



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Vahidin Bajic

**NIVELVARSIMITTALAITTEEN (FARO)
OMINAISUUKSIEN HYÖDYNTÄMINEN
KONEPAJATEKNISISSÄ MITTAUKSISSA**

Tekniikka ja liikenne
2011

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty opinnäytetyöksi Vaasan ammattikorkeakoulun tekniikka- ja liikenne- yksikön kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman linjalla. Työ tehtiin Wärtsilä Finland Oy Vaasan toimitusyksikön laatuosastolle. Työn sisältönä on selvittää 3D- nivelvarsimitauslaitteen ominaisuuksien hyödyntäminen konepajateknisissä mittauksissa.

Ohjaajana opinnäytetyölleni toimi Vaasan ammattikorkeakoulun lehtori Hannu Hyvärinen, jota kiitän työnohjauksesta. Työn valvojana Wärtsilän laatuosaston puolesta toimi 3D mittauksen, kalibroinnin ja vastaanottotarkastajien esimies Jyrki Vainionpää, jota myös kiitän opinnäytetyöni ohjauksesta.

Vaasassa 21.4.2011

Vahidin Bajic

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Vahidin Bajic
Opinnäytetyön nimi	Nivelvarsimittalaitteen (Faro) ominaisuuksien hyödyntäminen konepajateknisissä mittauksissa
Vuosi	2011
Kieli	suomi
Sivumäärä	62+ 3 liitettä
Ohjaaja	Hannu Hyvärinen

Tämä opinnäytetyö tehtiin Wärtsilä Finland Oy:n mittauskoneiden ja mittausasioista vastaavalle laatuosastolle. Työn tarkoituksena oli selvittää 3D- nivelvarsimittalaitteen ominaisuuksien hyödyntäminen konepajateknisissä mittauksissa. Tävoitteena oli tutustua koneen ja ohjelmiston käyttöön sekä mittausominaisuuksiin.

Opinnäytetyö aloitettiin selvittämällä nivelvarsimittauskoneeseen liittyvää materiaalia sekä ohjelmiston CAM2 MEASURE X mukana tulleita ohjeita. Tätä työtä varten ei ole erikseen järjestetty ulkopuolista koulutusta eikä ole hankittu koulutusmateriaalia.

Työssä selvitettiin ja todettiin erilaiset mittausominaisuudet sekä mittaustavat nivelvarsimittakoneella. Koneelle suoritettiin myös mittauskykytesti, jonka mukaan selvitettiin, minkälaisiin tarkastustoimenpiteisiin konetta voidaan hyödyntää.

Nivelvarsimittauskoneella voidaan suorittaa nopeasti ja helposti erilaisia mittauksia, mutta ei kuitenkaan millimetrin tuhannesosien tarkkoja mittoja. Tärkeimmät mittaussovelluskohdat johon konetta voidaan käyttää ovat: kappaleet, joiden toleranssi on yli 0,030 mm, taivutetut putket, valukappaleet sekä suuret ja painavat kappaleet, jotka eivät sovellu perinteisille koordinaattimittauskoneille.

Avainsanat

Koordinaattimittaus, nivelvarsimittauskone

VAASA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Vahidin Bajic
Title	Utilisation of Characteristics of the 3D- Articulated Arm Measuring Machine (Faro) in the Engineering Technical Measurements
Year	2011
Language	Finnish
Pages	62+ 3 Appendices
Name of Supervisor	Hannu Hyvärinen

This thesis was made for Wärtsilä Finland Oy Quality Department responsible for measuring issues. The purpose of the thesis was to solve the utilisation of the characteristics of the 3D- articulated arm measuring machine in the engineering technical measurements. The goal was to explore measurement properties and explore how to use the machine and the software.

This thesis began by exploring the material of the articulated arm measuring machine and the instructions that came by CAM2 MESURE X software. For this thesis no outside training was organised, and no training material acquired.

Different measurement characteristics and the measurement options of the articulated arm measuring machine were researched in the thesis. A measuring ability test was performed on the measuring machine to find out for which type of inspection measurement operations where this machine can be utilized.

The articulated arm measuring machine can perform quickly and easily a variety of measurements, but not at the accuracy of thousandth of a millimetre. The main areas of measurement applications in which the machine can be used are: parts the tolerance of which tolerance is more than 0,030 mm, bent pipes, castings, large and heavy pieces which are incompatible with a fixed co- ordinate measuring machine.

Keywords	Coordinate Measuring, Articulated Arm Measuring Machine
----------	---

KÄYTETYT LYHENTEET JA KÄSITTEET

3D	3-Dimensional, kolmiulotteinen
KMK	Koordinaattimittauskone
NVKMK	Nivelvarsikoordinaattimittauskone
SPC	Statistical process control, tilastollinen prosessinohjaus
NC	Numerical Control, numeerinen ohjaus
MPEE	Maximum Permissible Error for length measurement , pituuden mittauksessa suurin sallittu virhe
Off-line- ohjelmointi	Ohjelmointitapa, joka ei sido konetta käyttöön
On-line ohjelmointi	Ohjelmointitapa, jossa ohjelmointi tapahtuu koneelta käsin
IGES	Initial Graphics Exchange specification, tiedonsiirron standardi

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
KÄYTETYT LYHENTEET JA KÄSITTEET	5
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn taustaa	8
1.2 Opinnäytetyön rajaukset	9
1.3 Työn tavoitteet	9
2 YRITYSESITTELY	10
2.1 Wärtsilä Oyj Abp	10
2.1.1 Avainluvut 2009	11
2.1.2 Missio	11
2.2 Wärtsilä Finland Oy	12
2.2.1 Suomen yhtiö	12
2.2.2 Toimipaikat Suomessa	12
2.2.3 Wärtsilän historia Vaasassa	13
2.2.4 Vaasan toimitusyksikkö	13
3 KOORDINAATTIMITTAUS	14
4 KMK- KOORDINAATTIMITTAUSKONE	16
4.1 KMK: n virhelähteitä	17
4.2 Wärtsilän KMK: t	19
5 NIVELVARSIMITTAUSKONE FARO	23
5.1 Nivelvartiset koordinaattimittauskoneet	23
5.2 Kalibrointi	26
5.3 Mittaaminen	27
5.4 Tarkkuus	28
5.5 FARO Gage -mittausvarret	29
5.6 FARO nauhalaserskannerit	29
6 MITTAUSOHJELMISTOT	30

6.1	CAM2 Measure X.....	30
6.2	CAM2 Q.....	32
7	VERTAILUMITTAUS	33
7.1	Vertailun tarkoitus	33
7.2	Mittausvaiheiden suoritus KMK: lla LEITZ.....	33
7.3	Mittausvaiheiden suoritus NVMK: lla FARO	36
7.4	Mittaustuloksien analysointi FARO	38
7.5	Mittauskoneiden erotusmittojen analysointi	39
7.6	Mittaustapojen vertailu	40
8	PUTKIEN MITTAUS NVKMK	41
8.1	Yleistä putken mittauksesta	41
8.2	Putkien mittaus taivutuskoodien avulla	41
9	3D- MALLIEN HYÖDYNTÄMINEN NVKMK.....	45
9.1	Mittausmenetelmät 3D- mallien avulla.....	45
9.2	Mittauksien suoritukset 3D- mallien avulla.....	45
10	NVKMK OHJELMOINTI	49
10.1	Ohjelman luonti	49
10.2	Mittaukset mittausohjelman avulla	51
10.3	Kappaleen kiinnittäminen mittauksen aikana	54
10.4	Muutamia huomioita kiinnittämisestä.....	55
11	MITTAUSKONEEN SIIRTO MITTAUKSEN AIKANA	56
12	YHTEENVETO	57
12.1	Mittakärkien kalibroitimahdollisuudet.....	57
12.2	Nivelvarsimittauskoneen tarkkuudesta	58
12.3	Putkien mittauksista	58
12.4	Mittaamisesta ohjelmien ja 3D- mallien avulla	58
12.5	Koneen siirto mittauksen aikana	59
12.6	Johtopäätökset ja kehitysehdotukset	60
	LÄHTEET.....	61
	LIITELUETTELO	62

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustaa

Mittaaminen ja laadun varmistaminen on tämän päivän tuotannossa tärkeimpiä asioita pysyä markkinoilla ja varmistaa yrityksen maineen säilyminen. Geometristen elementtien ja muotojen mittaaminen ja vertaaminen annettuihin toleransseihin eivät aina onnistu 1-dimensioisella mittausvälineellä.

Wärtsilän moottorit kokonanaan mittatarkoista komponenteista, joiden mittatarkkuus todetaan laatuosastolla olevilla mittausvälineillä, joista yksi esimerkki on 3D- nivelvarsikoordinaattimittauskone (NVKMK). Wärtsilä Oy:n laatuosastolla on myös perinteisiä portaalityyppisiä 3D- koordinaattimittauskoneita (KMK).

Wärtsilä Finland Oy:ssä on täällä hetkellä käytössä neljä perinteistä 3D- koordinaattimittauskonetta, ja yksi 3D- nivelvarsimittauskone. Yksi 3D- mittauskoneista on käytössä Runsorissa huollon tavaran vastaanoton laaduntarkastamossa. Kaksi 3D- mittauskonetta sijaitsee kaupungin toimitusyksikön logistiikkakeskuksessa, jossa sijaitsee myös nivelvarsimittauskone ja yksi kaupungin toimitusyksikön laatuosaston mittaahuoneessa.

Nivelvarsimittauskoneella on tarkoitus mitata niitä moottorin osia, jotka eivät sovellu perinteisille 3D- koordinaattimittauskoneille sekä osille, joita käsimitausvälineillä ei pystytä mittaamaan.

Opinnäytetyön aihe nousi esille kun huomattiin, että nivelvarsimittauskoneen käyttöaste oli liian pieni. Syy siihen oli koneen ja ohjelmiston käyttöosaamisen puute sekä koneen epäselvät sovelluskohdat.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena onkin selvittää miten voidaan nostaa koneen käyttöastetta eli kartoittaa ne osat, jotka soveltuvat nivelvarsimittauskoneelle ja selvittää mitä mittausmahdollisuuksia voidaan suorittaa NVKMK: lla joka on varustettu CAM2 MEASURE X -ohjelmistolla.

1.2 Opinnäytetyön rajaukset

Opinnäytetyö rajautuu voimassa olevaan ohjelmistoon, johon hankitaan viimeiset päivitysversiot, uutta CAM2 Q ohjelmistoa, josta on täällä hetkellä markkinoilla uusin ohjelmisto, ei hankita.

Koneeseen ei hankita lisävarusteita, paitsi mittakärkien adapteria, johon voidaan lisätä erikokoisia mittauskärkiä. Jatkovarsia, jotka lisäävät koneen mittausalue, ei hankita.

Koneen varsinaista kalibrointia ja parametripohjaista virheen korjausta ei tehdä. Jos, ja kun siihen on tarvetta, tilataan koneen valtuutettu huolto ja kalibrointi suoritetaan vaadituin toimenpitein.

1.3 Työn tavoitteet

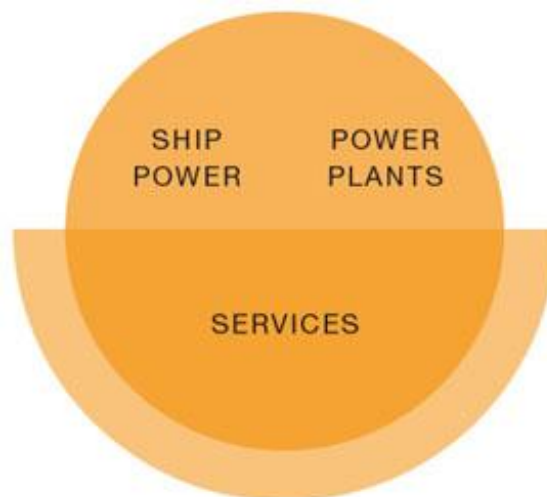
Työn tavoitteena oli selvittää 3D- nivelvarsimittauslaitteen ominaisuuksien hyödyntäminen konepajateknisissä mittauksissa.

Työ suoritetaan olemassa olevien mittauskoneen FARO ohjeiden mukaan sekä ohjelmiston CAM2 MEASURE X mukana tulleiden ohjeiden perusteella. Tarkoituksena oli tutustua ohjelmiston ominaisuuksiin, esim. putkien mittausoptioon, erilaisiin mittauksiin CAD- mallien avulla sekä ohjelmien luontiin ja muihin konepajateknisessä hyödyllisiin mittauksiin.

2 YRITYSESITTELY

2.1 Wärtsilä Oyj Abp

Wärtsilä on kansainvälisesti johtava merenkulun ja energiamarkkinoiden voimaratkaisujen toimittaja, joka tukee asiakasyrityksiä tuotteiden koko elinkaaren ajan. Wärtsilän liiketoiminta muodostuu kolmesta pääalueesta; Ship Power, Power Plants ja Services. Wärtsilän jakaantuminen eri liiketoimintoihin on esitetty kuvassa 1. /1/



Kuva 1. Wärtsilä Oyj Ab liiketoiminnot. /1/

Ship Power Wärtsilä on johtava laivojen koneisto- sekä propulsio- ja ohjausjärjestelmien toimittaja, joka palvelee kaikentyyppisten alusten ja offshore- sovellusten rakentajia, omistajia ja käyttäjiä.

Power Plants Wärtsilä on merkittävä toimittaja hajautetun energiantuotannon voimalamarkkinoilla.

Services Wärtsilä tukee asiakasta toimitetun järjestelmän koko elinkaaren ajan tarjoamalla huolto-, ylläpito- ja kunnostuspalveluja, jotka kattavat moottoreiden huollon ja kunnossapidon lisäksi alusten ja voimalaitoksen sähkö- ja automaatiojärjestelmät, voimansiirron, kattilatekniikan, käyttöpalvelut ja koulutuksen. /1/

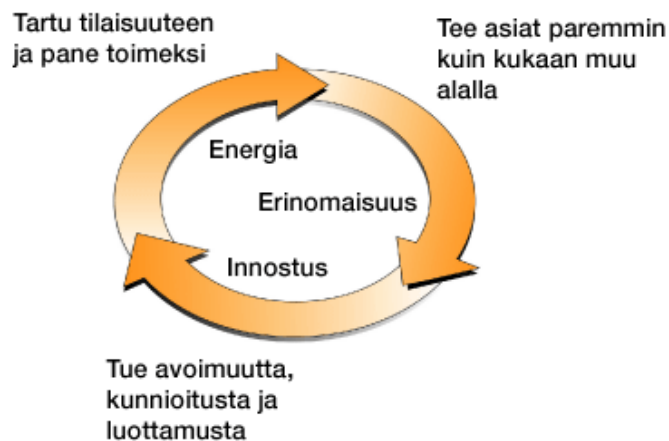
2.1.1 Avainluvut 2009

- liikevaihto 5.260 milj. euroa (4.612)
- vertailukelpoinen liiketulos 638 milj. euroa (525)
- tilauskertymä 3.291 milj. euroa (5.573)
- tilauskanta vuoden lopussa 4.491 milj. euroa (6.883)
- henkilöstö vuoden lopussa 18.541 (18.812). /1/

2.1.2 Missio

Wärtsilän missiona on toimittaa ratkaisuja, jotka tukevat asiakkaiden liiketoimintaa tuotteen koko elinkaaren ajan. Samalla Wärtsilä kehittää yhä parempia teknologioita, joista hyötyvät sekä asiakkaat että ympäristö. Mission tukena ovat visio ja arvot (**Kuva 2.**)

Wärtsilän visiona on olla kaikkien asiakkaidensa arvostetuin kumppani. /2/



Kuva 2. Wärtsilän arvot /2/

2.2 Wärtsilä Finland Oy

2.2.1 Suomen yhtiö

Wärtsilän Suomen yhtiö toimittaa tuotteita kaiken tyyppisiin aluksiin ja offshore-sovelluksiin ja tarjoaa voimalaitoksia hajautetun energiatuotannon markkinoille. Maailmanlaajuinen huoltoverkosto huoltaa ja kunnostaa sekä laivojen koneistoja että voimaloita näiden koko elinkaaren ajan.

Päämarkkina-alueet ovat Eurooppa, Aasia ja Amerikka.

Wärtsilässä Suomessa työskentelee yli 3000 ammattilaista, Vaasassa, Turussa, Helsingissä ja Espoossa. /3/

2.2.2 Toimipaikat Suomessa

Vaasan toimitusyksikkö sekä Tutkimus & Kehitysyksikkö sijaitsevat Vaasan keskustassa.

Ship Power, Power Plants ja Services-yksiköt sekä näiden myynti ja projektihallinta sijaitsevat Runsorissa, lähellä Vaasan lentokenttää.

Turussa toimivat Services-yksikön myynti, tuotetuki sekä Wärtsilä Land & Sea Academy (WLSA). WLSA tarjoaa käyttö-, kunnossapito- ja hallintakoulutusta laivojen ja voimalaitosten operaattoreille sekä Wärtsilän omalle henkilökunnalle.

Turussa toimii myös laivojen kokonaisratkaisujen liiketoimintayksikkö, Ship Power Solutions, joka suunnittelee, myy, toimittaa ja asentaa räätälöityjä koneistoratkaisuja ja sovelluksia, esimerkiksi offshore- käyttöön, kelluviin tuotantolauttoihin ja kaasua kuljettaviin aluksiin.

Turussa toimii myös Wärtsilä 46- moottorin tuote- ja sovellussuunnittelu. Tuki-toiminnot sijaitsevat Vaasassa ja Turussa. Wärtsilän pääkonttori sijaitsee Helsingissä. /3/

2.2.3 Wärtsilän historia Vaasassa

- 1936 Wärtsilä ostaa Onkilahden konepajan Vaasassa.
- 1954 dieselmootoreiden valmistus käynnistyy.
- 1988 huipputason moottorilaboratorio valmistuu.
- 2004 dieselmootoreita on valmistettu Vaasassa 50 vuotta.
- 2007 uusi kokoonpanohalli, logistiikkakeskus, koeajo- ja viimeistelytilat rakennetaan. /3/

2.2.4 Vaasan toimitusyksikkö

Vaasan toimitusyksikkö (**Kuva 3.**) on merkittävä osa Wärtsilän Industrial Operationia (WIO). Vaasassa valmistetaan seuraavat moottorit; Wärtsilä 20, Wärtsilä 32, Wärtsilä 34DF ja Wärtsilä 34SG sekä Wärtsilä Auxpac moottoreita. Vaasan toimitusyksikkö on vastuussa Ship Powerin ja Power Plantsin myymien moottorien toimituksista. Tähän sisältyvät avainkomponenttien koneistus ja moottorien ja generaattorilaitteistojen asennus. Vaasassa sijaitsee myös 4- tahtimoottorien tutkimuksen ja tuotekehityksen pääkeskus, moottorilaboratorio tuotekehitystä varten sekä Waskiluoto Validation Centre, jossa testataan uusia teknologioita. Vaasan Runsorissa on Ship Power, Power Plants ja Services sekä niihin liittyvät myynti- ja projektinhallintatoiminnot. Henkilöstömäärä Vaasassa on noin 3000. /1/



Kuva 3. Vaasan toimitusyksikkö /1/

3 KOORDINAATTIMITTAUS

Koordinaattimittaus on digitointia, jossa (lähes) mielivaltaisen pisteen paikka voidaan määrittää koneen mekaanissähköisen rakenteen rajoittamassa avaruudessa. Koordinaattimittauskoneen keskeisen osan muodostaa geometrisesti tarkka mekaaninen koordinaatisto (johteet), jonka avulla koneen luistit voivat liikkua mahdollisimman suoraviivaisesti ja kohtisuorasti toisiinsa nähden. Lisäksi on tärkeä, että tiedetään tarkasti näiden luistien asemat koordinaattiakselilla. Asemien mittaus tapahtuu tarkan sähköisen koordinaatiston (mittasauvat) avulla. Välttämätön komponentti on myös mittauspää, jonka avulla saadaan informaatiota mittauskohteesta. /6/

Yksi koordinaattimittauksen tärkeimmistä sovellusalueista on geometrinen toleranssien tarkastus. Erityisesti näissä mittauksissa nousee koordinaattimittauksen nopeus keskeiseksi ominaisuudeksi. Koordinaattimittauksella voidaan saada selkeää ajansäästöä, verrattuna konventionaaliseen tasomittaukseen tehtäviin tarkastuksiin. Lisäksi on runsaasti mittauksia, joita ei voida muulla keinoin tehdä. Yksi koordinaattimittauksen olennaisia ominaisuuksia on joustavuus ja universaalisuus. Koordinaattimittauskoneella voidaan ratkaista hyvin erilaisia mittausteknisiä ongelmia, koska se on laajalle kappale- ja geometriaryhmälle soveltuva yleismittauskone. /6/

Koordinaattimittauskone tuottaa ainoastaan koordinaatti-informaatiota, jolla sinällään ei tavallisesti ole käyttöä. Tietokone ja siinä toimiva ohjelmisto, jonka avulla mitatut pisteet yhdistetään elementeiksi ja lasketaan poikkeamia tavoitemitoista tai muodoista, on keskeinen osuus koordinaattimittausta.

Koska mittaus tapahtuu sähköisten anturien avulla, ovat mittaustulokset automaattisesti sähköisessä muodossa. Tästä seuraa se, että koordinaattimittauskoneesta saadaan helposti tietojärjestelmän osa. Modernin mittaustulosten dokumentoinnin ja edelleen käsittelyn (SPC) kannalta on tämä perusedellytys. /6/

Koordinaattimittauskoneen pääkomponentit ovat:

- kone ja liikkeet
- asteikot ja NC- ohjain
- referenssi ja työkappalekoordinaatisto
- mittauspää, anturit ja mittauskärjet
- pisteiden rekisteröinti ja kohde
- mitoitus ja kiinnitys
- mittausvaatimukset ja mittausstrategia
- mittausohjelmisto ja kappaleohjelma
- tulosteet, tietokone ja verkko
- mittaaja ja ympäristö. /6/

4 KMK- KOORDINAATTIMITTAUSKONE

Koordinaattimittauskoneella (KMK) määritetään anturia, mekaanista tai optista, liikuttamalla kohteesta pisteiden koordinaatit tasossa tai avaruudessa. Anturin koskettaessa mitattavan kappaleen pintaan syntyy ns. mittauspiste, joka rekisteröidään asteikon ja mittausohjelmiston avulla.

KMK:t voivat olla käsikäyttöisiä, motorisoituja ja numeerisesti ohjattuja.

Numeerisesti ohjatun (NC- Numerical Control) mittauskoneen tarkoitus on automaattisesti mitata työkappale, tai useita ilman koneen käyttäjää. Tämä on mahdollista työkappalekohtaisten mittausohjelmien, automaattisen pisteiden rekisteröinnin ja servo-ohjattujen koneen liikkeiden avulla. NC- koneilla voidaan kesken ohjelman siirtyä käsimittauksesta automaattiseen mittaukseen ja päinvastoin. /7/

Moottorikäyttöisiä mittauskoneissa liikutetaan luisteja sähkömoottorien avulla. Ne vastaavat muutoin manuaalikoneita periaatteiltaan, mutta ovat motorisoinnin ansiosta keskimäärin niitä suurempia. Lisäksi mittausvoima saattaa olla säädettävissä.

Käsikäyttöisiä mittauskoneita ohjataan tavallisimmin liikuttamalla niiden luisteja tai pyörittämällä käyttöpyöriä käsin. Mittausinformaatio saadaan koskettamalla mittauspäässä olevalla anturilla mittauskohdetta. /7/

Käsikäyttöisiin mittauskoneisiin kuuluvat myös nivelvartiset mittauskoneet. Nivelvarsikoordinaattimittauskone (NVKMK) on kuin robotti, jossa on 6-7 vapausastetta kiertyvää niveltä. Niveliä ei kuitenkaan pyöritetä NC- ohjatusti, vaan ne kiertyvät vapaasti kun mittauskärkiä kuljetetaan käsin. Kunkin nivelen kulma-asento välitetään automaattisesti yhdessä anturin antaman signaalin kanssa ohjelmistolle, joka laskee mittauskärjen paikan XYZ- koordinaateiksi. Nivelten väliset putkimaiset varret voivat olla eripituisia, joihin vaikuttaa laitteen tarkkuus ja laitteen hintakin on eri. Peruseriaate on, että mitä pidemmät varret sitä huonompi on tarkkuus. /7/

4.1 KMK: n virhelähteitä

Koordinaattimittauskoneilla on niiden moninaisuudesta johtuen suuri määrä erilaisia virhetekijöitä. Virhelähteet ja niiden suuruudet vaihtelevat konetyypeittäin ja merkeittäin. Seuraavassa on lyhyesti esitelty yleisimpiä koneiden virhelähteitä.

- Liikeakseleihin liittyvät geometriavirheet
 - akseleiden suoruusvirheet
 - kulmavirheet, nousema, kääntymä, kiertymä
 - akseleiden kohtisuoruus
 - mitta-asteikkovirheet, kuten lämpötilariippuvuus ja pituusvirhe
 - paikoituksen toistuvuus.
- Koskettavan mittausanturin virheet
 - mittausvoiman stabiilius ja yhdenmukaisuus eri suuntiin
 - liikkeen aiheuttamat virheet
 - mittauskärkien virheet
 - geometria-, paikka-, halkaisijan virhe, lämpölaajeneminen
 - mittausvoiman, kimmoisuuden, magneettisuuden ja kitkan aiheuttamat virheet. /7/

- Oheislaitteet
 - pyöröpöydän ja kärjen vaihtajan virheet
- ohjelmisto ja työkappaleohjelma
- työkappaleen kiinnitys
- ympäristön vaikutukset koneeseen, kiinnittimiin ja kohteeseen
- mitattavan kappaleen vaikutus ja ominaisuudet
- mittaaja, hänen tekemät päätökset, ammattitaito.

Koordinaattimittauskoneen käyttäjällä on suuri vaikutus mittaustuloksen oikeellisuuteen. Hänen on hallittava oikeat mittausten menetelmät ja ymmärrettävä laitteen toimintaperiaate mahdollisimman pienen mittauserävarmuuden saavuttamiseksi.

Koordinaattimittaus on mittausten menetelmä, jonka mittauserävarmuus koostuu neljästä päätekijästä.

Koordinaattimittauksen epävarmuustekijät ja niiden prosentuaaliset osuudet ovat:

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

Yleisesti pidetään suurempana epävarmuustekijänä koneen käyttäjää. Kalibroidun mittauskoneen vaikutus on tekijöistä pienin. /7/

4.2 Wärtsilän KMK: t

Wärtsilä Finland Oy:ssä on täällä hetkellä käytössä neljä NC- 3D- koordinaattimittauskonetta ja yksi 3D- nivelvarsimittauskone.

Käytössä olevat KMK:t ovat seuraavan merkisiä ja mallisia: Leitz PMM-C 18.10.6 (**Kuva 4.**), Leitz PMM-C 24.16.10 (**Kuva 5.**), DEA global status 07.05.05 (**Kuva 6.**), Zeiss MC 850, ja NVKMK Faro Platinum 6 (**Kuva 7.**).



Kuva 4. Leitz PMM-C 18.10.6 3D- KMK

- hankintavuosi: 1995
- liikealueet: X 1800, Y 1000, Z 600
- tarkkuus MPEE: $1,5+L/250$
- maksimi kappalepaino 1000 kg.

Molemmissa Leitzin - sekä Dean – koneissa, jotka sijaitsevat Wärtsilän kaupungin tehtaalla on käytössä mittausohjelmisto Quindos 7, Zeississä on Calypso 4.0 ja NVKMK: lla Faro on käytössä CAM2 MeasureX mittausohjelmisto.



Kuva 5. LeitzPMM-C 24.16.10

- hankintavuosi: 2007
- liikealueet: X 2400, Y 1600, Z 1000
- tarkkuus MPEE: $1,9\mu\text{m}+L/300$
- maksimi kappalepaino 2000 kg.

NC- mittauskoneet on varustettu koskettavalla mekaanisella mittauspäällä, joista Leitzin koneet ja NVKMK Faro pystyvät suorittamaan pisteiden rekisteröinnin pyyhkäisymittauksella (scanning). Kaikissa koneissa, paitsi Farossa, on numeerinen ohjaus ja ne ovat rakenteeltaan portaali- tyyppisiä.



- hankintavuosi: 2005
- liikealueet: X 700, Y 500, Z500
- tarkkuus MPEE:2,5+L/300
- max. kappalepaino 600 kg.

Kuva 6. Dea global status 3D- KMK

NC- koneilla mitataan pääasiassa sellaisia kappaleita, joille mittauskoneen käyttäjät ovat tehneet valmiit kappalekohtaiset mittausohjelmat. Koneilla voidaan mitata myös käsikäyttöisesti liikuttamalla mittauspää ohjainsauvoilla (**Kuva 7.**).



Kuva 7. Leitz 3D- koordinaattimittauskoneen ohjauspaneeli



Kuva 8. Platinum 6 NVKMK FARO

NVKMK: n ominaisuudet:

- automaattinen lämpötilan kompensointi
- nopea pikakiinnitys
- joustava ja nopea mittaus-digitointi tai vertailu CAD-malliin.
- mittauskoneen siirtämismahdollisuus mittauksen aikana
- akkukäyttö 8 h.

NVKMK:n tiedot (**Kuva 8.**):

- hankintavuosi: 2005
- mittausalue: 1.8 m
- volumetrinen maksimivirhe 0,029 mm
- yhden pisteen toistotarkkuus 0,020 mm
- Paino: 9,3 kg.

NVKMK: n sovellukset:

- koneistetut kappaleet
- hitsatut rakenteet
- taivutetut putket
- valetut kappaleet
- työkalukiinnittimet
- työkalu ja muotit
- kokoonpanot.

5 NIVELVARSIMITTAUSKONE FARO

5.1 Nivelvartiset koordinaattimittauskoneet

Nivelvartisten koordinaattimittauskoneiden tai mittausvarsien rakenne eroaa huomattavasti perinteisistä koordinaattimittauskoneista. Laitteessa ei ole ollenkaan johteita vaan laitteen liikuttelun mahdollistavat kolmessa eri kohdassa olevat nivelet, joiden avulla laite liikkuu hyvin samaan tapaan kuin ihmisen käsivarsi. Laitteessa on joko kuusi tai seitsemän akselia riippuen siitä, halutaanko viimeiseen ”ranneniveleen” sijoittaa yksi vapausaste lisää viivanauhaskannetta (LLP, laser line probe) varten. Jo kuudella akselilla mittausvarsi taipuu lähes kaikkialle mahdollistaen monimutkaistenkin kappaleiden mittaamisen. /4/

Kiinteillä koordinaattimittauskoneilla on lähes mahdotonta mitata järkevästi kotelomaisten rakenteiden sisämittoja, sillä lyhyt mittapää voi liikkua vain X,Y,Z-suunnissa, jolloin mittauskoneen rakenne rajoittaa mittauspään pääsyn kappaleen sisälle. Mittausvarrella mittaaminen tapahtuu käsin ja mittauspään voi helposti viedä ahtaisiinkin paikkoihin. Kuvassa 9 on Platinum- malli, jossa on seitsemän vapausastetta. Kaikki nykyiset FARO -mallit ovat perusrakenteeltaan samanlaisia ja eroja on ainoastaan varsien pituuksissa, tarkkuudessa sekä laitteen värityksessä. /4/



Kuva 9. FARO Platinum 7- akselinen nivelvarsimittauskone /4/

Faro NVMK: lla on automaattinen lämpötilan kompensointi, jonka ansiosta laite ei tarvitse erillistä ilmastoitua mittaushuonetta. Laite tarvitsee kuitenkin jonkin verran aikaa sopeutuakseen uuteen lämpötilaan, mikäli lämpötilan vaihtelut ovat suuria. Sopeutumisaika on viisi minuuttia jokaista 5 °C muutosta kohti. Näin kappaleet voidaan mitata aidossa konepajaympäristössä ilman turhia kappaleiden siirtoja. Laitteen rakenteesta on tehty hiilikuituteknologian avulla mahdollisimman kevyt, jotta laitteen siirtely olisi helppoa. Painavinkin mittausvarsi painaa vain hieman yli kymmenen kilogrammaa ilman kiinnityselimiä. /4/

Laitteen rakenteesta on tehty vapaasti kelluva patentoidun sisäisen vastapainoteknologian avulla. Tämä mahdollistaa ulkoisten tukirakenteiden, kuten jousien puuttumisen, mikä taas mahdollistaa helpon ja rajoittamattoman mittauksen. Käytännössä laitetta pystyy käyttämään yhdellä kädellä ilman, että varren keskimmäistä niveltä täytyy kannatella koko ajan toisella kädellä. Mittauspääät ovat laitteessa kiinni vakiokierteellä, jolloin ne ovat nopeasti vaihdettavissa. Mittakärkipallojen halkaisijat voivat olla erikokoisia, yleensä 3 - 6 mm. Laitteeseen saa monia erilai-

sia mittauspäävariaatioita, kuten pidennyksiä, kaarimaisia jatkeita, kärkiantureita, kärkien adaptoreita ja kosketusherkkiä mittapäitä. /4/

Laitteeseen kuuluu erillinen virtalähde sekä akkukäyttö, jolla saavutetaan kahdeksan tunnin mittausaika. Yöksi laite voidaan kytkeä virtalähteeseen, jolloin aamulla akku on taas latautunut. Universal 3,5’’ -kiinnitysrenas mahdollistaa laitteen nopean irrottamisen ja uudelleenasettamisen. Laite voidaan asentaa joko pöytäkiinnityslevyyn tai magneettijalustaan, joissa molemmissa on vastaava 3,5’’ kierre. Kolmas vaihtoehto on hankia kolmijalka, jossa on liikuttelua helpottavat pyörät. Näin laite on liikuteltavissa ympäri tuotantotiloja ja kiinnitys saadaan kääntämällä jalat lepoasentoon, jolloin kolmijalka on tukevasti lattialla. /4/

Farolla on tällä hetkellä kolme erilaista varsimallia markkinoilla. Kaikilla kolmella on erilaiset tarkkuudet, ja uusimmassa Quantum -mallissa on uutta aikaisemmista malleista puuttuvaa teknologiaa, kuten langaton tiedonsiirto Bluetooth -teknologian avulla edellisen USB- kaapelin avulla tapahtuvaan tiedonsiirtoon verrattuna. Toinen uudistus on mahdollisuus käyttää Renishawn koskettavia mittapäitä. /4/

Platinum malli on tarkempi kuin Fusion ja se on tällä hetkellä käytetyin malli Suomessa. Taulukossa 1 on lueteltu kaikki tämän hetkiset Platinum -mallit sekä niiden tarkkuudet ja mittausalueiden pituudet. /5/

Taulukko 1: FARO Platinum -mallit /5/

Malli	Volumetrinen maksimivirhe [mm]		Yhden pisteen toistotarkkuus [mm]		Paino [kg]	
	6-akselinen	7-akselinen	6-akselinen	7-akselinen	6-akselinen	7-akselinen
Platinum 1,8 m	± 0,029	± 0,037	± 0,020	± 0,026	9,3	9,5
Platinum 2,4 m	± 0,036	± 0,043	± 0,025	± 0,030	9,5	9,75
Platinum 3,0 m	± 0,061	± 0,073	± 0,043	± 0,052	9,75	9,98
Platinum 3,7 m	± 0,086	± 0,103	± 0,061	± 0,073	9,98	10,21

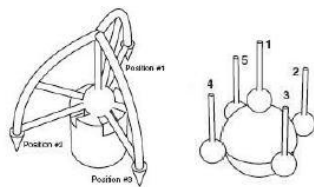
5.2 Kalibrointi

Kuten muutkin mittauskoneet, myös FARO -mittausvarret on kalibroitava. Kalibrointi tapahtuu laitteen mukana tulevien kalibrointikartion tai kalibrointikuulan avulla. Pyöreä mittauspää asetetaan kuvan 10 mukaisesti kartioon, jonka jälkeen laitteen viimeinen nivel käännetään vaakasuunnasta pystysuuntaan kolmesta eri suunnasta. Ohjelma tallentaa jokaisesta suunnasta 200 pistettä eli yhteensä 600 pistettä, joiden avulla se määrittelee tarkasti mittauspään keskipisteen. Jokainen kalibrointi tallentuu laitteen keskusmuistiin, josta se on myöhemmin tarkasteltavissa ja haettavissa mittauksia varten. Kalibroinnin yhteydessä ohjelmisto laskee kalibroinnin tarkkuuden, joka ilmoitetaan kalibroinnin lokitiedoston kohdassa 2σ .

/4/

Kalibroinnin tarkoituksena on määrittää mittapään keskipiste mahdollisimman tarkasti. Tämän takia kalibrointi onnistuu sitä paremmin mitä vähemmän laitteen niveliä liikutetaan kalibrointiaikana. Kalibroinnissa on pyrittävä siihen, että ainoastaan laitteen viimeinen nivel liikkuisi ja muut nivelet pysyisivät mahdollisimman paikoillaan. Kalibrointi voidaan suorittaa kartion asemasta myös palloon. Tässä kalibrointitavassa otetaan pisteitä tarkkaan koneistetusta pallosta 3:lta eri suunnalta. Jokaiselta suunnalta otetaan 5 pistettä ja jokaisen 5 pisteen jälkeen laitteen viimeistä niveltä käännetään 90° siten, että kaikki 3 suuntaa ovat toisiaan vastaan kohtisuorassa. Pallokalibrointi on suoritettava, kun käytetään kärki- tai kosketusherkkiä mittauspäitä. Kuvassa 10 on kuvattu molemmat kalibrointityylit.

/4/

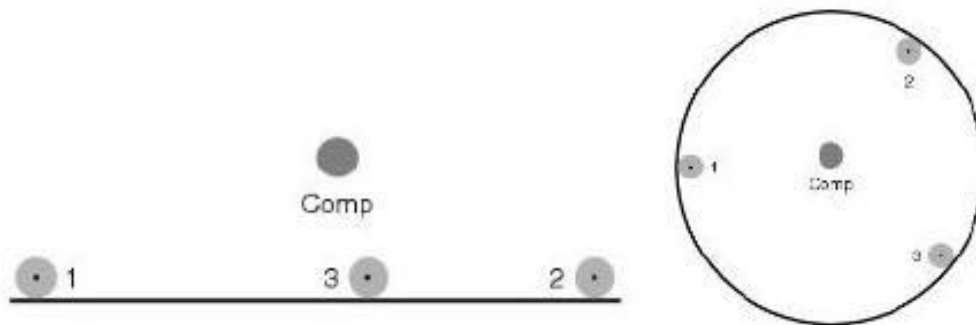


Kuva 10. Kuulamaisen mittauspään reikä- ja pallokalibrointi /4/

5.3 Mittaaminen

FARO -nivelsikoneessa on kaksi nappia, vihreä ja punainen. Vihreä nappi on tarkoitettu datan keräämiseen ja punainen datan hyväksymiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että vihreällä napilla kerätään riittävä määrä pisteitä, jotta haluttu elementti voidaan muodostaa. Punaista nappia käytetään mittauspään kompensointiin. /4/

Normaalit FARO -mittausvarsissa käytetyt mittauspääet ovat täysin kiinteitä vailla minkäänlaista elektroniikkaa ja X,Y, Z -pisteet kerätään yksitellen nappia painamalla. Tämän takia laite ei tiedä, mikä kohta mittapäästä koskee mitattavaan pintaan. Mittauksen aikana ennalta valittu geometriaelementti muodostetaan mittauspään keskipisteiden kautta, jonka jälkeen elementti kompensoidaan oikeaan suuntaan. Kompensointi kertoo laitteelle mistä suunnasta geometria on mitattu. Esimerkiksi ympyrän mittauksella voidaan mitata joko reikien tai akseleiden halkaisijoita, mutta nämä kompensoidaan eri tavalla (**Kuva 11.**). Reikää mitattaessa mittauspää on vietävä reiän keskelle, jolloin ohjelmisto kompensoi reiän suuremmaksi. Ilman kompensointia reikä jäisi 6 mm liian pieneksi mitattaessa 6 mm mittauspäällä (mittauspään pallon säde kertaa kaksi). /4/



Kuva 11. Tason sekä reiän mittaus ja kompensointi /4/

5.4 Tarkkuus

Nivelvartisten koordinaattimittauskoneiden tarkkuus ei ole yhtä yksiselitteinen kuin perinteisten koordinaattimittauskoneiden. Tarkkuus on havainnollistettavissa monilla tavoin, mutta tarkkuus eri sovelluksissa ei ole helposti todennettavissa. /4/

Laitteen tarkkuus ilmoitetaan yksittäisen pisteen toistotarkkuutena. Toistotarkkuus voidaan ilmoittaa joko pallo- tai kartiotestinä. Kartiotestissä mittauspää asetetaan kartioon ja siitä otetaan satoja pisteitä. Tällaisessa testissä mittausvarren asema muuttuu vain vähän, koska kaikki mahdolliset häiriötekijät, mukaan lukien ylimääräiset nivelten liikkeet, halutaan poistaa mahdollisimman tarkan tuloksen saamiseksi. Tulos on erittäin tarkka, mutta ei välttämättä vastaa aina todellisuutta, koska todellisissa mittauksissa mittausvarren asema saattaa muuttua hyvinkin paljon. /4/

Yhden pisteen toistotarkkuus pallotestillä on hyvin samankaltainen kartiotestin kanssa. Erittäin tarkkaan valmistettu pallo mitataan muutamaan kertaan ja jälleen kerran vartta liikutetaan suhteellisen vähän. Pallotestillä ilmoitettu tarkkuus on kartiotestiä parempi, mutta tämäkään tarkkuus ei kerro koko totuutta mittausvarren suorituskyvystä. /4/

Koko mittausalueen maksimipituuden mittausvirhe vastaa useimmiten parhaiten käytännön mittauksia. Tässä testissä käytetään koko mittausvarren mittausaluetta ja käydään läpi erilaisia sijainteja. Mitattavat pituudet ja kappaleiden asemat vaihtelevat, jolloin mittausvartta joudutaan väkisinkin käyttämään erilaisissa asennoissa ja orientaatioissa. Mittausvarren suorituskyky riippuu ratkaisevasti sen käytöstä ja vaikka se voi olla erittäin tarkka pienellä alueella, pitää sen tarkkuutta miettiä uudelleen käytettäessä hyväksi koko mittausaluetta. /4/

5.5 FARO Gage -mittausvarret

FARO Gage -mittausvarret muistuttavat paljon edellä esiteltyjä perusmalleja. Gagen mittausalue on 1,2 m ja rakenne on samanlainen kuin perusmallien 6-akselinen versio. Varren saa kiinnitettyä joko pöytäkiinnityslevyllä tai magneettijalalla. Nivelissä on automaattinen lämpötilan kompensointi. /4/

Gagen ohjelmisto on paljon suppeampi sisältäen ainoastaan perusmittaukseen soveltuvat työkalut ilman graafisia näyttöjä. Mitattavat elementit ja mitoitustyökalut ovat samat, jotka löytyvät CAM2 Measure X:stä. /4/

Gage on tarkoitettu yksinkertaiseen pienehköjen konepajakappaleiden mittaamiseen. 1,2 metrin työskentelyalue riittää yleensä hyvin tavallisimpien konepajakappaleiden tai jopa pienten kokoonpanojen mittaamiseen. Gagen tarkkuus on ilmoitettu ISO 10360-2 standardin mukaan $\pm 5 + 8L/100$. Tämä tarkoittaa sitä, että yhden pisteen toistotarkkuus on 5μ ja pituuden mittauksen suorituskyky mittausalueella on $\pm 5 + 8L$, jossa L on kuljettu matka. /4/

5.6 FARO -nauhalaserskannerit

FARO mittausvarren 7-akseliseen versioon on ostettavissa lisälaitteena nauhalaserskanneri (Laser Line Probe). Skanneri on tarkoitettu käänteiseen suunnitteluun, eli olemassa olevasta kappaleesta kerätään tarpeeksi tietoa 3D-mallin tekemiseen.

Skannaaminen tapahtuu liikuttelemalla skannerista lähtevää viivainmuotoista lasernauhaa kappaleen yllä 89 - 184 millimetrin etäisyydellä. Laite kerää heijastuneet lasersäteet ja luo niiden perusteella pistepilveä, joka voidaan ottaa vastaan ohjelmallisesti ja näistä pistepilvistä voidaan rakentaa kappaleen todelliset muodot. Laitetta liikutellaan käsin, jolloin kappaleesta saadaan skannattua kaikki pinnat nopeasti ja hankaliinkin paikkoihin päästään laitteen nivelvartisen rakenteen ansiosta. Skanneri on liitettävissä kaikkiin Faron nykyisiin mallistoihin. /4/

6 MITTAUSOHJELMISTOT

6.1 CAM2 Measure X

Kaikissa mittauskoneissa on jonkintasoinen tietokone ja ohjelmisto. Faron nivel-
varsimittauslaitteet ovat käyttäneet jo pitkän aikaa mittausohjelmistona CAM2
Measure X -ohjelmistoa. Ohjelmisto ja sen käytön mahdollistava porttilukko toi-
mitetaan mittauslaitteen mukana. Ohjelmisto toimii normaalissa Windows-
pohjaisessa käyttöjärjestelmässä ja se asennetaan laitteen mukana tulevalta asen-
nus- CD:ltä. /4/

CAM2 Measure X mahdollistaa monipuolisen koordinaattimittauksen sekä mit-
taamisen 3D-mallien avulla. Ohjelmisto tukee kaikkien yleisempien geomet-
riaelementtien mittaamisen. Näistä esimerkkeinä muun muassa tasot, ympyrät,
sylinterit, kaaret, upotukset, palot, 2D -ja 3D-viivat sekä erilaiset pisteet. Ohjel-
mistossa on myös kattavat työkalut apugeometrioiden luomiseen. Mikäli jonkin
elementin mitoitus on tehty työpiirustuksessa mahdottomaksi, voidaan kyseinen
apugeometria yleensä luoda mitattujen elementtien avulla. /4/

Nollapiste eli koordinaatisto voidaan luoda haluttuun paikkaan muutaman mitatun
elementin avulla, jonka jälkeen mitatuista piirteistä saadaan luotettava X, Y, Z-
koordinaattitieto. Tällä tavalla esimerkiksi reikäryhmien mitoitus voidaan tehdä
järkevästi ilman erillisiä mitoituskäskyjä. Koordinaatistoja voidaan luoda mittauk-
seen haluttu määrä ja valita haluttu koordinaatisto aktiiviseksi. /4/

Ohjelmistosta löytyvät mitoituskäskyt piirteiden välisten kulmien ja välimatkojen
mittaamiseen. Kulma- ja välimatkamitoitus voidaan suorittaa käyttäen hyväksi
kappaleesta mitattuja tasoja, viivoja ja piste-elementtejä. Laaduntarkkailuun löy-
tyy myös geometrisia toleransseja. Mitattaessa piirteitä CAM2 Measure ilmoittaa
automaattisesti piirteiden muotovirheen, jolloin jokaista muotovirhettä ei tarvitse
käydä erikseen hakemassa valikon kautta. Esimerkiksi tason, sylinterin, ympyrän
ja viivan muotovirhe saadaan jo mittauksen yhteydessä. Mitattaessa kohtisuoruut-
ta, samansuuntaisuutta ja samankeskiisyyttä verrataan kahta elementtiä. Tällöin

toiselle elementille on annettava vertailukirjain (datum), joka ilmoitetaan työpöytärustuksissa. /4/

Hieman harvinaisempi koordinaattimittauksen muoto ohjelmistossa on putken mittaus. Putken mittauserä on tehty putkentaivutuskoneella tehtyjen putkien mittaamiseen sekä käänteiseen suunnitteluun. Putki mitataan siten, että putkesta mitataan molempien päiden päädyt sekä putken suorat osuudet sylinterinä. Tämän jälkeen ohjelma ehdottaa putkelle mitattua halkaisijaa sekä tavutussädettä. Halkaisijaksi voidaan syöttää ennalta tiedetty arvo tai hyväksyä ohjelman ehdottama arvo. Taivutussäteenä kannattaa ilmoittaa putkentaivutuskoneessa käytetyn työkalun säde, joka on yleensä vakio kaikissa taivutuksissa. Tämän jälkeen ohjelma raportoi putken tiedot, johon kuuluvat putken pituus päästä päähän (suora etäisyys), putken vetopituus, putken taivutuskoodi sekä lasketut leikkauspisteet. Putkentaivutuskoodin avulla voidaan luoda mitattua vastaava putki. Mitattua putkea on myös mahdollisuus verrata putken 3D- malliin, jolloin nähdään heitto todellisiin mittoihin. /4/

6.2 CAM2 Q

CAM2 Q -mittausohjelmisto on uusi ohjelmisto Faron nivelvartisten mittauslaitteissa. Ohjelmisto soveltuu paremmin CAD-mallien mittauksiin kuin CAM2 Measure X -ohjelmisto. Seuraavassa ovat tärkeimmät uuden ohjelmiston ominaisuudet:

- Ohjelmaan on ajettu uusi Parasolid CAD -moottori, joka pyörittää graafista käyttöliittymää entistä paremmin.
- Suurten CAD -tiedostojen mittaus ja käsittely on myös parantunut
- Uusi Transtech -kääntäjä, jossa käännettävät mallit tulevat kääntäjästä entistä laadukkaampina ja ovat ilman turhia ylimääräisiä reunaviivoja.
- mahdollisuus tehdä mittauskierto etukäteen
- offline moduulien käyttömahdollisuus
- pistepilven mittaus, yksittäisten pisteiden sijaan
- yksiköiden ja koordinaatistojen vaihto koska tahansa
- mittausdatan editointi on parantunut
- automaattinen piirteiden tunnistus
- raportoinnit ovat selkeytetty ja monipuolistetut. /4/

7 VERTAILUMITTAUS

7.1 Vertailun tarkoitus

Tämän vertailumittauksen tavoitteena oli selvittää kuinka tarkkoihin mittatoleransseihin päästään Wärtsilän omalla nivelvarsimittauskoneella, mittaamalla MITUTOYO -porrasmittapaloja. Vertailumitoiksi käytettiin automaattiohjatun KMK:n LEITZ -mittaustuloksia. Molemmat mittaukset suoritettiin samassa paikassa ja samalla kiinnitys -sekä kappaleen suuntauksen tavalla.

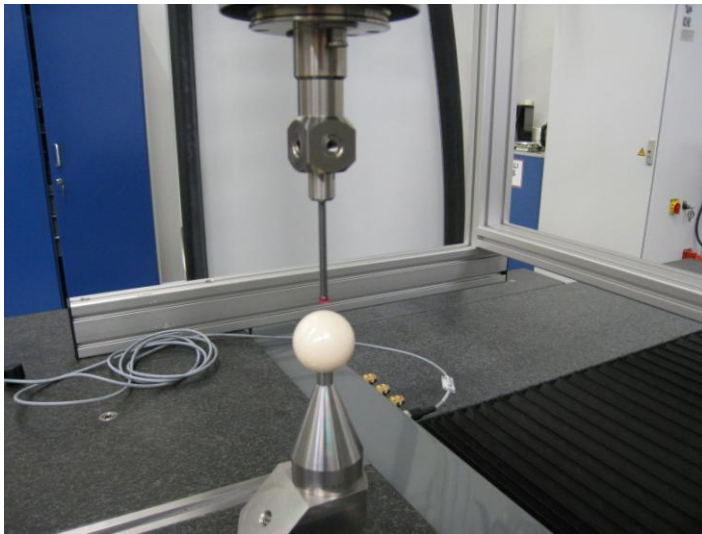
7.2 Mittausvaiheiden suoritus KMK: lla LEITZ

Porrasmittapalojen vertailumittaukset suoritettiin Wärtsilän omalla LEITZ -koordinaattimittauskoneella. Mittauskone oli mallia LEITZ PMM-C 100, joka on hankittu vuonna 2007. Käytetty mittausohjelmisto oli QUINDOS 7. Mittaukset suoritettiin Wärtsilän laatuosaston mittaushuoneessa, jossa huoneen lämpötila oli 21 °C. Mittauskoneen tekniset tiedot seuraavassa:

- mittausalue: X 2400, Y 1600, Z 1000 mm
- koneen epävarmuus $MPEE 1,9 + L/400$.

Epävarmuus on ilmoitettu mittauspään virheenä (1,9 μm), johon lisätään koneen liikkeestä aiheutunut virhe kolmeen akselin suuntaan ($L/400 \mu\text{m}$).

Mittaukset pyrittiin suorittamaan molemmilla koneilla samoista kappaleen mittauskohdista. Koordinaatiston luonti on myös tehty samalla tavalla, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia. Alkuvaiheessa puhdistettiin mittakärjet, kalibrintikuula ja mitattava kappale. Mittakärjen halkaisijaksi valittiin 5 mm kuula, jonka kalibrinti suoritettiin 30 mm kalibrintikuulan avulla (**Kuva 12.**).



Kuva 12. Mittakärjen kalibrointi KMK: lla LEITZ

Koordinaatiston luonnissa on käytetty porrasmittapalojen ylätasoa, josta on tehty XY- suunnassa avaruuskääntö ja sivusuunnasta mitattiin akseli. Tästä tehtiin X-suuntaan tasokääntö, nolllapiste määritettiin porrasmittapalojen nolllakohtaan. Mitauksessa on käytetty hyväksi kiinteän koordinaattimittauskoneen suurinta etua eli automaattista mittausta.



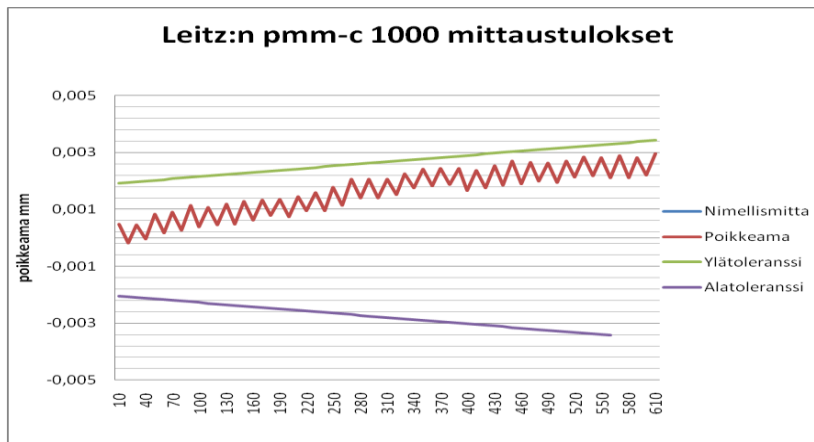
Kuva 13. Porrasmittapalojen mittaus koordinaattimittauskoneella LEITZ

Kuvassa 13 on esitetty porrasmittapalojen mittaus KMK: lla Leitz, jossa mittaus tapahtuu automaattisesti.

Taulukko 2. Mittaustulokset KMK- lla Leitz

Nimellismitta	Mittaus LEITZ	Erotus	Ylätoleranssi	Alatoleranssi
10,0003	10,0008	0,0005	0,0019	-0,0019
40,0005	40,0005	0,0000	0,0020	-0,0020
100,0007	100,0011	0,0004	0,0022	-0,0022
150,0005	150,0018	0,0013	0,0023	-0,0023
200,0004	200,0011	0,0008	0,0024	-0,0024
250,0001	250,0019	0,0018	0,0025	-0,0025
300,0000	300,0014	0,0014	0,0027	-0,0027
349,9999	350,0023	0,0024	0,0028	-0,0028
399,9998	400,0015	0,0017	0,0029	-0,0029
450,0000	450,0027	0,0027	0,0030	-0,0030
500,0001	500,0020	0,0020	0,0032	-0,0032
550,0003	550,0031	0,0028	0,0033	-0,0033
610,0007	610,0037	0,0030	0,0034	-0,0034

Taulukossa 2 on esitetty osa mittaustuloksista, jossa on pienin ja suurin poikkeama nimellismitasta.

**Kuva 14.** Mittaustulokset KMK: lla Leitz esitetty kaaviona

Kuvassa 14 huomataan, että mittaustulokset ovat pysyneet koko mittauksen aikana toleranssien sisällä. Suurin poikkeama nimellismitasta oli etäisyysmatkalla 610 mm, jossa poikkeama oli 0,003 mm.

7.3 Mittausvaiheiden suoritus NVMK: lla FARO

Verrattava mittaus suoritettiin Wärtsilän omalla nivelvarsimittakoneella, joka on 6-akselinen Platinum 6, (**Kuva 8.**), varustettuna CAM2 Measure X -mittausohjelmistolla, jonka tekniset tiedot seuraavassa:

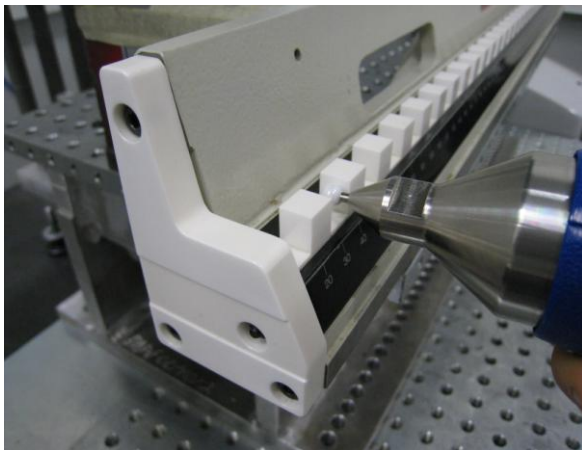
- mittausalue 1,8 m (mittausalueen pallomainen halkaisija)
- yhden pisteen toistotarkkuus kartiotestillä: $\pm 0,020$ mm
- koko mittausalueen maksimipituuden mittausvirhe: $\pm 0,029$ mm.

Alkuvaiheessa suoritettiin mittaukseen kuuluvat puhdistustoimenpiteet, johon kuuluvat mittakärjen, mitattavankappaleen ja kalibrointikartion puhdistus. Sen jälkeen suoritettiin kalibrointi, joka on tehtävä kuukauden välein, tai silloin kun mittauspää vaihdetaan (**Kuva 15.**). Mittakärjen halkaisijaksi valittiin 6 mm kuula, jonka kalibrointi suoritettiin kalibrointikartion avulla, jossa pisteiden lukumäärä oli 600 pistettä. Mittauspään kalibroinnilla pidetään huolta, että mittaukset säilyvät tarkkoina.



Kuva 15. Mittakärjen kalibrointi NVMK: lla FARO

Mittausta varten järjestettiin tukevin mahdollinen käytössä oleva kiinnitys. Mittaukset suoritettiin KMK: n kivipöydällä (**Kuva 16.**), jossa oli tukevasti ruuveilla kiinnitetty reikälevy, johon saatiin mittausvarsi magneettijalalla kiinni. Koordinaatiston luonti sekä kappaleen suuntaus suoritettiin samalla tavalla kuin aikaisemmin LEITZ -mittauskoneella paitsi, että nivelvarsimittauskoneella kappale mitattiin kolme kertaa, josta vertailuarvoiksi laskettiin mittauksien keskiarvot.

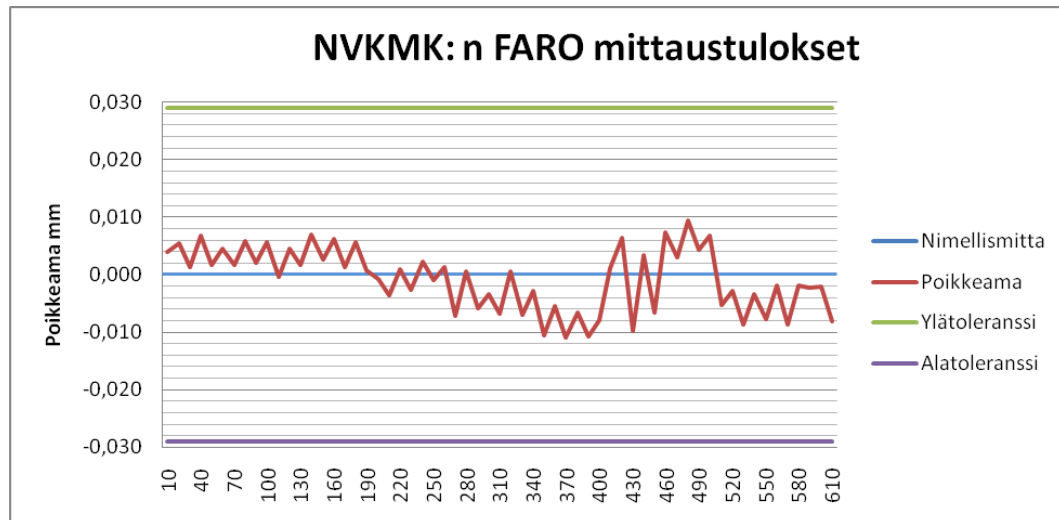


Kuva 16. Porrasmittapalojen mittaus NVMK: Ila FARO

Taulukossa 3 on esitetty osa tarkastettavista dimensioista, jossa on esitetty nimellimitat, mittauks tulokset, keskiarvot, vaihtelujen itseisarvot sekä poikkeamat.

Taulukko 3. Mittauks tulokset NVMK: Ila jossa yksikkönä mm

Nimellimita	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3	Keskiarvo	Vaihtelun itseisarvo	Poikkeama
10,0003	10,0066	10,0023	10,0038	10,0042	0,0043	0,0039
50,0005	49,9981	50,0030	50,0052	50,0021	0,0071	0,0016
100,0007	100,0058	100,0070	100,0064	100,0064	0,0012	0,0057
150,0005	150,0018	150,0038	150,0041	150,0032	0,0023	0,0027
200,0004	200,0003	199,9979	200,0006	199,9996	0,0027	-0,0008
250,0001	249,9981	250,0003	249,9989	249,9991	0,0022	-0,0010
300,0000	299,9986	299,9976	299,9934	299,9965	0,0052	-0,0035
369,9999	369,9890	369,9886	369,9890	369,9889	0,0004	-0,0110
349,9999	349,9875	349,9910	349,9896	349,9894	0,0035	-0,0105
440,0000	439,9978	440,0066	440,0058	440,0034	0,0088	0,0035
500,0001	500,0101	500,0083	500,0019	500,0068	0,0082	0,0067
550,0003	549,9921	549,9917	549,9941	549,9926	0,0024	-0,0076
600,0007	599,9957	599,9996	600,0004	599,9986	0,0047	-0,0021
610,0007	609,9953	609,9911	609,9913	609,9926	0,0042	-0,0082



Kuva 17. NVKMK: n mittausarvot esitetty kaaviona

7.4 Mittaustuloksien analysointi FARO

Kuvassa 17 huomataan, että NVKMK: n tulokset ovat pysyneet koko mittauksen aikana toleranssien sisällä.

Nivelvarsimittauskoneella mittaus suoritettiin kolme kertaa, josta laskettiin vaihteluvälien itseisarvo sekä keskiarvo. Mittauksien keskiarvoa verrattiin sekä porrasmittapalojen etäisyysnimellismittoihin että saatuihin mittaustuloksiin, jotka suoritettiin automaattiohjatulla KMK: lla LEITZ.

Vaihteluvälin maksimivirhe oli mittausmatkalla 440 mm (439,9978 – 440,0066), jonka itseisarvo oli 0,0088 mm. Suurin keskiarvopoikkeama porrasmittapalojen nimellismittoihin oli etäisyysmatkalla 370 mm (360, 9889 mm), jonka poikkeama oli - 0,0111mm.

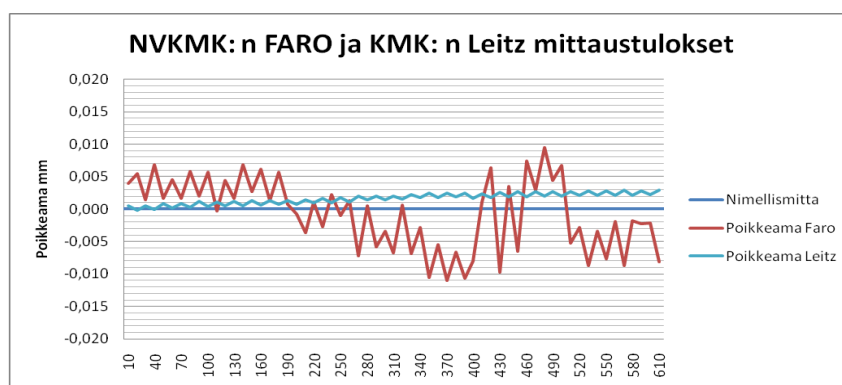
Yllä olevien tuloksien mukaan voidaan todeta, että nivelvartisen mittauskyky on erittäin hyvä, koska mittauksien poikkeamat ovat pysyneet koneen ilmoitetulla toleranssialueella, eikä suuria vaihteluväliä ole ollut.

7.5 Mittauskoneiden erotusmittojen analysointi

Porrasmittapalojen mittaustulokset, jotka suoritettiin KMK: lla Leitz ja NVKMK: lla Faro, on esitetty sekä taulukkona että kaaviona, jotta helposti voitaisiin huomata koneidenväliset mittauserot.

Taulukko 4. Mittaustuloksien erotusmitat

Mittaus LEITZ	Keskiarvo FARO	Erotus
10,0008	10,0042	0,0034
50,0013	50,0021	0,0008
100,0011	100,0064	0,0053
150,0018	150,0032	0,0014
170,0019	170,0019	0,0000
220,0012	220,0013	0,0001
270,0022	269,9929	-0,0093
320,0014	320,0005	-0,0009
370,0023	369,9889	-0,0134
420,0017	420,0063	0,0046
470,0027	470,0030	0,0003
520,0022	519,9973	-0,0049
570,0032	569,9916	-0,0116
610,0037	609,9926	-0,0111



Kuva 18. Mittauskoneiden poikkeamat esitetty kaaviona

Taulukossa 4 olevia tuloksia tarkasteltaessa mitat näyttävät olevan lähellä toisiaan. Koneiden suurin mittausero oli etäisyysmatkalla 370 mm, jossa koneiden erotus oli -0,0134 mm.

Koneiden välisessä mittausvertailussa voidaan myös todeta, että NVMK: lla päästään valmistajan lupaamiin toleransseihin.

7.6 Mittaustapojen vertailu

Vaikka mittausten tulokset FARO -mittausvarrella ja Leitz -koordinaattimittauskoneilla eivät eroa toisistaan paljoakaan, on mittaussuorituksessa melko paljon eroa. FARO -mittauspäättä liikutetaan käsin, jolloin mittaussai-ka voi olla joissakin mittauskappaleissa lyhyempi kuin mitattaessa kiinteällä koordinaattimittauskoneella. Koneen 6-akselinen rakenne mahdollistaa myös sen, että mittauspää voidaan viedä ahtaisiinkin paikkoihin. Tämän takia kesken mittauksen ei mittauspäättä eikä mittauskärkiä tarvitse vaihtaa niin usein.

Kiinteän koordinaattimittauskoneen etuna nivelvarsilaitteisiin on mittauksien tarkkuus. Kiinteällä johteella ja tarkkojen mittauspäiden avulla päästään parempiin tarkkuuksiin kuin nivelvarsikoneella. Mittauksessa voidaan myös hyödyntää automatiikkaa, jolloin kappaleiden mittaukset ovat nopeita ja tarkkoja.

8 PUTKIEN MITTAUS NVKMK

8.1 Yleistä putken mittauksesta

Taivutettujen putkien mittaus on erittäin vaikea ja työlästä suorittaa sekä käsimitalaitteilla että kiinteillä koordinaattimittauskoneilla, koska ne ovat liian jäykkiä tällaiseen mittaamiseen. Yksi parhaimmista putkien mittaussovelluksista on nivelvarsikoordinaattimittauskone, jolla helposti päästään ahtaisiin mittauskohtiin yhdellä kiinnityksellä, johon voi olla mahdotonta päästä CMM- KMK: lla. NVKMK: n ohjelmistolla on erikseen putken mittausominaisuus, joka mittauksen jälkeen laskee kaikki putkesta tarvittavat tiedot.

Putki mitataan siten, että ohjelmiston valikosta valitaan ensin putken mittaus, putkesta mitataan molempien päiden päädyt sekä putken suorat osuudet sylinterinä. Tämän jälkeen ohjelma ehdottaa putkelle mitattua halkaisijaa sekä tavutussädettä. Halkaisijaksi voidaan syöttää ennalta tiedetty arvo, joka on yleensä ilmoitettu putken piirustuksessa tai hyväksyä ohjelman ehdottama arvo. Taivutussäteeksi kannattaa ilmoittaa putkentaivutuskoneessa käytetyn työkalun säde, joka myös ilmoitetaan putkien piirustuksissa.

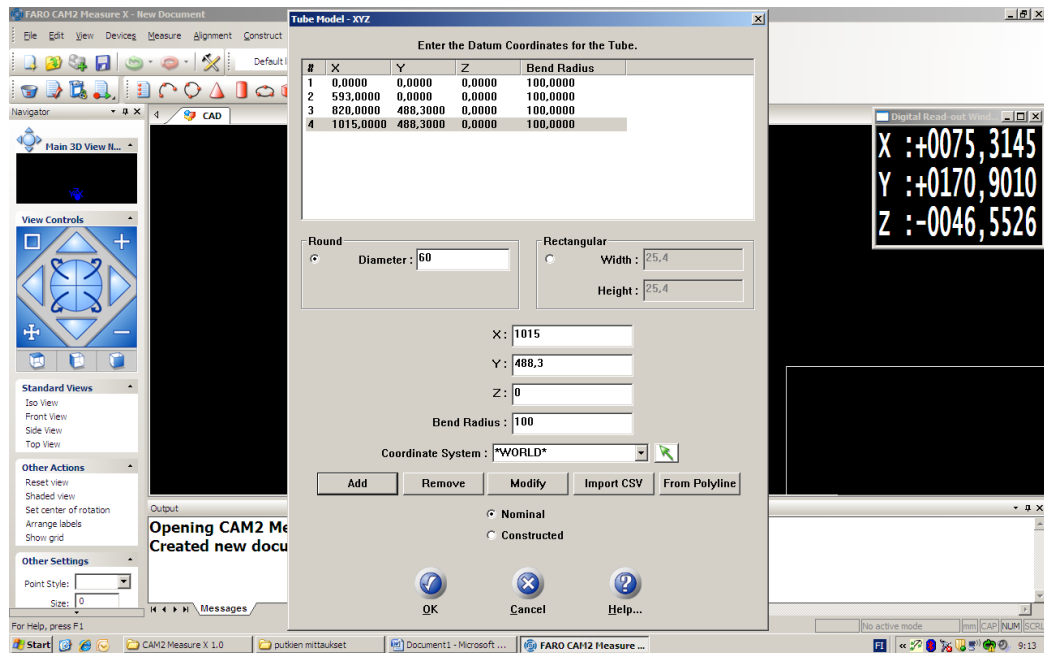
Mittauksen jälkeen ohjelma raportoi putken tiedot, johon kuuluvat; suorien osuuk-sien leikkauspisteet, putken pituus päästä päähän (suora etäisyys), putken vetopi-tuus, putken taivutuskoodi sekä lasketut leikkauspisteet. Leikkauspisteet ja taivu-tuskulmat voidaan myös mitoittaa erikseen syöttämällä etäisyyslaskennassa halu-tut leikkauskohdat tai mitatut sylinterit. Ohjelma raportoi myös putkentaivutusko-neiden tarvitsemat PTB ja XYZ -koodit, joiden avulla protoputkista saadaan au-tomaattisesti putkentaivutuskoodi tuotantoa varten.

8.2 Putkien mittaus taivutuskoodien avulla

Hieman harvinaisempi koordinaattimittauksen muoto ohjelmistossa on putken mittaus. Putken mittausominaisuus nivelvarsimittauskoneen ohjelmistolla on tehty putkentaivutuskoneella tehtyjen putkien mittaamiseen sekä käänteiseen suunnite-

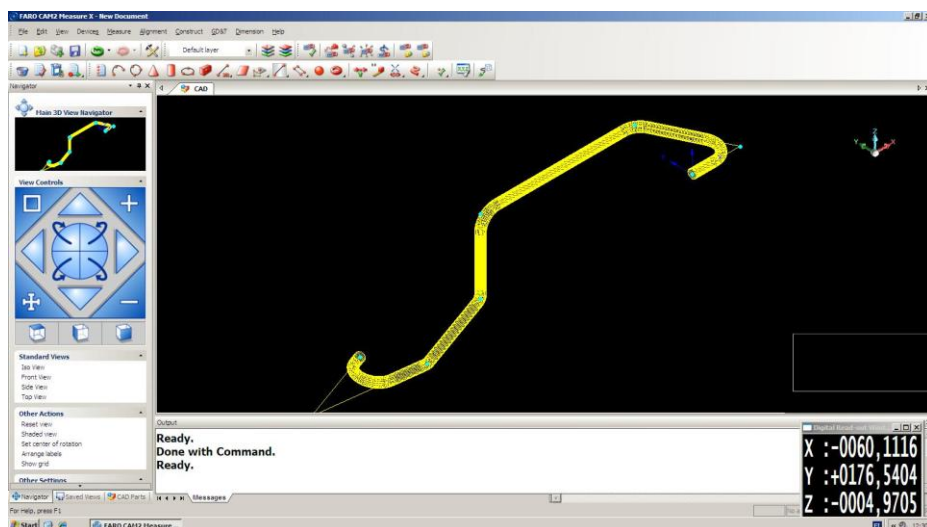
luun. Mittaus taivutuskoodien avulla tapahtuu sitten, että ohjelmanvalikosta valitaan CONSTRUC->TUBE->ENTER X,Y,Z.

Tämän jälkeen syötetään putken piirustuksesta olevat X,Y, Z -koodiarvot, putken halkaisija sekä taivutussäde.



Kuva 19. Putkikoodien syöttäminen

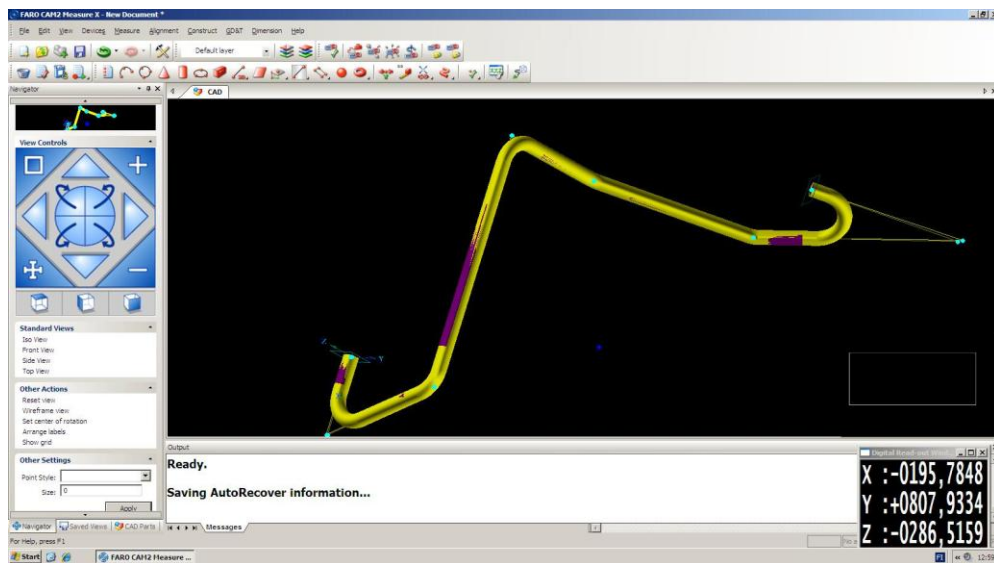
Koodit lisätään taulukoon painamalla ADD -näppäintä (Kuva 19.). Kun kaikki taivutuskoodit ja muut tarvittavat arvot on lisätty taulukoon, taulukko hyväksytään painamalla OK: ta. Syötettyjen koodien ja taivutussäteen avulla ohjelmisto luo nimellisputken, joka on esitetty kuvassa 20.



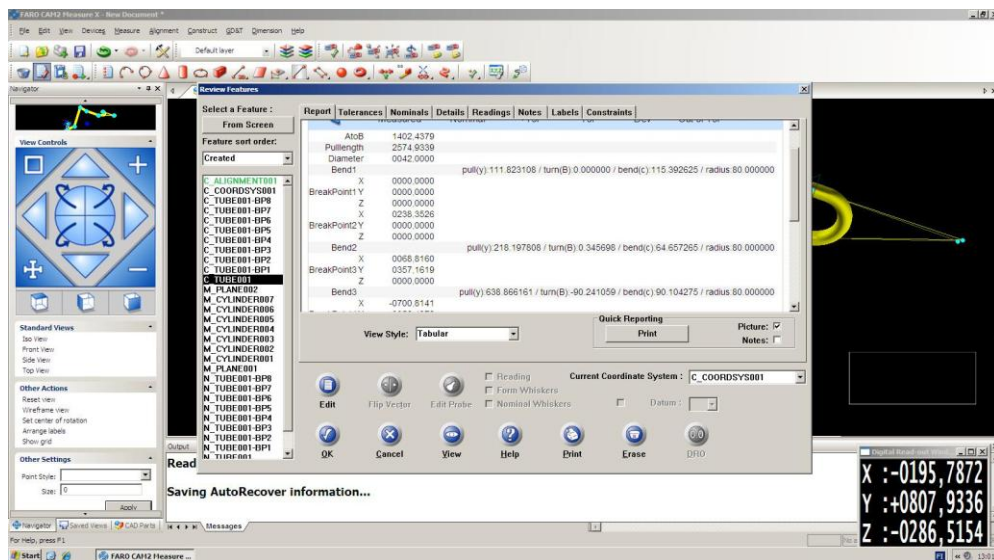
Kuva 20. Luotu putki taivutuskoodien avulla

Seuraavaksi valitaan käsky (BREAK POINTS), jolla ohjelmisto luo putkelle automaattisesti leikkauspisteet, joita käytetään putkien vertailussa.

Varsinaisen putken mittaus suoritetaan käskyllä MEASURE ROUND TUBE, jonka avulla mitataan ensin putken toinen taso ja sen jälkeen kaikki putkessa olevat suorat osuudet sylinterinä, ja lopuksi mitataan putken toinen taso. Mittauksen jälkeen suoritetaan putkien vertailu (**Kuva 21.**), mitatun ja luotujen putkien välillä. Luodun putken leikkauspisteet valitaan nimellispisteiksi, joihin verrataan mitatusta putkesta saadut leikkauspisteet. Ohjelmisto ilmoittaa putken minimi- ja maksimivirheet sekä kaikki muut tarvittavat etäisyysmitat (**Kuva 22.**).



Kuva 21. Putken ja mallin vertailu



Kuva 22. Mitatun putken mittausarvot

Tämä mittaustapa on yksi tärkeimmistä nivelvarsimittauskoneiden ominaisuuksista. Tätä ominaisuutta suositellaan käytettävän kaikissa taivutetuissa putkien mittauksissa.

9 3D- MALLIEN HYÖDYNTÄMINEN NVKMK

9.1 Mittausmenetelmät 3D- mallien avulla

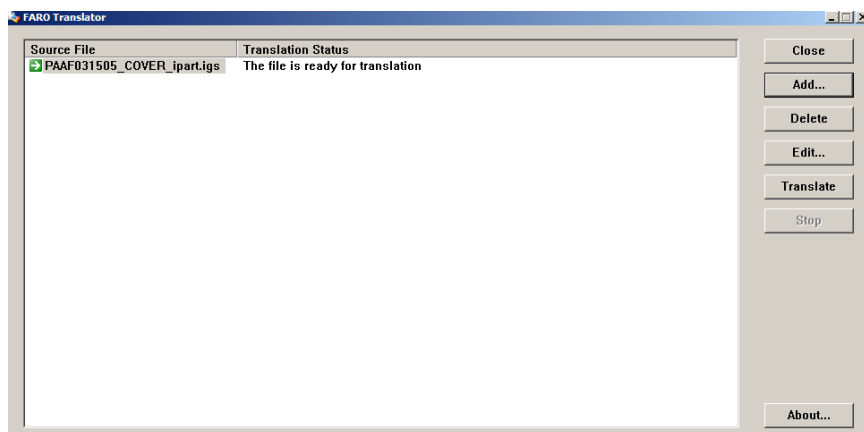
Mitoitus 3D-mallien mukaan mahdollistaa monimutkaisten muotojen mittaamisen. 3D-mallien mukaan voidaan mitata periaatteessa kahdella eri menetelmällä. Toisessa menetelmässä malliin luodaan nimellisiä (nominal) piirteitä, joiden paikka on tarkasti sidottu 3D-malliin. Mittaamalla vastaavat piirteet mitattavasta kappaleesta, voidaan saatuja piirteiden tuloksia verrata suoraan nimellisiin piirteisiin, joissa on oikea tieto. Ohjelmisto ilmoittaa mitattujen piirteiden heitot nimellisiä piirteitä vastaan, jolloin saadaan tarkkaa tietoa kappaleen todellisista mitoista. Esimerkiksi ympyrästä voidaan verrata keskipisteen koordinaatteja sekä halkaisijaa todellisiin mittoihin. /4/

Toinen keino on käyttää 3D-pintamallia ja mitata suoraan pinnan avulla, joko käyttäen yksittäisiä pisteitä tai skannausta. Skannaamalla voidaan ottaa poikkeileikkauksia pinnasta ja näyttää virhe graafisesti käyttäen hyväksi ohjelmiston ”Nominal Whiskers” -toimintoa. Tällöin ohjelmisto näyttää virheen korostettujen virheapuviivojen avulla ja jokainen piste saa oman viivan. Viivan väritys vastaa määritettyjä toleransseja. Vihreä väri ilmoittaa, että piste on toleranssin sisäpuolella. Keltainen on lähellä toleranssin ylärajaa ja punainen menee toleranssin yli. Yksittäisillä pisteillä mittaaminen toimii vastaavalla analogialla. Pisteestä saadaan etäisyys pintaa vastaan ja etäisyyden etumerkki ilmoittaa pisteen sijainnin pinnan suhteen, sisällä tai ulkona. /4/

9.2 Mittauksien suoritukset 3D- mallien avulla

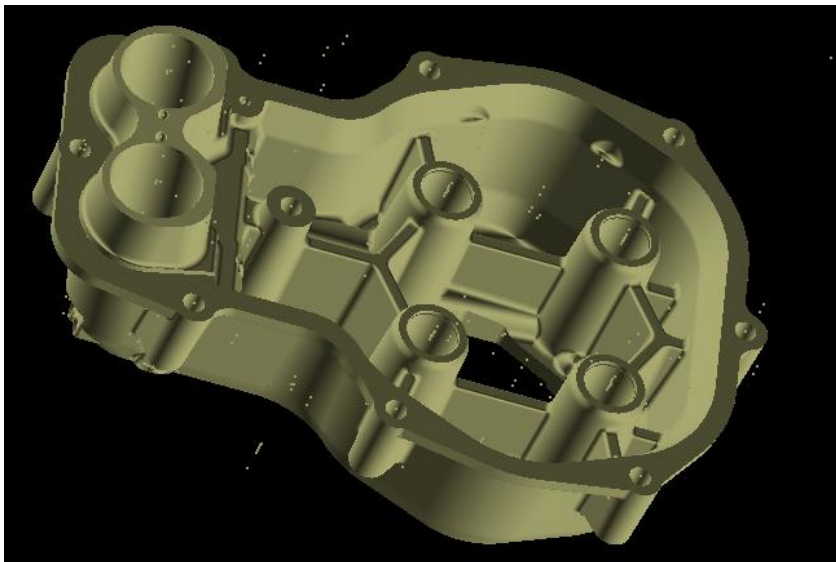
Mittaukset 3D- mallien avulla suoritetaan kääntämällä ensin mitattavan kappaleen mallitiedosto omaan Faro CAD- tiedostomuotoon. Mitattavan kappaleen mallitiedoston on oltava IGES- muodossa, jotta Faron -ohjelmisto pystyisi kääntämään omaksi FCM- tiedostoksi.

Tiedostojen kääntäminen suoritetaan käyttämällä NVKMK omaa ohjelmistoa, jonka nimi on CAD TRANSLATOR (**Kuva 23.**).



Kuva 23. Tiedostojen kääntäminen

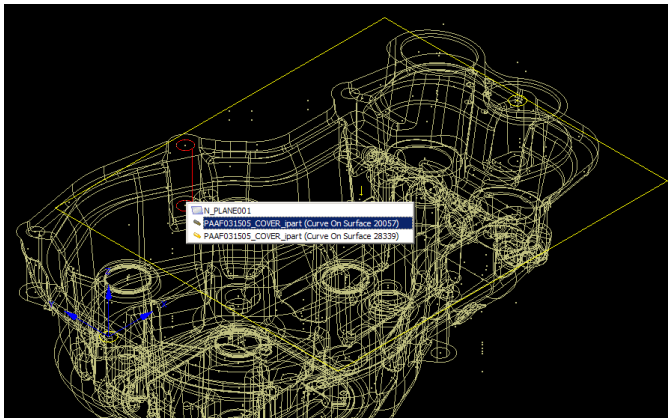
Tämän jälkeen käännetty malli tuodaan ohjelmistoon käskyllä *File->Insert-CadParts*



Kuva 24. Käännetty 3D- malli

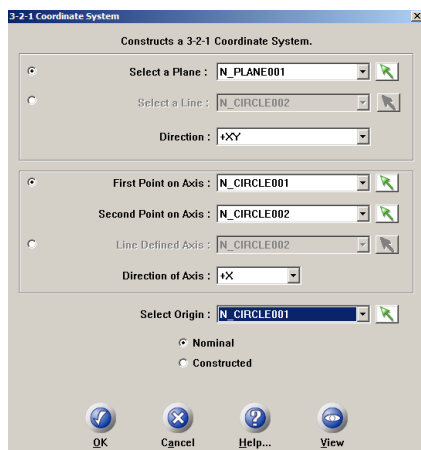
Kuvassa 24 on esitetty ohjelmistoon tuotu käännetty malli.

Seuraavassa vaiheessa 3D- mallista valitaan tarvittavat elementit koordinaatistoa varten, käyttämällä CONSTRUCT NOMINAL toimintatapaa. Mallista valitaan tarvittavat nimelliselementit. Jotta elementtien valinta olisi tarkempi ja helpompi nähtävillä, pintamallia voidaan muuttaa rautalankamalliksi.



Kuva 25. 3D- malli esitetty rautalankana

Kuvassa 25. on esitetty valitut elementit, ylätaso sekä kaksi halkaisijaa, josta on tarkoitus tehdä nimelliskoordinaatisto.

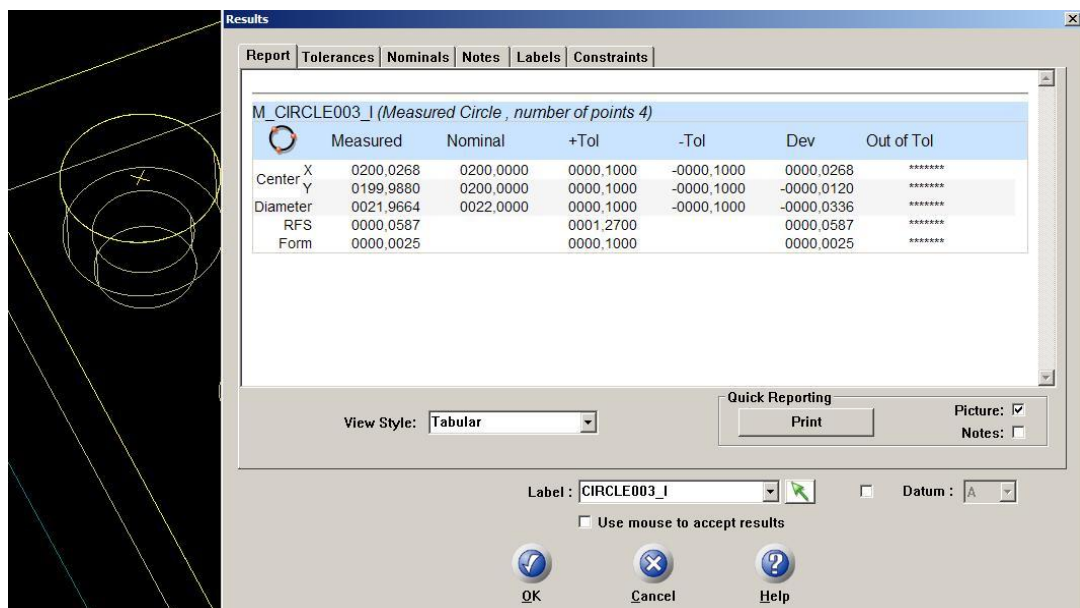


Kuva 26. Nimelliskoordinaatiston luonti

Tämän jälkeen kun nimelliskoordinaatisto on luotu (**Kuva 26.**), kappaleesta mitataan samat elementit, joista luodaan ns. rakennettu koordinaatisto, jonka jälkeen voidaan mitata muut tarvittavat mitat.

Jotta ohjelmisto pystyisi laskemaan kappaleessa olevien elementtien nimellismittat, on sovittava nimellis- koordinaatisto -ja rakennettu- koordinaatisto yhteen. Koordinaatistojen sovitus yhteen suoritetaan käskyllä CAD = PART.

Tämän jälkeen kappaleesta voidaan mitata kaikki tarvittavat mitat, ja mittauksen jälkeen ilmestyvät nimellismittat ja poikkeamat (**Kuva 27.**). Nimellismittoja ei tarvitse syöttää erikseen.



Kuva 27. Mitatun elementin arvot

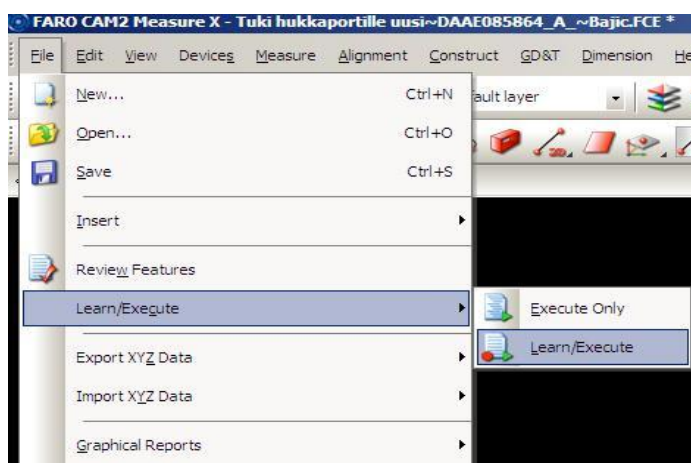
10 NVKMK OHJELMOINTI

Mittausohjelmia nivelvarsimittakoneelle voidaan luoda kahdella eri tavalla; off-line tai on-line tilassa. On-line ohjelmointitapa on selkeämpi ja sen takia se on yleisempi käytötapa ohjelmoinnin luomisessa.

Mittausohjelman tarkoitus nivelvarsimittauskoneilla on suorittaa mitoitus- ja rakennustoiminnot automaattisesti, mittauspisteet ja mittakärjen kalibrointi mittaaja suorittaa itse. Mittauspöytäkirjojen tulostaminen ja tallentaminen luodaan myös ohjelmaan, jonka suoritus tapahtuu mittauksen jälkeen.

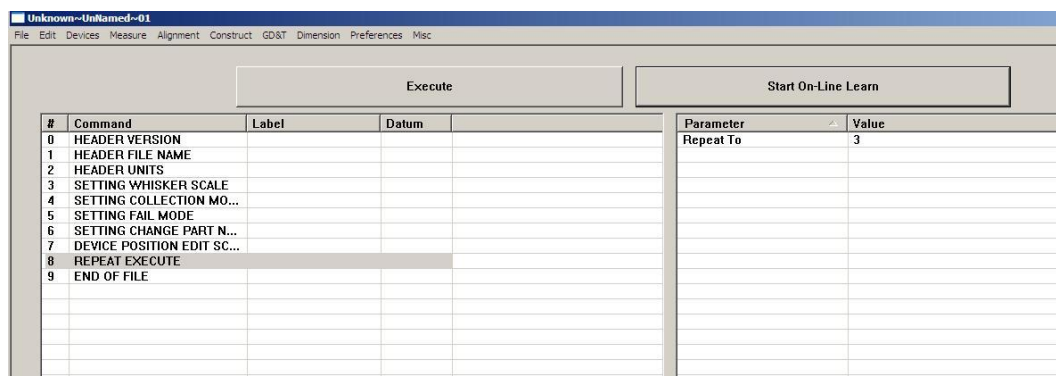
10.1 Ohjelman luonti

Mittausohjelman luominen alkaa avaamalla Learn/Execute -ikkuna mittausohjelmistosta, (**Kuva 28.**). On-line -ohjelmoinnin idea on, että mittaukset suoritetaan aivan normaaliin tapaan ja ohjelma tallentaa kaiken mitä mittaaja mittauksen aikana ohjelmistossa tekee. Mitoitus- ja rakennustoiminnot sekä toleranssien syöttäminen tehdään mittauksen tapaan aivan normaalisti, siinä järjestyksessä kuin tehtäisiin normaalisti mitattaessakin.



Kuva 28. Uuden ohjelman luominen (vaihe 1)

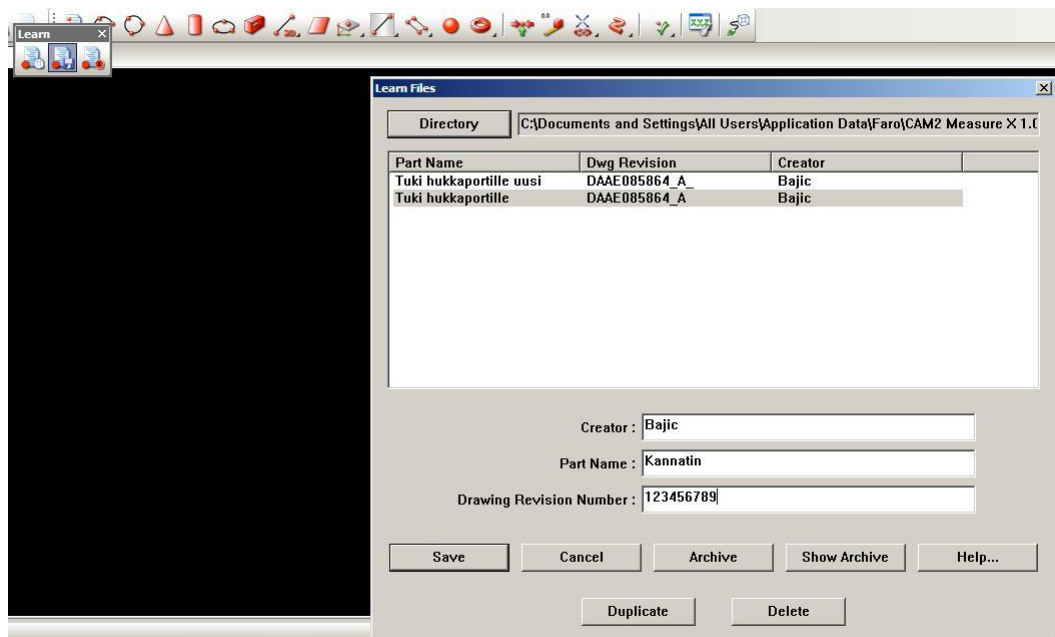
Tämän jälkeen ohjelma avaa uuden ikkunan (**Kuva 29.**), jossa haluttaessa voidaan tehdä asetuksia ohjelmaan.



Kuva 29. Uuden ohjelman luominen, (vaihe 2)

Kohdassa 5 pitää vaihtaa Setting fail mode, kohtaan Option to remeasure or backup. Näin mahdollinen virhemittaus mittausten aikana voidaan joko suorittaa uudestaan tai vaihtoehtoisesti voidaan palata takaisin Learn/Execute -ikkunaan. Ohjelmiston kohdat 0-7 ovat ohjelman automaattisia asetuksia. Näihin ei tarvitse tehdä mitään muutoksia. Ohjelman tallentaminen alkaa kohdasta 8 painamalla Start On-Line Learn -nappia, jolloin päästään takaisin CAM2 Measure X -puolelle. Mitattujen elementtien yhteydessä voidaan tehdä myös seuraavat toimenpiteet, jotka tallentuvat mittausohjelmistoon:

- nimetä mitatut elementit
- syöttää toleranssit ja nimellimitat
- syöttää mittaajalle mittausohjeet
- lisätä kuva mitatusta kappaleesta
- lisätä pöytäkirjaan selvennys, joka auttaa pöytäkirjojen tulkitsemista.



Kuva 30. Uuden ohjelman tallennus

Sitten kun ohjelma on tehty loppuun, nauhoitus lopetetaan painamalla save learn -painikettä (**Kuva 30.**), jonka jälkeen syötetään ohjelman tekijän nimi, kappaleen nimi sekä piirustusnumero. Lopuksi painetaan SAVE -painikettä.

10.2 Mittaukset mittausohjelman avulla

Mittausohjelman olennainen piirre nivelvarsimittakoneella on se, että mittajaan tehtäväksi jää pelkästään mittaaminen ohjelmassa olevien ohjeiden mukaan, tulosten seuraaminen sekä analysointi.

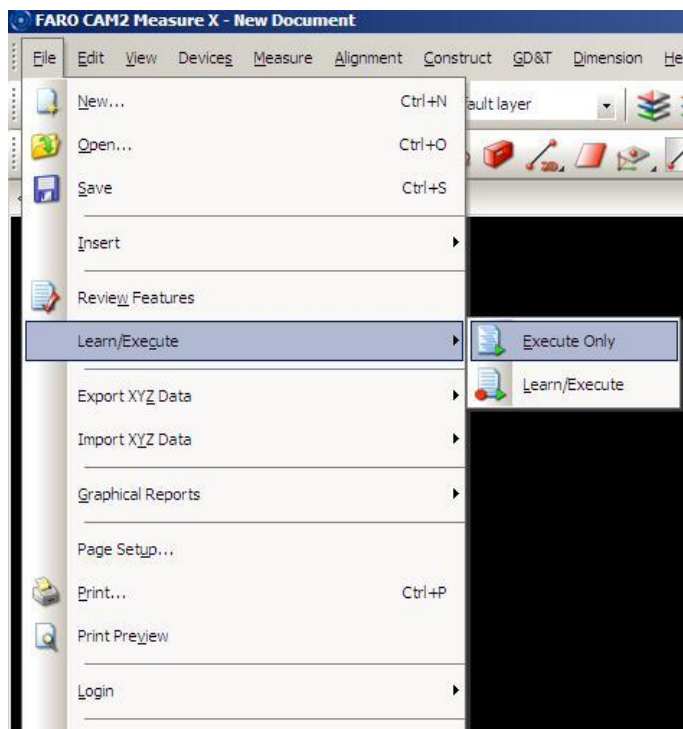
Jokaisesta tehdystä mittausohjelmasta on oltava mittausohjelman etusivu (liitteenä), jossa on mittausprosessi selkeästi ohjeistettu. Mittausohjelman etusivu tulisi sisältää ainakin seuraavat asiat:

- ohjelman nimi ja piirustusnumero
- ohjelman sijainti (kovalevy tai muu paikka)
- tekijän nimi ja päivämäärä

- työkappaleen valmistelu (puhdistus ja magneettisuuden poistot)
- stabiloituminen, milloin saa mitata, olosuhteiden kirjaus
- kappaleen kiinnitystapa (myös kuvana)
- mittauskärkientiedot
- Kappaleen mittaus (pisteiden määrä ja kosketuskohdat). /7/

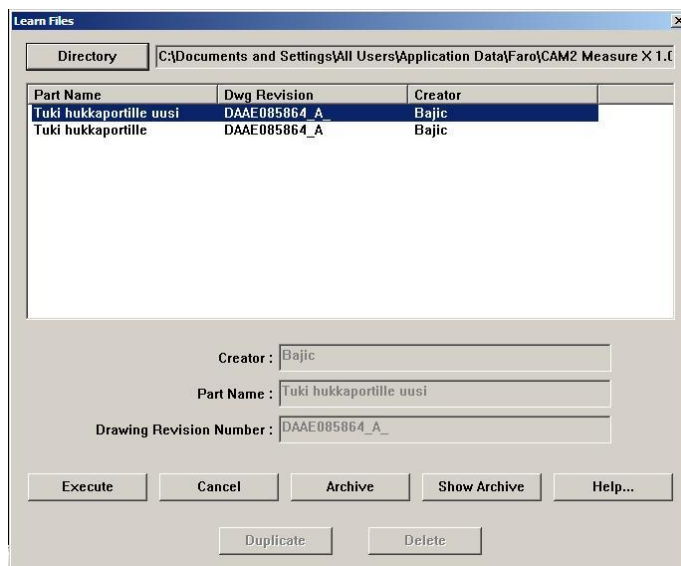
Ennen varsinaista mittausmittausta mittaja on tutustuttava mitattavan kappaleen piirustukseen sekä etusivuun, jonka jälkeen varsinaisen mittauksen voi aloittaa.

Mittaaminen ohjelmalla aloitetaan valitsemalla ohjelmiston valikosta File – Learn/Execute-Execute Only (**Kuva 31.**).



Kuva 31. Mittaus ohjelman avulla

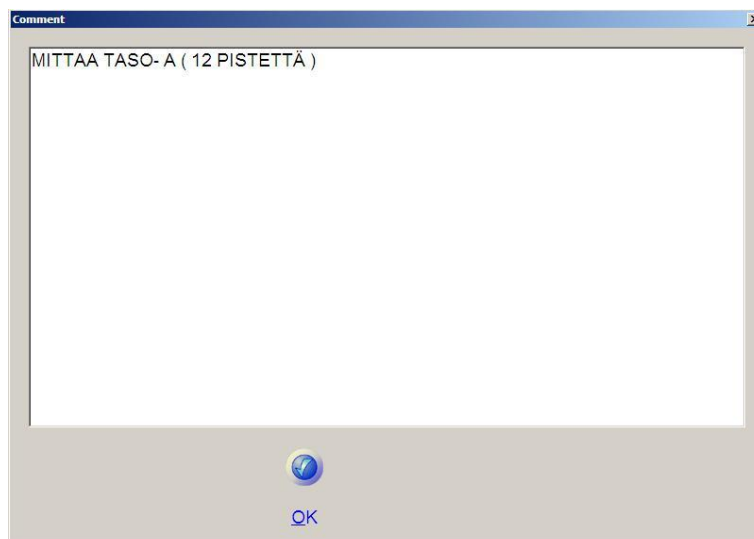
Tämän jälkeen ohjelma siirtyy uuteen ikkunaan, jossa sijaitsevat kaikki tallennetut ohjelmat.



Kuva 32. Ohjelman valitseminen

Ohjelma valitaan siirtämällä hiirtä haluttuun ohjelman nimeen, lopuksi painetaan Execute -painiketta, (**Kuva 32.**).

Tämän jälkeen ohjelma siirtyy CAM2 MeasureX -ohjelmiston puolelle, johon ilmestyvät mittausohjeet jokaiselle mitattavalle elementille, (**Kuva 33.**).



Kuva 33. Mittausohjeet ohjelman sisällä

Mittausohjeiden tarkoitus ohjelman sisällä on antaa mittaajalle mitattavien elementtien nimet oikeassa järjestyksessä sekä mittauspisteiden lukumäärän.

Etusivuilla kirjoitetut ohjeet tulisi palvella ainakin seuraavia asioita:

- Toimia mittausohjeena, josta mittaaja voi tarvittaessa tarkistaa unohtuneen tai epäselvän asian.
- Uusien mittaajien koulutusmateriaalin.
- Haluttaessa näyttää ulkopuoliselle arvioijalle tai asiakkaalle miten toimitaan.
- Ohje antaa perusteet mittausepävarmuuden määrittämiselle. /7/

Ohjelmointia on hyvä käyttää kun mitataan isoja määriä samoja kappaleita, koska se pienentää huomattavasti mittausaikaa. Ohjelman mittauksella voidaan varmistua myös tuloksien vertailukelpoisuudesta, koska kappaleesta mitataan samat piirteet samassa järjestyksessä ja yhtä monella pisteellä. Mittaamisen mittaushjelmi- en avulla voivat suorittaa myös henkilöt, jotka eivät osaa käyttää laitteen varsinaista ohjelmistoa.

10.3 Kappaleen kiinnittäminen mittauksen aikana

Mitattavat kappaleet pitää aina kiinnittää. Kiinnittäminen on oleellinen osa mitaamista ja vain matalat painavat kappaleet pysyvät paikallaan. Useissa NC- koneissa liikenopeudet ovat suuret, jolloin myös kiihdytykset ja jarrutukset ovat nopeita. Kappaleen liikkumisen estämiseksi paras konekonstruktio on sellainen, jossa kappaleita ei mittauksen aikana liikuteta (kiinteä pöytä).

Parhaat kiinnityspinnat ovat jäykät, muodoltaan virheettömät, toisiaan kohtisuorasti sijaitsevat tasot. Ne takaavat yksiselitteisen asennon ja paikan. Kiinnitys ei yleensä saa muuttaa kappaleen muotoa. Kiinnityksen tärkein ominaisuus on se, että kappale, ja siihen muodostettu koordinaatisto, pysyy paikallaan mittauskoneeseen nähden. /7/

10.4 Muutamia huomioita kiinnittämisestä

- Mekaanisessa kiinnittimessä kappaleen on pysyttävä muotoansa muuttamatta ja liikkumattomana niin kauan, että halutut kohdat on mitattu. Kiinnitin ei saa muuttaa kappaleen muotoa, esim. kiinnitysvoiman, oman massansa tai lämmön kautta.
- Kiinnitin tai kappale ei saa liikkua mittauksen aikana, sillä silloin koordinaatisto ja vastaavasti mittaustulokset siirtyvät.
- Paras kiinnitin on 3-2-1- tukipisteen kiinnitin. Tuki- ja kiinnitysvoimapinnat ovat vastakkaisuuntaisia ja kohdakkain. Silloin ei kohteessa tapahdu muodonmuutoksia.
- Kiinnitin ei saa joustaa eikä muuttaa muotoaan mittauksen aikana. Esim. sinitarra ja kaskipuoleinen teippi ovat alati muuttuvia. Joissain tapauksissa mittauksen suuntaan nähden, vähän vaikuttavat tai hitaat liikkeet voidaan sallia tarkkuuden kärsimättä.
- Kappaleiden mittavaihtelut eivät saa heikentää kiinnitystä.
- Kiinnitin ei saa tuhota tai vahingoittaa kappaletta, eikä mittauskonetta tai sen pöytää.
- Magneettikiinnittimet keräävät metallilastuja ja – muruja. Ne myös magneetoivat kappaleen ja mahdollisesti myös mittauspään ja aiheuttavat siksi ongelmia.
- Kiinnittimen tulee olla hoitamatta mittausta, ja sen tulee tarjota avoimet lähestymissuunnat. /7/

11 MITTAUSKONEEN SIIRTO MITTAUKSEN AIKANA

Nivelvarsimitauskonetta voidaan siirtää mittauksen aikana, jolloin suurienkin kappaleiden mittaus on mahdollista. Mittauskoneen siirto tapahtuu käyttämällä ns. referenssipisteitä. Nämä pisteet voivat olla esim. palloja, kartioita, reikiä tms. elementtejä, jotka paikoittavat pisteeseen esim. pallon keskipisteen, (**Kuva 34.**). Pisteitä pitää olla minimissään 3.

Koneen siirto tapahtuu mittaamalla ensimmäinen referenssipiste laitteen ensimmäisestä sijainnista. Tämän jälkeen ohjelmiston valikosta valitaan seuraavat kohdat; Device - > Move device position, jonka jälkeen ohjelma kysyy mitä elementtejä halutaan käyttää laitteen paikoittamiseen uudessa sijainnissa. Kun haluttu elementti on valittu, painetaan OK, jonka jälkeen laite voidaan siirtää uuteen sijaintiin. Kun laite on uudessa sijainnissa, painetaan OK, jonka jälkeen mitataan uusi referenssipiste. Kun referenssipisteet on mitattu, ohjelma laskee uuden sijainnin ja ilmoittaa siirrossa tapahtuneen virheen.

Tällä mittausominaisuudella voidaan mitata suuriakin kappaleita eli niitä kappaleita, joihin alkuperäinen mittausvarren pituus ei ylety. Tästä ominaisuudesta täytyy mainita myös se, että koneensiirtoa ei ole tarkoitus käyttää niissä kappaleissa joissa toleranssialue on liian pieni. Kappaleet, jotka voidaan mitata täällä menetelmällä voivat olla esim. lohkot, pumppukotelot, turbohyllyt, isot kannattimet, pitkät putket, erilaiset valukappaleet, joista voidaan mitata esim. reikien paikat, etäisyydet ja muut tarvittavat ei tiukasti toleroidut mitat.



Kuva 34. Magneettiset siirtokuulat

12 YHTEENVETO

Wärtsilän laatuosastolla on käytössä perinteisiä automaattiohjatulla 3D- koordinaattimittauskoneita (KMK), joilla mitataan millimetrin tuhansien osien tarkkuudella. Osastolla on käytössä myös 3D- nivelvarsikoordinaattimittauskone (NVKMK), jonka tarkkuus on 0,029 mm. Kaikille koordinaattimittauskoneille kalibroitimittaus suoritetaan vuosittain tai silloin kun on tarvetta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää 3D- nivelvarsimittauslaitteen ominaisuuksien hyödyntäminen konepajateknisissä mittauksissa. Työ suoritettiin olemassa olevien mittauskoneen FARO -ohjeiden mukaan sekä ohjelmiston CAM2 -MEASURE X mukana tulleiden ohjeiden perusteella. Tarkoituksena oli tutustua koneen käyttöön sekä ohjelmiston ominaisuuksiin, kuten putkien mittausoptioon, erilaisiin mittauksiin CAD- mallien avulla, ohjelmien luontiin ja muihin konepajateknisessä hyödyllisiin mittauksiin.

12.1 Mittakärkien kalibrointimahdollisuudet

Työn alussa tutustuttiin koneen käyttöön sekä mittakärkien kalibrointimahdollisuuksiin, jonka jälkeen siirryttiin mittausohjelmiston puolelle, jossa tutkittiin ohjelmiston ominaisuuksia ja sen käyttöä. Mittakärkien kalibrointi voidaan suorittaa kahdella eri tavalla, kalibrointikartion ja kalibrointikuulan avulla. Kalibroinnin jälkeen ohjelmisto ilmoittaa kuinka tarkasti kalibrointi onnistui ilmoittamalla 2σ (2 sigma) tarkkuutta, joka pitää olla laitteen yhdenpisteen toistotarkkuuden alle. Ohjelmisto ilmoittaa myös suurimman pisteen heitto kuudesta sadasta pisteestä (MAX ERROR). On huomioitavaa myös, että pidemmällä mittauskärjillä laitteiston tarkkuus huononee, koska mittausalue on isompi.

Osastolla oleville vakiomittauskärjille suosittelen käyttämään kartiokalibrointi tapaa, kalibrointikuulan avulla on suoritettava kun käytetään kärki- tai kosketusherkkiä mittauspäitä.

12.2 Nivelvarsimittauskoneen tarkkuudesta

NVKMK: lle suoritettiin mittauskykytesti MITUTOYO- porrasmittapalojen avulla. Samat mittaukset suoritettiin myös 3D- automaattiohjatulle koordinaattimittauskoneelle Leitz, joiden tuloksia verrattiin keskenään. Mittaustuloksien perusteella huomattiin, että molemmat koneet olivat valmistajan ilmoitettujen toleranssien sisällä, eikä suuria erotusmittoja koneiden välillä ole ollut.

Suurin NVKMK: n poikkeama oli etäisyysmatkalla 370 mm (360, 9889 mm), jonka poikkeama oli - 0,0111 mm. Tehtyjen erilaisten mittausten avulla voidaan todeta, että nivelvartisen mittauskyky on erittäin hyvä, koska mittausten poikkeamat ovat pysyneet koneen ilmoitetulla toleranssialueella, eikä suuria vaihteluväliä ole ollut. Tämä tarkoittaa sitä, että koneella voidaan mitata mittoja, joiden tarkkuus on 0,015 mm.

12.3 Putkien mittauksista

Työssä suoritettiin myös erilaisia putken mittauksia, joiden tuloksia verrattiin putkien piirustuksessa olevien koodien avulla. Tässä mittauksissa havaittiin kuinka helposti ja nopeasti voidaan mitata taivutettuja putkia, joiden mittaus on todella hankala suorittaa muilla mittausvälineillä.

Putkimittausten tarkastuksia suosittelen suorittamaan aina kun on mahdollista NVKMK, koska kiinteälle KMK: lle putkien mittaus ei sovellu.

12.4 Mittaamisesta ohjelmien ja 3D- mallien avulla

Nivelvarsimittakoneella selvitettiin myös kuinka voidaan luoda mittausohjelmia, jotka nopeuttaisivat mittausprosessia sekä säästäisivät kallista mittauskoneen aikaa. Mittaaminen mittausohjelmien avulla voivat suorittaa myös henkilöt, jotka eivät osaa käyttää laitteen varsinaista ohjelmistoa. Ohjelmointia on hyvä käyttää kun mitataan isoja määriä samoja kappaleita, koska se pienentää huomattavasti mittausaikaa.

Suosittelen ohjelmien käyttöä aina kun on mahdollista, varsinkin kun on isoja määriä samoja kappaleita, koska mittaaminen mittausohjelmien avulla on paljon nopeampaa ja luotettavampaa.

Mittaukset voidaan suorittaa 3D- mallien avulla joiden tuloksia voidaan verrata keskenään. Tämä mittaustapa vaatii mitattavasta kappaleesta 3D- mallin IGES- muodossa, jotta ohjelmisto pystyisi kääntämään omaksi FCM- muodoksi. Mittaaminen mallien avulla tapahtuu valitsemalla mallista tarvittavat nimelliselementit, joista luodaan nimelliskoordinaatisto. Mittaukset mallien avulla nopeuttavat myös mittausta, koska elementtien nimellismittat ovat jo valmiiksi mallissa, eikä niitä erikseen tarvitse syöttää. Mittausprosessi on visuaalisempi ja käyttöystävällisempi.

12.5 Koneen siirto mittauksen aikana

Selvitettiin myös kuinka nivelvarsimittauskoneita voidaan siirtää mittauksen aikana, jolloin suurtenkin kappaleiden mittaaminen onnistuisi. Mittauskoneen siirto tapahtuu käyttämällä ns. referenssipisteitä. Pisteitä pitää olla minimissään 3. Ne voivat olla esim. siirtokuulia, jotka kiinnitetään haluttuihin kohtiin. Ensimmäisenä mitataan ensimmäinen referenssipiste, jonka jälkeen ohjelmiston valikosta valitaan seuraavat kohdat. Varsinaisia harjoitusmittauksia tällä mittausmenetelmällä ei ole suoritettu, koska siirtokuulia eikä muita siihen vastaavia referenssipisteitä osastolla ole ollut.

Tätä mittaustapaa suosittelen käyttämään suurissa mutta ei kovin tarkkoissa mitattavissa kappaleissa, koska mittaustarkkuus kärsii siirron aikana. Tätä menetelmää voitaisiin käyttää, esim. pitkissä putkissa, kannattimissa, turbohyllyjen mittauksissa sekä muissa, kappaleissa joissa toleranssien alue ei ole liian pieni.

12.6 Johtopäätökset ja kehitysehdotukset

Tämä opinnäytetyö oli erittäin mielenkiintoinen suorittaa. Opinnäytetyön suorittamisen lisäksi sain selvitettyä itselleni aikaisemmin epäselvät asiat, ja itse nivelvarsimittauskoneen periaate on tullut tutuksi.

Aluksi työ tuntui aikataulultaan haastavaksi, koska työssä piti tutkia monta eri asiaa. Koneen käyttö ja ohjelmisto tuli tutuksi sekä opinnäytetyö onnistui aikataulun mukaisesti.

Yksi suurimmista kehittämisterveistä mittaukseen liittyen olisi mittaajien kouluttaminen. Nivelvarsimittakoneen käyttäjille tulisi hankkia kunnan koulutusta, jossa käsiteltäisiin sekä koneen peruskäyttöä että ohjelmiston ominaisuuksia.

Koneelle olisi tarvetta suunnitella oma mittauspiste, johon voitaisiin tuoda pienempiäkin kappaleita mitattavaksi. Ehdottaisin NVMK: lle vastaanottotarkastukseen omaa kivipöytää sekä isompi näyttö, jossa voitaisiin mittauksen aikana helpompi käsitellä esim. 3D- malleja. Isoja mitattavia kappaleita varten kone on siirrettävä paikasta toiseen, joka on painava ja hankala kantaa, joten koneelle suositellen siirrettävän pöydän, joka löytyy Faron varaosaluettelosta.

Ehdotan koneelle hankittavaksi myös adapteria, johon saadaan kiinnittää pidempiäkin mittakärkiä, joilla voidaan päästä syviin mittauskohtiin.

Wärtsilän vastaanottotarkastuksessa olisi paljon hyötyä nivelvarsimittauskoneelta, koska sillä pystyttäisiin mittaamaan paljon nopeammin ja luotettavammin ohjelmien avulla. Kappaleet, joita kannattaisi mitata NVKMK ovat mm. erikokoiset taivutetut putket, valukappaleet, kannattimet, turbohyllyt, moottorin lohkot, erikokoiset pesät, päätylaipat sekä muut moottorin osat, joiden toleranssi ei ole pienempi kuin 0,030 mm.

LÄHTEET

- /1/ Wärsilä Finland Oy:n yrityseshittely, päiuitetty 29.010.2010 [vii-
tattu 20.12.2010] Saatavilla www: muodossa <URL:
<http://www.wartsila.com/fi,aboutus,0,generalcontent,8F892BB2-A5A2-427E-8F4F-AD788F71927E,86351BC8-A7EA-49FE-A95B-0D2C2E18B041,,6900.htm>>.
- /2/ Wärsilä Finland Oy: yrityseshittely, päiuitetty 19.11.2010 [viitattu
20.12.2010] Saatavilla www:muodossa <URL:
<http://www.wartsila.com/fi,aboutus,0,generalcontent,82D75A45-C1A3-482B-B8A5-DE1388174DF5,16E42426-A0FC-424A-BB27-3FCB41BCE648,,6900.htm> >.
- /3/ Wärsilä Finland Oy:n yrityseshittely. Saatavilla www: muodossa
<URL: <http://www.wartsila.com/fi,fi,aboutus,,,,,htm>>.
- /4/ DI-työ Ari Reutsalo_58211S, Teknillinen Korkeakoulu
Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta
Koneenrakennustekniikan laitos, Espoo.
- /5/ Platinum technical sheet. Julkaistu: “www.faro.com” 11.6.2008,
[viitattu 20.12.2010].
- /6/ Andersson Paul, Tikka Heikki 1997. Mittaus- ja laatutekniikat.
Porvoo. WSOY
- /7/ Tikka Heikki 2007, Koordinaattimittaus. Tampere. Juvenes Print.

LIITELUETTELO

LIITE 1. Mittausohjelmien etusivutiedot

LIITE 2. Porrasmittapalojen mittaustulokset Faro

LIITE 3. Porrasmittapalojen mittaustulokset Leitz