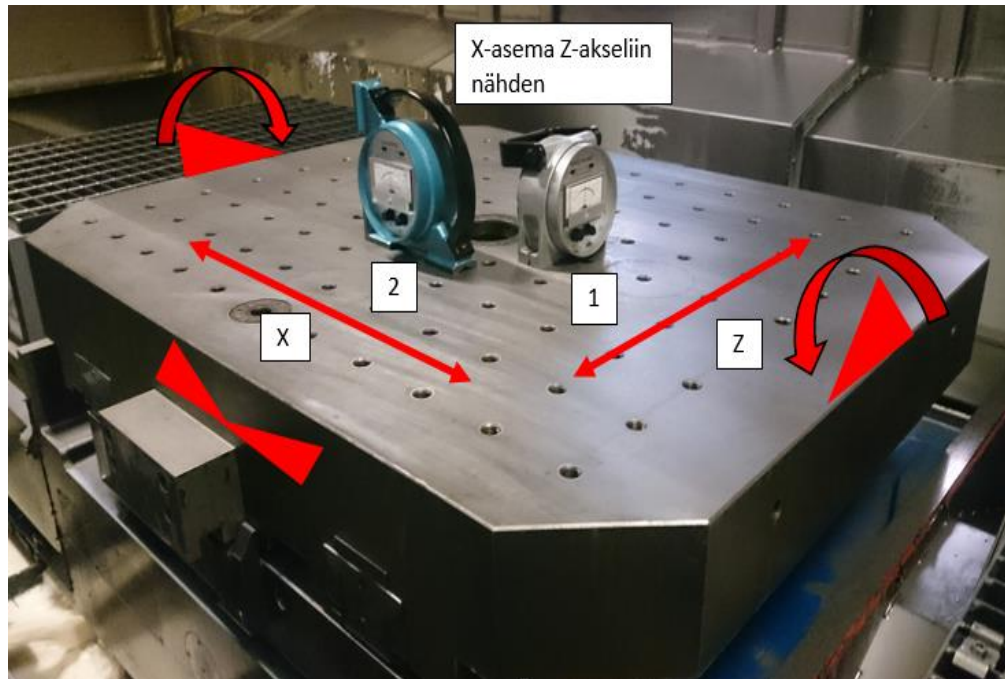
Tyhjän paletin päälle asetetaan kaksi tarkkuusvesivaakaa x-suuntaan ja z-suuntaan. Tarkastetaan x-akselin suoruus vesivaa'asta 1 ja 2, x-liikettä ajamalla molempiin ääriasentoihin.

Aloituspisteessä saatujen molempien vaakojen arvojen tulisi pysyä samansuuntaisina koko tarkastusmatkan pituudella. Arvojen muuttuminen vaa'assa 1, plussuunnalta miinukselle tai päinvastoin, kertovat x-akselin olevan kierteellä. Arvojen muuttuminen vaa'assa 2 plussuunnalta miinukselle tai päinvastoin, kertovat x-akselin säädön olevan väärä pituussuunnassa (**Kuva 38.**)

Kuten aikaisemmassa luvussa kerrottiin, koneen kaikki akselit on konetta käyttöön otettaessa säädetty suoraan sekä maan että toisiinsa nähden. Myöhempää säätöä tehtäessä on huomioitava, että näin ei välttämättä ole enää. Moni asia on voinut muuttua.

X-akselia ei voi säätää yksiselitteisesti joka suunnassa maan suhteen täysin suoraan. Säätäminen on aina tapahduttava suhteessa z- ja y-akseleihin, muuten koneen työtarkkuus menetetään. Kiertymä ei ole sallittavaa varsinkaan koneen työstöalueella, koska siitä on huomattavaa haittaa valmistettavan tuotteen laadulle. Säätäminen suoraan tapahtuu rungon alla olevilla säätöjaloilla.

Säädettäessä mitä tahansa akselin runkoa säätöjaloilla, on muistettava, että työstökoneen runkoon voi muodostua säädön aikana jännityksiä. Nämä jännitykset voivat laueta vasta päivien tai kuukauden työstämisen jälkeen aiheuttaen koneistustarkkuuden menettämisen. Tällöin koneen tarkastus ja säätö tehdään uudelleen.



Kuva 38. X-akselin suoruuden mittaaminen työstöalueella

9 MITTAUSTAPOJEN YHTEENSOVITTAMINEN

Kahdessa aikaisemmassa luvussa on kerrottu staattorirungon mittaamisesta koordinaattimittauskoneella, sekä työstökoneen tärkeimmistä geometrisista mittauksista koneen linjausvirhettä epäiltäessä.

Nämä kaksi mittaustapaa poikkeavat suuresti toteutukseltaan, vaikka päämäärä molemmissa on sama, eli varmistaa koneen riittävä laaduntuottokyky ja kunto.

Koska käytettävissä on tällä hetkellä rajalliset mahdollisuudet mittausteknisesti, käytetään olemassa olevia mahdollisuuksia helpottamaan mittaushuoneen mittausraportin tulkitsemista. Alkuun päästään koneessa valmiina olevia mahdollisuuksia hyväksi käyttämällä. Näin voidaan parantaa mittaushuoneen raporttia kunnossapidon ja laadunvarmistuksen kannalta.

9.1 Mittaushuoneen raportin uudistaminen

Koordinaattikoneen valmistajan edustajan avustuksella saatiin selville, että koordinaattikoneen mittausraporttiin on mahdollista liittää visuaalisuutta. Tällä tarkoitetaan, että pelkästään jo mitatuistakin pisteistä voidaan muodostaa ymmärrettävä kuva staattorirungon päätyjen ja ohjausten geometriasta ja niiden poikkeamista. Tätä kuvaa on myös mahdollista käyttää avuksi työstökeskuksen korjauksessa vaaitusvirhettä epäiltäessä.

Paras mahdollinen tapa olisi liittää runkojen 3-D-malli mittakoneen tietokantaan, josta voitaisiin hakea kulloinkin oikea malli. Tätä ei ollut mielestäni järkevää viedä eteenpäin tämän työn puitteissa. Suuremmat uudistukset vaativat enemmän suunnittelua, sekä rahallisia ja ajallisia panostuksia yhtiöltä. Koneeseen ei ole myöskään käytössä skannaustyökalua, mikä helpottaisi rungon geometrian tulkitsemista.

9.2 Ehdotus koordinaattikoneen mittausraportiksi

Tulkintavirheiden vuoksi on varmistettava, että työstökoneen ja koordinaattimitauskoneen koordinaatistot vastaavat toisiaan. Staattorirunko koneistetaan siten, että rungon jalat ovat kiinnittimessä x-akselin suuntaisesti sivulle (**Kuva 39.**) Mittaushuoneessa suoritettussa mittauksessa jalat ovat kivitasoa vasten alaspäin.



Kuva 39. Koneistettu runko koneistuskiinnittimessä

Mittausraporttiin liitettävän karkean staattorirungon mallin koordinaatiston voisi muuttaa valmistajan avulla vastaamaan työstökoneen koordinaatistoa. Koordinaattikoneen mittauspisteiden välille vedettävät janat merkittäisiin eri väreillä, kuten jo nyt on mahdollista tehdä.

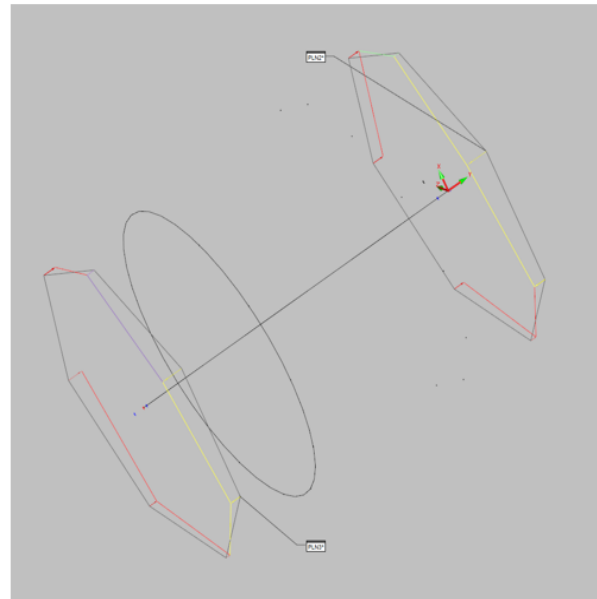
Mitattavien ympyröiden pisteiden välisten janojen värit kertoisivat työstökoneen karan kulloisenkin liikeradan pisteiden välillä. Tällöin tiedettäisiin missä työstökoneen terä missäkin pisteessä on käynyt, eli mennäänkö pisteiden etäisyyksissä plus-salta miinukselle tai päinvastoin.

Käytettävät värit voisivat olla musta, punainen ja keltainen, kuten tälläkin hetkellä. Musta väri olisi haluttu arvo ja punainen plus, sekä keltainen miinus poikkeamia tästä arvosta.

Haasteena tulkitsemisessa voidaan pitää, että koordinaattimittauskone ei mittaa rungon päitä aina samasta suunnasta, vaan ensin mitataan d-pääty edestä ja sen jälkeen siirrytään mittaamaan n-päätyyn kääntäen mittapäätä. Mittakone mittaa nollasta miinukselle päin. Työstökoneen z-akseli taas koneistaa päädyt aina samasta suunnasta, koska runko pyörytetään koneen pöydällä työstämisen aikana ympäri. Mittauskoneen ja työstökeskuksen z-akseleiden suunnat ovat kuitenkin samat. Tämä saattaa hiukan hämmentää aluksi tulkittaessa mittaustuloksia.

Samoja värejä käytettäisiin myös työstökoneen mallissa, jolloin voitaisiin päätellä, mitkä koneen vaaitusvirheistä aiheuttavat laadun virheet staattorirungossa. Kuvan lisäksi koordinaattimittauskone pystyy antamaan tarkat mittauspisteiden koordinaatit, jotka on mahdollista liittää raporttiin (**Kuvat 40 a ja b**). Koordinaattien rivit on merkitty numeroilla 1-7. Nämä numerot voisi liittää mittausraportin kuvaan siten, että varsinaiset mittauspisteet näkyisivät siinä selkeästi. Rungon kytkentäkotelon aukosta tai jaloista voisi ottaa mitattaessa muutaman pisteen. Tämä kertoisi jalkojen aseman kuvassa. Tämä helpottaisi osaltaan raportin tulkinnassa. Uskoakseni edellä mainitut uudistukset ovat mahdollista toteuttaa melko pienellä panostuksella mittakoneen valmistajan edustajan avustuksella. Osa näistä uudistuksista on jo toteutettu tätä työtä kirjoitettaessa.

← MM		DIST1 - PLN2 TO PLN3 (AXIS)						
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL		
M	639.968	640.000	-0.032	0.100	-0.100	0.000		
⊥ MM		PERP3 - PLN2 TO LN1						
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL		
M	0.063	0	0.063	0.025	0	0.038		
FEATURE	HITS	MEAS X	Y	Z	VECTOR I	J	K	DEV
PLN2	1	273.054	-0.013	0.018	-0.000	0.000	1.000	0.021
	2	170.273	213.414	0.019	-0.000	0.000	1.000	0.022 MAX
	3	-60.678	266.127	-0.014	-0.000	0.000	1.000	-0.010
	4	-245.885	118.429	-0.044	-0.000	0.000	1.000	-0.041 MDN
	5	-245.880	-118.457	-0.025	-0.000	0.000	1.000	-0.022
	6	-60.671	-266.152	0.008	-0.000	0.000	1.000	0.011
	7	170.275	-213.440	0.016	-0.000	0.000	1.000	0.020
⊥ MM		PERP4 - PLN3 TO LN1						
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL		
M	0.068	0	0.068	0.025	0	0.043		
FEATURE	HITS	MEAS X	Y	Z	VECTOR I	J	K	DEV
PLN3	1	273.087	-0.034	-639.943	0.000	-0.000	-1.000	0.028 MAX
	2	170.303	-213.462	-639.957	0.000	-0.000	-1.000	0.015
	3	-60.646	-266.175	-639.963	0.000	-0.000	-1.000	0.008
	4	-245.852	-118.477	-639.991	0.000	-0.000	-1.000	-0.020
	5	-245.847	118.409	-640.011	0.000	-0.000	-1.000	-0.040 MDN
	6	-60.636	266.105	-639.986	0.000	-0.000	-1.000	-0.015
	7	170.310	213.393	-639.948	0.000	-0.000	-1.000	0.024

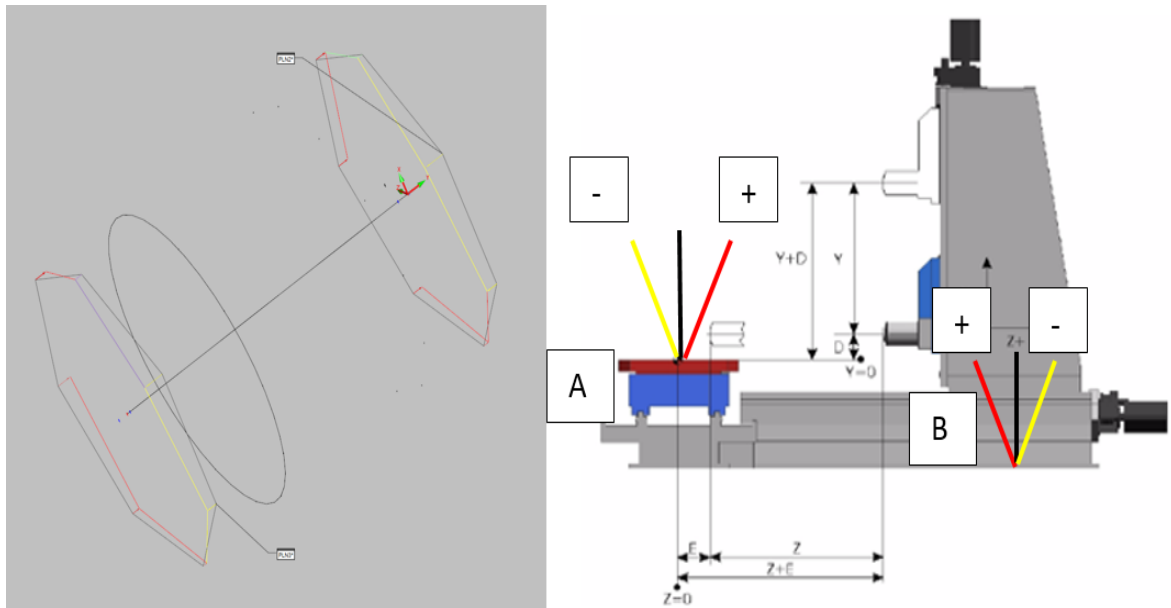


Kuva 40 a ja b. Mittauspisteiden värit ja koordinaattipisteet

9.3 Työstökeskuksen vertaaminen mittausraporttiin

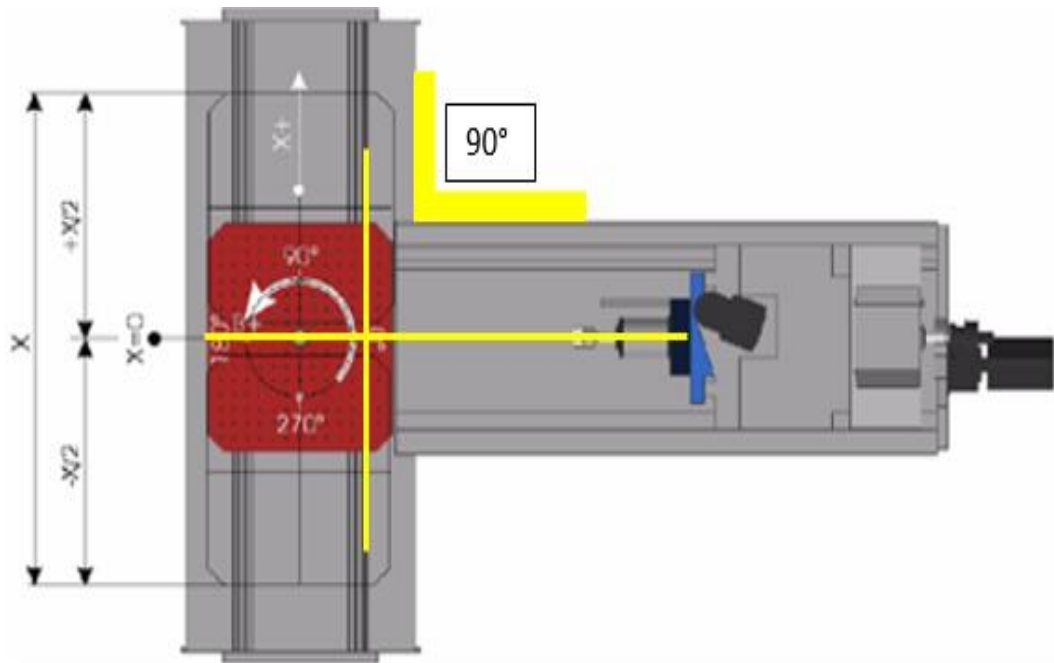
Työstökeskuksen kuvaan lisättäisiin yksinkertaisesti samat värit, mitkä löytyisivät uudistetusta mittausraportista. Koska työstökeskuksen x- ja z/y- akselien rungot ovat eri komponentteja keskenään, niiden asennot toisiinsa nähden vaikuttavat paljon siihen, miten virheet näkyvät mittausraportissa. Tämän vuoksi akselien värit ovat erisuuntaiset. Staattorirunkojen päätyjen ohjauksia sekä tasopintoja koneistettaessa liikutellaan y- ja x-akselia samanaikaisesti. Mikäli x-akseli (A) kiertyy vaaitusvirheen vuoksi liikkuaan koneistuksen aikana, eli kallistuu karan suuntaan (punainen) ja karasta poispäin (keltainen), ilmenee tämä mittakopin mittaustuloksissa siten, että ympyrällä havaitaan sekä punaista että keltaista väriä eri pisteiden välillä (**Kuvat 41 a ja b.**)

Mikäli edelliseen lisätään vielä mahdollinen z-akselin (B) jatkuva kallistuma plus-tai miinussuuntaan, onkin tilanne jo todella haastava laadun tuottamisen kannalta. Tämä näkyy myös mittausraportissa samalla ympyrällä värien vaihtumisella eri mittauspisteiden välillä.



Kuvat 41 a ja b. Virheiden tulkinta mittausraportista

Virheiden oikea tulkinta myös edellyttää ehdottomasti, että x- ja z-akselit ovat suorassa kulmassa keskenään (**Kuva 42.**) Mikäli näin ei ole, on koneistettava runko väärässä asennossa karassa kiinni olevaan terään nähden ja päätyjen ympyrän koneistus ei ole kohtisuora. Koordinaattimittauskone voi tämän vuoksi antaa hämmentäviä mittaustuloksia. Juuri tämän vuoksi on erittäin tärkeää huolehtia, että kaikkien pääakseleiden suoruudet ovat valmistajan antamien toleranssiarvojen sisällä. Virheiden tulkinnasta voisi laatia mahdollisesti myös erillisen oppaan.



Kuva 42. X- ja z-akselien keskinäinen suorakulmaisuus

10 KEHITYSIDEOITA

Työstökoneen tuottama laatu on monen tekijän summa. Vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi koneen kunto, kiinnitin, kappaleen kiinnitys, työkalut ja lämpötilat. Joskus laadun ylläpitämiseksi vaaditaan suurempia rahallisia panostuksia, joskus hyvin pienilläkin tapojen ja asenteiden muutoksilla saadaan paljon positiivista tulosta aikaan. Tässä luvussa ehdotetaan joitakin pienempiä ja suurempia kehitysideoita.

10.1 Koneistuskeskuksen puhtaus

Koneistuksen yhteydessä syntyy paljon koneistusjätettä moniin paikkoihin koneessa, jota koneen pesujärjestelmä ei jäähdytysnesteellä pysty pesemään täysin pois. Ennen pitkää tämä jäte kulkeutuu paletin kiinnityksessä käytettävien lukituslistojen ja paletin ohjauspintojen väliin (**Kuva 43.**)

Jäädessään paletinlukituksen lukituslistojen väliin, valurautajäte ennen pitkää kiihyy ja muuttuu kovaksi massaksi, mikä estää lukituksen oikeanlaisen toiminnan. Tästä aiheutuu, että paletti ei asemoidu työstökoneen pöytään oikealla tavalla. Lika myös vaurioittaa työstökoneen pöydän ohjauspintoja. Molemmista on seurauksena, että valmistettu runko ei täytä sille asetettuja laatuvaatimuksia.

Tämä asia on yksinkertaista ratkaista siten, että jokaisen vuoron päättyessä työstökoneen pöytä ja sen ohjauspinnat pestään koneessa käytössä olevalla pesuruiskulla. Pestäessä tulee varmistua, että myös paletinlukitukset ovat auki, muutoin likaa ei saada poistettua kriittisistä paikoista. Koneen oma pesujärjestelmä ei tällä hetkellä kykene riittävään puhdistukseen, vaikka sitä olisi myös syytä yrittää parantaa, esim. ylimääräisillä pesusuuttimilla, paremman lopputuloksen saamiseksi.



Kuva 43. Koneistusjätettä paletinlukituslistan ja ohjauspintojen välissä

10.2 Koneistuspaletit

Viimeisen 10 vuoden aikana ABB:llä työstökoneita korjatessani ja mitatessani olen huomannut kuinka vähän palettien kuntoon on kiinnitetty huomiota. Jotkut koneistuspaletteista ovat lähes 20 vuotta vanhoja. Olen joutunut mittaamaan tuotannossa käytössä olevilla paletteilla, koska omaa mittapalettia ei ole ollut. Puhtaus on työstökoneen mittauksissa erittäin tärkeää.

Joskus on käynyt niin, että mittauksessa käytettävä paletti on jouduttu vaihtamaan kesken mittauksen ja aloittamaan koko työ alusta. Olen ennen työn aloittamista nostanut paletin nosturilla ylös ja todennut liian usein kuinka huonossa kunnossa paletin pohjassa olevat ohjauspinnat ovat. Edes timantilla hiomalla niistä ei ole saanut riittävän hyviä, silti niitä on käytetty tuotannossa.

Nämä edellä mainitut ohjauspinnat asemoituvat työstökoneen pöydässä oleviin vastapintoihin. Paletin ohjauspintojen vaurioitumisella on suorat seuraukset staattorirungon laatuun. Vaikka kone olisi mittausten perusteella säädetty kuinka suoraan, voidaan käytettäessä huonoa palettia tuotannossa tehdä tämä työ tyhjäksi. Tähän päälle tulevat sitten vielä kiinnitin, koneistettava materiaali, lämpötilat, värinät sekä rungosta vapautuvat jännitykset kiinnittimestä irti päästämisen jälkeen.

Mielestäni palettien kuntoa tulisi seurata säännöllisesti. Myös palettien pohjien ja ohjauspintojen puhdistuksesta tulisi tehdä säännöllistä. Olen antanut asiasta palautetta tuotannolle ja jotkut tässä mainituista asioista ovat jo ilmeisesti työn alla. Asiasta tarvitaan kuitenkin valmistuspäällikön ja osaston työnjohdon ohjeistus, jotta muutoksista saadaan pysyviä.

10.3 Mittauspaletti

Kunnossapidolle tarvitaan mittaamista varten oma mittauspaletti. Työstökoneen mittaajan ei pitäisi joutua paletin silmämääräisen tarkastuksen jälkeen kyseenalaiseen mitatessaan paletin kuntoa. Mittalaitteen kuntoon tulee voida luottaa. Tämä paletti räätälöitäisiin pelkästään mittaustarkoitukseen ja siitä tehtäisiin virallinen mittatyökalu. Kyseistä palettia ei saisi käyttää tuotannossa. Tätä palettia voisi hyödyntää myös vuosihuollon aikana.

Paletti on kallis investointi, mutta maksaa itsensä nopeasti takaisin. Esimerkkinä voin antaa viimeisimmän geometrian mittaustapahtuman BW 120/2-työstökeskuksella. Epävarman mittauspaletin vuoksi saatuihin mittaustuloksiin ei lopulta voitu luottaa. Tämän syystä menetettiin koneella kaksi täyttä työpäivää, eli kuusi vuoroa. Tämän lisäksi mittaukset jouduttiin aloittamaan alusta. Kyseisellä työstökeskuksella tehdään kaikki erikoisemmat rungot, joten työjono kasvaa melko nopeasti aiheuttaen kustannuksia ja asiakasmyöhästymää.

10.4 Uusi työkalu koordinaattimittauskoneelle

Voitaisiin myös tutkia, saataisiinko staattorirungon sekä muiden mitattavien komponenttien mittauksessa saavutettua lisäarvoa niin kutsutulla skannaustyökalulla, joka kykenee kymmenien tuhansien pisteiden mittaamiseen ja antamaan tarkan kuvan muodoista ja virheistä. KK-rakennuksen pienemmällä mittauslaitteella tämän tyyppinen työkalu jo on. Tämän kaltainen työkalu voisi helpottaa myös kunnossapitoa havaitsemaan koneen virheitä. Näin koneen tuotantokuntoon saattamiseen kuluva aika saattaisi lyhentyä. Voitaisiin myös etsiä oikosulkumoottorin komponenttien laatuun vaikuttavia ongelmia ja virheitä, mitä ei tähän asti ole kyetty toteamaan.

10.5 Työstökeskuksen liukupinnat

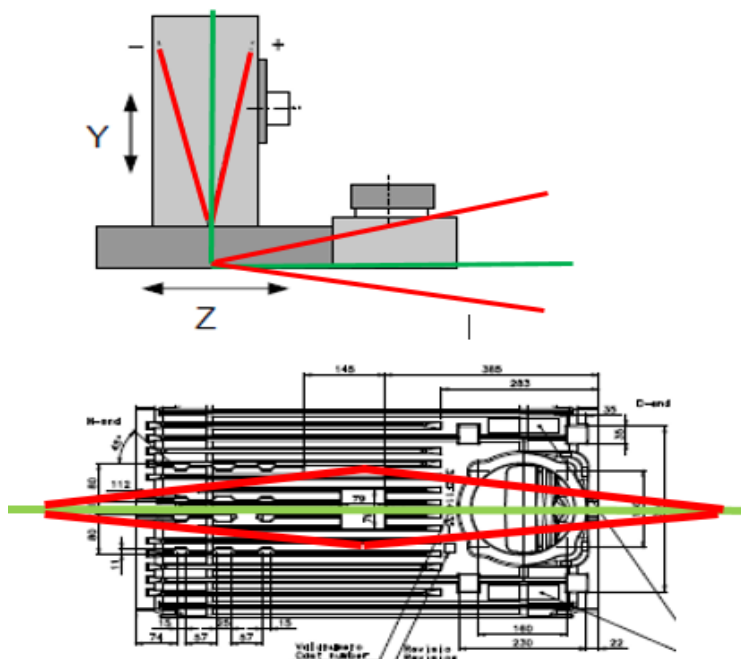
Työstökeskuksen z-akselia pitkin kulkee koneistustorni jossa sijaitsee y-akseli. Torni painaa MC-120-työstökoneessa 10 tonnia. Tätä tornia liikutellaan edestakaisin jatkuvasti. Tornin pohjaan on liimattu ja käsin suoraksi kaavatut tefloniset liukupinnat.

Teflon on itsevoiteleva mutta sitä voidellaan kovan kuormituksen vuoksi ajastetusti johdevoiteluöljyllä. Z-akselin teräksiset johteet ja lika kuluttavat kuitenkin näitä pintoja ajan kanssa. Tornille on tästä syystä tyypillistä kallistua eteenpäin, koska se on rakenteestaan johtuen etupainoinen. Myös torni työskentelee johteiden etupäässä eniten, joten kuluma siinä osassa on suurinta.

Tornin kallistuessa eteenpäin aiheutuu tästä se, että y- akseli kallistuu plusasentoon. Työstökeskus siis koneistaa rungon päädyt vinoon. jossain vaiheessa tämä kallistuma aiheuttaa staattorirungon mittauksessa mittaushuoneessa d - ja n-päätyjen kohtisuoruusarvojen ylittymisen.

Koska liukupintojen kulumista ei voi säätää suoraan, muuten kuin ne uusimalla, joudutaan kompromissitilanteeseen säädön suhteen. Staattorirunkojen päädyt tulee olla riittävän kohtisuorat, koska niihin kiinnitetään roottorin laakerointiosat, kun taas staattorirungon paketiinpaikan aukon vinoutta ei mittaamalla todeta lainkaan. Näin ollen työstökoneen z-akselia joudutaan säätämään siten, että y-akseli koneistaa päädyt suoraan mutta z-akseli kulkeekin tämän jälkeen ylämäkeen, josta aiheutuu staattoriaukon vinous (**Kuva 44 a ja b.**)

Koska aukko koneistetaan kahdesta eri suunnasta, syntyy kaksi erisuuntaista staattoriaukkoa jotka kohtaavat keskellä runkoa. Aukon suunnan virheen suuruus riippuu siitä, paljonko torni kallistaa ja mihin suuntaan. Pahin tähän asti näkemäni virhe on ollut 0,07/600 mm. Runko koneistetaan jalat sivullepäin. Aukon suunnan virhe on moottorityypistä riippuvainen. Lopputulokseen vaikuttaa, onko kyseessä jalallinen vai laipallinen runko.



Kuva 44 a ja b. Staattoriaukon suuntavirhe kytkentäkotelon puolelta

Koneistuvirhe on mahdollista todeta työstökoneella y-z mittauksen avulla. Kyseinen mittaus suoritetaan joka vuosi ennakkohuollon yhteydessä, sekä aina laatupuutteita työstökoneella epäiltäessä. Kun kyseinen virhe havaitaan, olisi siihen tärkeää tarttua mahdollisimman pian. Liukupintojen korjaaminen on kallis ja aikaa vievä toimenpide. Siinä edellytetään koneistustornin irrottamista ja lähettämistä korjattavaksi koneenvalmistajan tehtaalte Saksaan.

Mielestäni olisi myös kiinnostavaa selvittää lisää, minkälaisia mahdollisia ongelmia tämän kaltaisista staattoriaukon suuntavirheistä aiheutuu oikosulkumootorille. Olisi mielenkiintoista saada selville, muotoutuuko staattoripaketti rungon sisään puristettaessa aiheuttaen ilmapölymuutoksia roottorille, vai muuttuuko rungon geometria jotenkin. Ehkäpä skannaava mittauspää mittauskoneella antaisi selvyyttä tähänkin ongelmaan. Helpoin tapa välttyä ongelmilta, on tietysti pitää koneet asianmukaisessa kunnossa ja puuttua liukupintojen vikaantumisiin mahdollisimman pian.

10.6 Mittauskertojen tihentäminen

Tällä hetkellä jokaiselta työstökeskukselta otetaan kerran kuukaudessa runko, joka mitataan Kmk:lla. Mikäli työstökeskuksella tapahtuu mittausajankohtien välisenä aikana jotakin, esimerkiksi sen tarkkuutta heikentävä tapahtuma, saattaa kokoonpanoon päästä huonolaatuisia runkoja, pahimmassa tapauksessa viikkojen ajan. Vaikka jokainen koneistettu kappale mitataan valmistuksen jälkeen osana laadun-tarkkailua, ei kaikkia virheitä voi saada selville käsin mittaamalla.

Laatuosastolla on tehty mittauskoe käsivaraisesta mittaamisesta, jonka tulokset olivat melko karua luettavaa. Mittausepävarmuudet olivat huomattavia, riippuen mit-taajasta ja mittavälineen painosta. Saatuja tuloksia vertailtaessa kmk:lla tehtyihin mittauksiin, varmistuu koordinaattimittauskoneen ylivoimaisuus laadun tarkkai-lussa (**Taulukko 10**).

Olisi hyvä selvittää mahdollisuuksia mitata tuotettuja runkoja useammin, varsinkin kun työstökeskukset alkavat olla jo 6-24 vuotta vanhoja. Vanhimmat koneista ovat todella kuluneita. Mittauksien lisääminen on tietysti myös resurssikysymys.

10.7 Yhteistyö koneenvalmistajan kanssa

Burkhardt and Weber-yritys valmisti ensimmäiset koneensa vuonna 1888 ja maailman ensimmäisen numeerisesti ohjatun työstökeskuksen 1959. Heillä on koneenvalmistajana parhaat mahdolliset tiedot ja osaaminen meilläkin käytössä olevista koneista. Tehtaalta saamme aina hyvin apua mahdollisiin ongelmiimme ja varaosien toimitus on erittäin joustavaa. Myös puhelintuki teleservice ongelmatilanteissa toimii mainiosti.

Olen toiminut lähes 20 vuotta yhteistyössä heidän asentajiensa kanssa ja sinä aikana minulla on ollut mahdollisuus kehittää ammattitaitoani ja tietämystä koneistamme. Olen saanut valtavan määrän neuvoja korjaamiseen, säätämiseen, mittaamiseen sekä runsaasti teknistä dokumentaatiota. Pidän tätä luottamuksen osoituksena minua ja yhtiötämme kohtaan.

Täytyy muistaa, että he valmistavat myös koneittensa kriittisimmät komponentit itse, joten niitä ei ole saatavissa muualta. Näin hyvää ja joustavaa toimittaja-asiakas suhdetta kannattaa vaalia. Tämän kaltaisia asioita on vaikea ostaa muilta yrityksiltä.

10.8 Vaihtoehtoisen mittausten menetelmien tutkiminen

Työstökoneen mittaustulokseen, kuten mittapysyvyyteen ja pinnan laatuun vaikuttaa olennaisesti koneen liikkeiden dynaaminen ja staattinen tarkkuus. Burkhardt & Weber työstökeskusten akselien paikoitustarkkuudet mitataan valmistusvaiheessa Laser-interferometrillä parhaan mahdollisen tarkkuuden saavuttamiseksi.

Laser-interferometrillä voidaan myös mitata akselien yhdensuuntaisuudet, suoraikulmaisuudet ja suoruudet. Vaikka laitteistolla päästään hyvään, jopa yhden mikrometrin tarkkuuteen muodostuu välineistön hankinta hinta korkeaksi. Laitteen käyttöön pitää myös kouluttautua hyvin mittausrvirheiden välttämiseksi. Epäiltäessä akselien paikoitustarkkuuden heikentymistä, voidaan kyseinen mittaustulos ostaa palveluna kolmannelta osapuolelta. Koneen valmistaja voi toimia tässäkin asiassa luontevana yhteistyökumppanina.

Toinen vaihtoehto työstökoneen mittauksille on myös kaksoisnivelsauvamittaus. Kyseisillä laitteilla saattaa muodostua myös ongelmaksi, että yritetään saada työstökone saavuttamaan sellaista tarkkuutta, jolla ei saavuteta hyötyjä valmistettavan tuotteen kannalta. Tämä vie aikaa ja aiheuttaa myös kustannuksia ylimääräisten kone seisokkien vuoksi.

Mittalaitteiden valmistajista Heidenhain ja Mitutoyo tarjoavat varteenotettavia ratkaisuja työstökoneiden säätöön. Näitä mittaustekniikoita tulisi tutkia ja pohtia, voisiko joitain näistä tekniikoista soveltaa tulevaisuudessa työstökoneittemme mittauksiin.

11 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän työn aikana olen saanut huomata ehkä konkreettisemmin kuin koskaan aikaisemmin, kuinka lähekkäin kulkevat kunnossapito ja tuotteen laatu. Laatu- ja kunnossapito osastojen ammattitaitoinen henkilöstö voi edesauttaa sitä, että valmistamme tulevaisuudessakin maailman parhaat sähkömoottorit. Osastojen välille kehittyy helposti raja-aita, jonka molemmilla puolilla tehdään samankaltaisia päätelmiä toistensa tietämättä. Voi myös helposti todeta, että kunnossapito on osaltaan laaduntekijä.

Olen useasti säätäessäni tai korjatessani työstökeskusta, työskennellyt yhdessä mittaushuoneen työntekijöiden kanssa riittävän laadun saavuttamiseksi. Vuosien aikana olen useaan otteeseen todennut, kuinka korvaamattomana apuna ovat 3D-koordinaattimittauskone ja sen ammattitaitoinen mittaushenkilö.

Itselleni kesti melko kauan ymmärtää mittaushuoneen raportin perusteella, mitä työstökeskuksella pitäisi säätää. Tämä on yksi syy, mistä sain ajatuksen tämän työn tekemiseen. Ajatuksena oli, että kun moottorin runko on mitattu, saadaan palautteena mittausraportti, mistä selviää paremmin, mikä työstökoneen geometriassa on vialla.

Mittaushuoneesta saatavaa raporttia ja käytettävää mittaustekniikkaa tulisi kehittää voimakkaasti eteenpäin. Käytämme tällä hetkellä mittauskoneen potentiaalista vain murto-osan. Lisäresursseja tarvitaan myös koordinaattimittauskoneen käyttökoulutukseen.

Tässä työssä olen pyrkinyt kertomaan tärkeimmistä työstökoneen rakenteista, valmistettavasta tuotteesta, sekä geometrian mittaustoimenpiteistä mahdollisimman ymmärrettävästi ja antamaan ehdotuksia koordinaattimittauskoneelta saatavan mittausraportin uudistamiseksi. Kuinka hyvin olen onnistunut, sen määrittelee lukija.

On päivän selvää, että hyvänkin raportin lisäksi tarvitaan riittävää ammattitaitoa omaava henkilö suorittamaan työstökoneen säätö. Tämä ammattitaito karttuu vuosien saatossa. Suoritettavia säätötoimenpiteitä ei ole mahdollista dokumentoida yksityiskohtaisesti, koska lähtökohta säätöön on aina erilainen. Tästä asiasta voidaan yksinkertaisesti todeta, että koneen akselit on toisiinsa nähden säädettävä riittävän suoraan säätäjalkojen avulla.

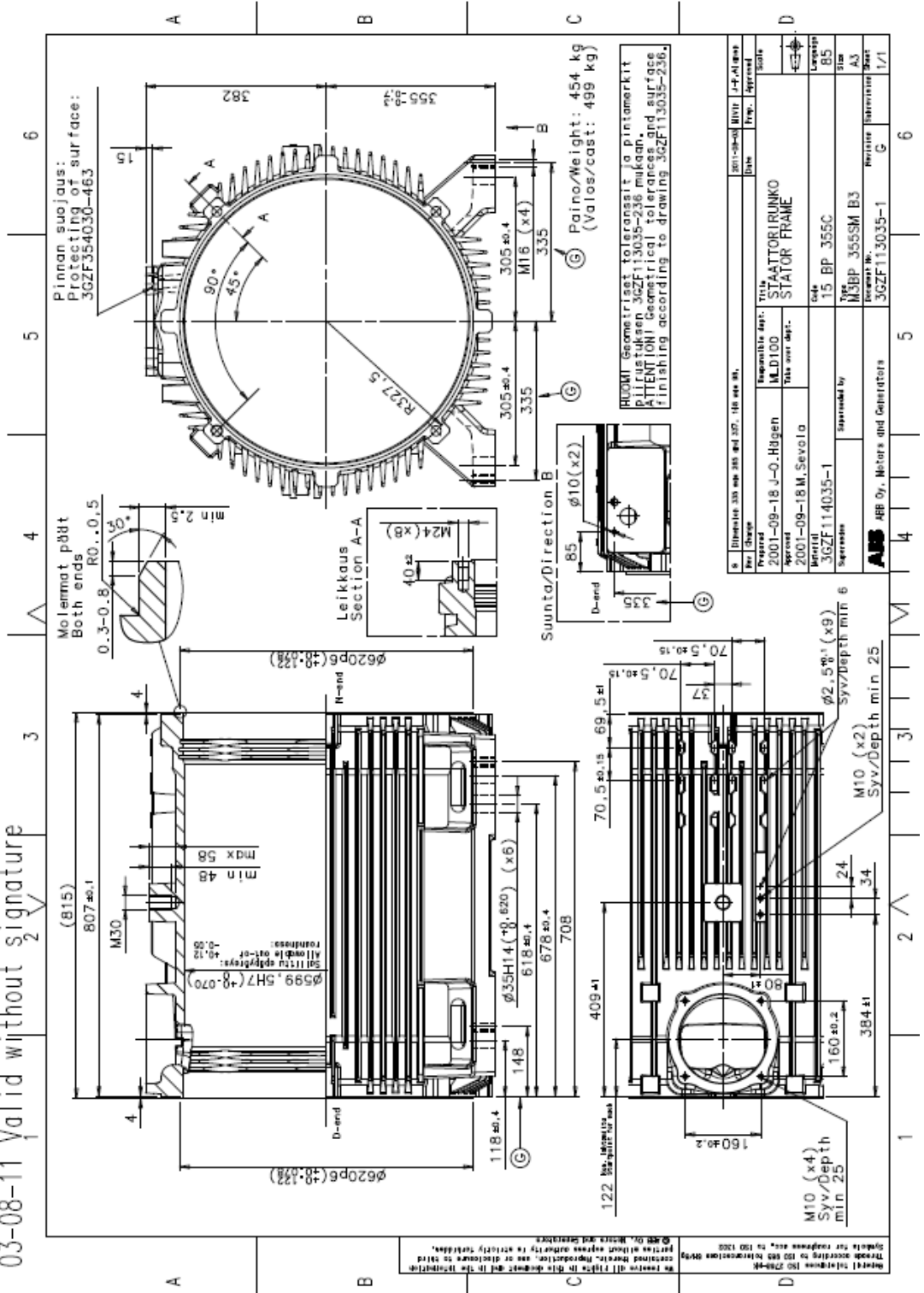
Haastavinta tämän työn suorittamisessa oli koostaa asiat yhteen ymmärrettävässä muodossa. Paljon jäi varmasti asiasta kirjoittamatta, mutta toivottavasti siihen tulee tulevaisuudessa mahdollisuus jossakin muodossa. Toivon myös, että työni auttaa siirtämään hankittua osaamistani eteenpäin muille kunnossapitoasentajille.

LÄHTEET

- /1/ Teema, ABB oy:n henkilöstölehti 3/13, juhluvuoden erikoisnumero. viitattu 4.6.2015.
- /2/ ABB Inside sisäinen julkaisu. viitattu 4.6.2015
- /3/ Motors post. Sisäinen julkaisu no 20/2009/19.11.viitattu 9.6.2015.
- /4/ Meskanen S. & Höök T. 2013. Valuatlas. Suunnittelijan perusopas.
- /5/ Tampereen teknillinen oppilaitos, materiaalin laitos 2005, verkkojulkaisu.
http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_1_5.php
- /6/ Andersson P. H, Tikka H 1997, Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoon kirjapainoyksikkö, WSOY.212-225s.

LITTEET

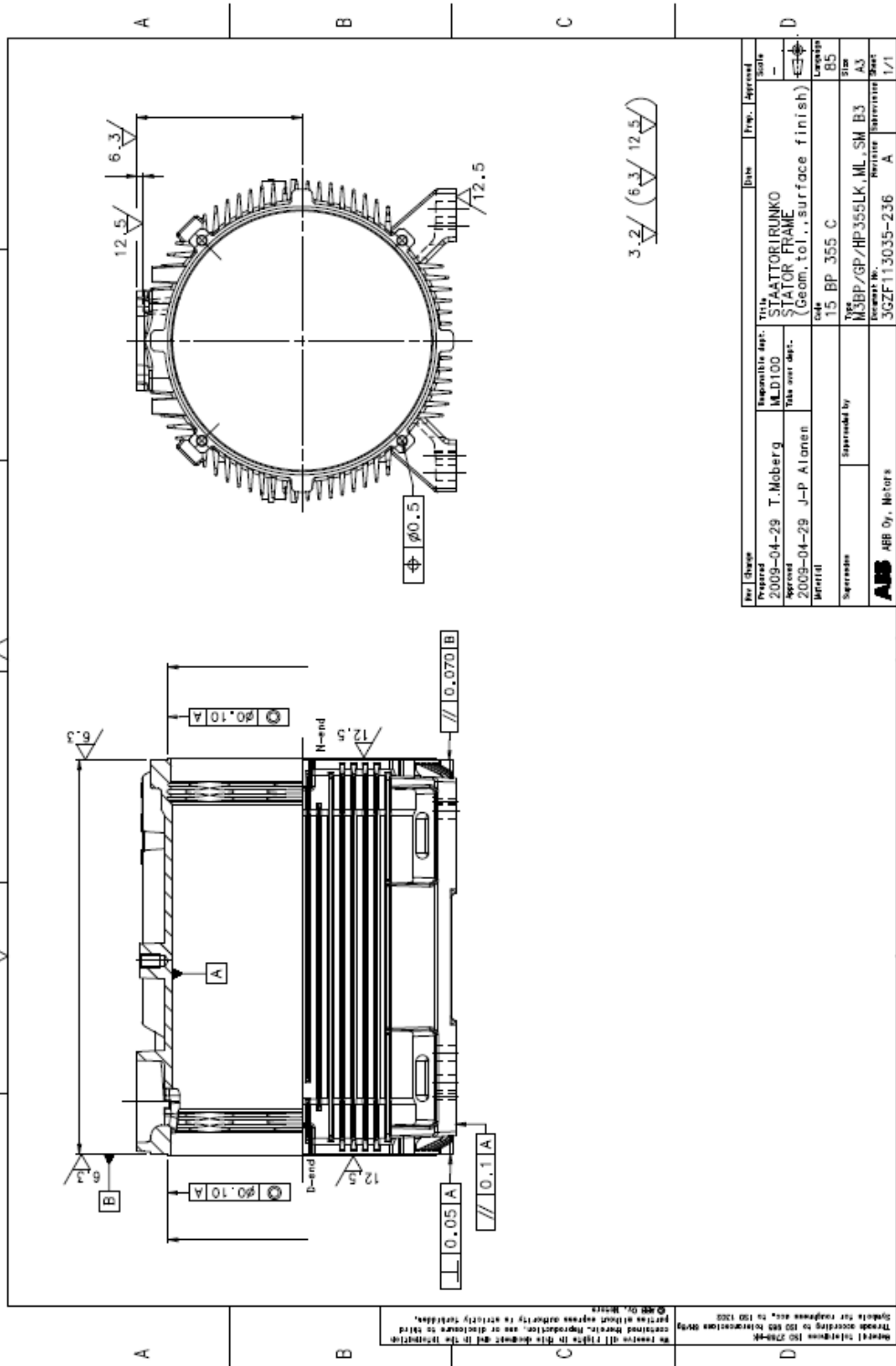
03-08-11 Valid without signature



Prep. Date	2001-09-18	Prep. Date	2001-09-18
Prep. By	J. Hagen	Prep. By	J. Hagen
Approved	M. D100	Approved	M. D100
Material	2001-09-18 M. Sevala	Material	2001-09-18 M. Sevala
Supervisor	36ZF114035-1	Supervisor	36ZF114035-1
Scale	1:1	Scale	1:1
Revision	15 BP 355C	Revision	15 BP 355C
Drawn By	M. Sevala	Drawn By	M. Sevala
Checked By	M. Sevala	Checked By	M. Sevala
Approved By	M. Sevala	Approved By	M. Sevala
Project No.	36ZF113035-1	Project No.	36ZF113035-1
Sheet No.	1/1	Sheet No.	1/1

© 2001 ABB Oy, Motors and Generators. All rights reserved. Reproduction, use or disclosure is prohibited without the prior written approval of ABB Oy. ABB Oy, Motors and Generators.

04-05-09 Valid without signature



Approved signature [Signature] Date 04-05-09
 Title 3D Model of Stator Frame
 Drawn according to ISO 10303
 Symbols for roughness acc. to ISO 1302
 © 2009 ABB Oy. All rights reserved.
 No reuse of parts in other documents without the prior written consent of ABB Oy. Reproduction, use or disclosure is strictly prohibited.

Date	Drawn	Checked	Approved	Scale
2009-04-29	T. Moberg			-
2009-04-29	J-P Alamen			-
Responsible dept.: TIEM STAATTORIRUNKO STATOR FRAME (Geom.tol., surface finish)				
Title sheet dept.: Code: 15_BP_355_C Layer: 85				
Suppressed by: M3BP/GP/HP/355LK.ML.SM.B3 Date: A3				
Document No.: 3GZF113035-236 Revision: A Date: 6 Drawn: 1/1				

