

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука

Миљан М. Ашанин

**Мерење радног комада на координатној
мерној машини**
Завршни рад

Крагујевац, 2015.

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Информатика у инжењерству

Предмет: Мерење и управљање

Број индекса: 208/2009

Миљан М. Ашанин

**Мерење радног комада на координатној
мерној машини
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Петар Тодоровић – ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да објасни методе мерења радног комада сложене геометрије са координатном мерном машином, уз помоћ софтвера за мерење. Потребно је објаснити принцип рада координатних мерних машина, објаснити на који начин се извршава мерење, као и реализовати мерење радног комада и анализу резултата мерења.

Препоручена структура рада:

1. Увод
2. Координатне мерне машине
3. Мерење дела на координатној мерној машини
4. Резултати мерења
5. Закључак
6. Литература

Препоручена литература:

- [1] Мајсторовић В., Ходолич Ј. "Нумерички управљане мерне машине", Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, 1998, Нови Сад
- [2] Јешић Д., Мерна техника, Машински факултет Бања Лука, 2004, ИСБН 99938-39-06-Х
- [3] Заимовић Н. -Узуновић, Мјеритељска инфраструктура, Машински факултет у Зеници 2003, ИСБН 9958-617-16-1
- [4] Beckwith T., R.D. Marangoni: Mechanical Measurements, AdisonWesley, ISBN 0-201-56947-7

У Крагујевцу, 10. 07. 2015. године

ментор:
Проф. др Петар Тодоровић

Изјава о самосталној изради рада

Изјављујем да сам овај завршни рад урадио самостално, служећи се стеченим знањем и искуством, као и наведеном литературом.

Број индекса Име и презиме

208/2009 Миљан Ашанин

Резиме

У раду је објашњен развој координатних мерних машина, описани су основни делови координатне мерне машине, као и њена калибрација и поступак упаривања са другом координатном мерном машином ради постизања ефикаснијег мерења. Такође описан је комплетан поступак мерења радног комада на координатној мерној машини, поравнања координатних система координатне мерне машине и радног комада преко софтвера за мерење *PC DMIS*, као и анализа резултата мерења.

Кључне речи: Координатне мерне машине, поравнање, *PC DMIS*

Abstract

This work explains the development of coordinate measuring machines, here are described the basic components of the coordinate measuring machines, as well as its calibration and coupling with a second coordinate measuring machine in order to achieve a more efficient measurement. Also it is described a complete process of measuring the workpiece on the coordinate measuring machine, alignment the coordinate system of the coordinate measuring machine and workpiece via *PC DMIS* software, and analysis of measurement results.

Keywords: Coordinate measuring machine, alignment, *PC DMIS*

Садржај

1. УВОД.....	7
1.1. Развој нумеричких управљаних мерних машина	7
1.2. Етапе развоја НУММ	8
2. НУММ – КООРДИНАТНЕ МЕРНЕ МАШИНЕ	10
2.1. Принципи нумеричких мерних машина – координатна метрологија	10
2.2. Координатне мерне машине	14
2.3. Типови координатних мерних машина	15
2.4. Вођице, погон, лежајеви	17
2.5. Мерни пипци.....	17
2.6. Софтвер за КММ	20
2.7. Поступак мерења	22
2.8. Мерење тачка по тачка.....	23
2.9. Елементарни геометријски облици.....	23
2.10. Мерни резултати.....	24
3. КООРДИНАТНА МЕРНА МАШИНА „ZEISS PRO SELECT”	25
4. КАЛИБРАЦИЈА И УПАРИВАЊЕ „ZEISS PRO SELECT” КММ	29
4.1. Калибрација Zeiss Pro Select координатне мерне машине.....	29
4.2. Упаривање (<i>Coupling</i>) Zeiss Pro Select координатних мерних машина.....	35
5. МЕРЕЊЕ РАДНОГ КОМАДА ПРЕКО СОФТВЕРА <i>PC DMIS</i>	38
5.1. <i>PC DMIS</i>	38
5.2. <i>Online</i> i <i>offline</i> режим рада	40
5.3. Креирање новог програма у <i>PC DMIS</i> -у.....	40
5.4. Креирање поравнања - <i>alignment</i>	42
5.5. Креирање поравнања контролника у <i>PC DMIS</i> -у	44
5.6. Креирање поравнања радног комада у <i>PC DMIS</i> -у	49
5.7. Резултати мерења радног комада.....	55
6. ЗАКЉУЧАК.....	60
7. ЛИТЕРАТУРА.....	61

1. УВОД

Место и улога мерења и инспекције се мењала сагласно развоју и увођењу нових технологија у технолошке системе. На почетку индустријског развоја, задатак производње, односно контроле био је да се обезбеди функција производа, уз високе толеранције саставних делова. Након тога, успостављањем концепта серијске производње уведен је принцип заменљивости делова, при чему је контрола добила нову улогу (серијност и повећање тачности). Најзад, развојем и увођењем нових обрадних система (трансфер линије, НУМА -нумерички управљаних машина алатки), повећана је тачност, комплексност и флексибилност обрађених делова. Улога контроле је овде била не само да идентификује геометријску тачност обрађеног дела већ и параметре за управљање обрадним процесом (подешавање алата, параметри режима резања -храпавост обрађене површине, и слично). Број параметара обраде и квалитета који улази у међусобну корелацију се повећава.

1.1. Развој нумеричких управљаних мерних машина

Развој НУМА, односно сложенијих технолошких структура на бази ових система је успоставио и нове концепте и правила за мерење и инспекцију. Повећање комплексности и флексибиности, уз све оштрије захтеве у смислу тачности данас се огледају у развоју и примени концепта управљања квалитетом конформности у реалном времену.

Нове тенденције у технолошким системима у погледу обрадних процеса, поставиле су и нове захтеве пред мерну технику. Примена конвенционалних метролошких система и процедура које их подржавају, постала је ограничавајући фактор у смислу флексибиности и тачности мерења. Посебан проблем је био метролошка идентификација комплексних метролошких задатака, као што су, на пример, толеранције облика и положаја код кутијастих делова или делова са површинама слободног облика). Код ових примера, поред метролошке идентификације облика, проблем је и повезивање метролошких база, што има директан утицај на тачност добијених резултата.

Посебан допринос истраживању и развоју НУММ су имала два догађаја. Први је, отпочињање индустријске производње крајем шездесетих година, мерних система на бази електронике за дужине и углове, а други, развој рачунарске технологије. На овај начин су остварени технолошки скокови и у овој области, отпочињењем развоја НУММ.

Данас, две и по деценије од њиховог настанка, за НУММ можемо рећи да је период њихове инкубације у индустрију завршен, а отпочео процес њихове интензивне дифузије.

1.2. Етапе развоја НУММ

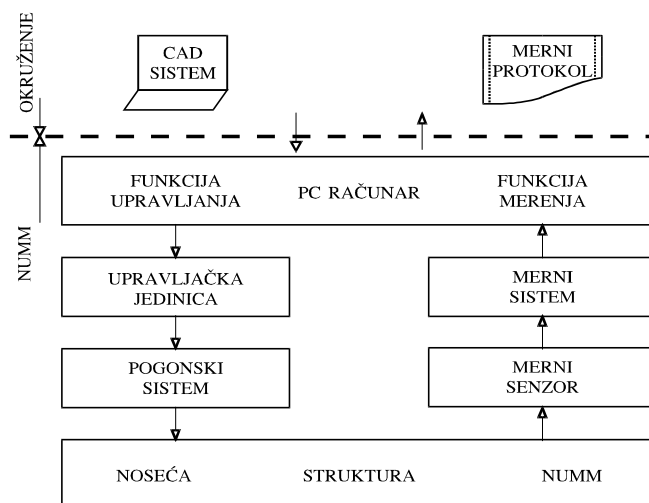
НУММ представља комплексне инжењерске производе, који имају сложену хардверску и софтверску структуру. Посматрајући их као целину, од њиховог настанка до сада, могу се дефинисати четири технолошка нивоа.

Мерне машине са дигиталним показивачем позиције за сваку осу и ручним манипулисањем - кретањем мерног сензора, представљају први технолошки ниво. Основна карактеристика примене овог технолошког нивоа је мерење релативно комплексних делова у једном координатном систему мерења, уз ручну манипулацију целим процесом. Дигиталним показивачима позиције одређиване су линијске карактеристике квалитета (одступање дужина).

Друга генерација мерних машина представља први технолошки ниво проширен са минималном хардверском подршком. Уводи се мерни процесор, помоћу кога се читавају положаји покретних елемената мерних машина и врши основна обрада мерних резултата. На овај начин је повећана тачност и продуктивност добијања мерног протокола.

Следећи, трећи генерацијски скок у овој технологији је био увођење погонских система за степене слободе носеће структуре. Управљачком јединицом је извршено управљање радом мерних машина, на нивоу аутоматизације мерења и добијања мерног протокола. На овом технолошком нивоу је коришћена аутономна софтверска подршка коју су развили сви произвођачи мерних машина независно, углавном на бази хардверске логике. Основни принцип овог софтвера је успостављање везе између дефинисаних основних геометријских облика и различитих метролошких задатака за исте те облике. При томе, оператору стоји на располагању скуп хардверских и софтверских функција за решавање различитих метролошких операција.

Најзад, најновију генерацију мерних машина представљају *CNC* мерне машине на бази дистрибуираног управљања. Својом хардверском и софтверском структуром оне представљају флексибилне метролошке модуле, који омогућавају формирање сложених технолошких и/или метролошких структура. Аутоматизација мерења, манипулација мерним сензорима, мерним предметима, добијање различитих мерних протокола, повезивање са софтвером по хоризонтали и вертикали (*CAD-CAM-CAI*), врши се на бази софтверске подршке. Код ових система могу се идентификовати следећи саставни елементи: (1) носећа структура, (2) погонски системи, (3) мерни систем, (4) мерни сензор, (5) рачунарски систем, и (6) софтверска подршка.



Слика 1: Структура CNC MM [1]

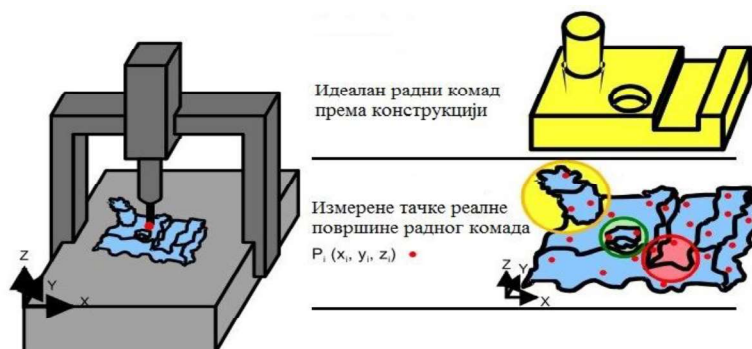
Паралелно са развојем НУММ-а, развијен је и софтвер за њихову подршку. При томе се уочавају два приступа: (1) сви произвођачи НУММ развијали су аутономну софтверску подршку на бази основних мерних принципа. Основна карактеристика овог приступа су аутономни софтвер производи оријентисани произвођачу мерних машина, односно управљачкој јединици која је подржава, и (2) софтвер опште намене, за ручно или машинско програмирање CNC мерних машина.

2. НУМЕРИЧКИ УПРАВЉАНЕ МЕРНЕ МАШИНЕ – КООРДИНАТНЕ МЕРНЕ МАШИНЕ

Са порастом сложености облика производа, геометрија производа постаје све компликованија за мерење и контролу. Због тога је потребно примењивати у контроли и мерењу таква мерна средства која су прецизна, брзо извршавају велики број операција мерења, а при том је њихова примена економски оправдана. Нумерички управљане мерне машине су таква мерна средства која су изузетно флексибилна и ефикасна у контроли геометријских карактеристика радног комада.

2.1. Принципи нумеричких мерних машина – координатна метрологија

Карактеристике на којима се базира поступак за координатну метрологију су идеализирана геометрија радног комада са свим особинама које тај комад поседује. Карактеристика процедуре је и математички опис појединих тачака на површинама у назначеном подручју, које су најважније за радне операције које се изводе на радном комаду.



Слика 2: Геометрија радног комада [5]

Регистровање тачака, површине радног комада, може се остварити на различите начине. Основно је да сва средства која користе принципе координатне метрологије бележе стварну геометрију радног комада и одређују одступања у односу на идеалну - жељену геометрију. Поступак се остварује коришћењем координатних мерних машина које се зову и скраћено *CMM* (*Coordinate measuring machines*).

У принципу, свака координатна мерна машина је мерно средство које мери све три димензије радног комада. У комбинацији са одговарајућим софтвером, помоћу координатних мерних машина могу се добити различите информације о производу као што су геометријске карактеристике призматичних, ротационо-симетричних и ротационесиметричних радних комада. Координатне мерне машине су основни представник координатних мерних средстава која се користе за мерење (описивање) 3Д радног комада.

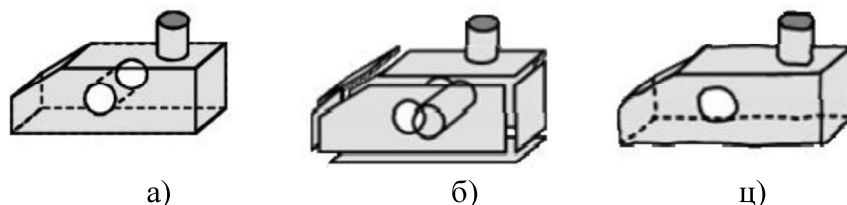
Термини који се користе у координатној метрологији:

Најчешћа функција индустријске метрологије, без обзира којим се средствима мерења користила, јесте одређивање одступања стварног радног комада од дизајнираног. Одступања се јављају у погледу димензионалних карактеристика, облика и положаја. Облик радног комада може се описати његовим елементима и просторним положајем једних делова у односу на друге. Када је у питању радни комад користе се следећи термини.

Специфицирана односно захтевана геометрија дефинише идеални облик комада. Такав облик се представља дизајном производа и тежи направити у производњи. Производњом се не добије комад жељених димензија и облика што је последица деловања различитих утицаја.

Добије се комад који има актуелну геометрију која је последица свих утицаја који су се јавили од дизајна до израде комада. Разлика стварне-актуелне геометрије и жељене геометрије представља девијацију која је трећа карактеристика елемента.

За време мерења, стварна геометрија се описује стварним, појединачним тачкама које леже на површини радног комада. Могу се евентуално увести апроксимације реалне геометрије тако што ће се занемарити неке карактеристике као што су избочине или неправилности радног комада. Мерење радног комада само је слика реалног комада који се описује у математичком облику.



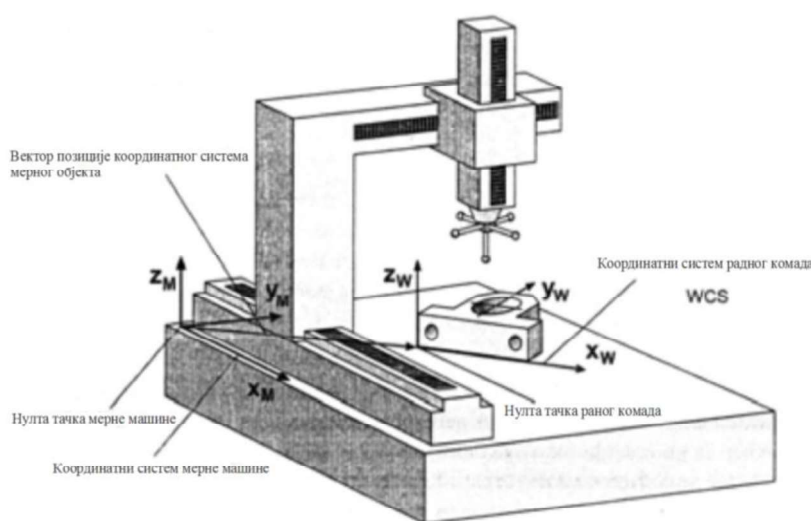
Слика 3: Одступање реалног комада од жељеног [1]

- а) Комад какав је дизајниран – Специфична геометрија
- б) Комад у производњи – Актуелна геометрија
- ц) Комад након производње – Комад се разликује од дизајнираног

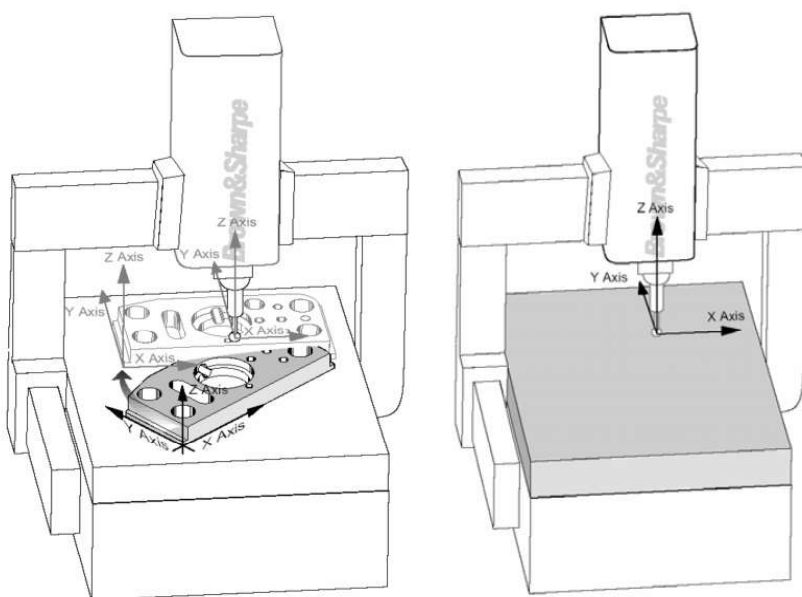
Геометрија радног комада може бити идеална односно жељена и стварна односно реална. Идеална геометрија одликује се жељеним димензијама, положајем и обликом. Ова геометрија, како јој име каже, постоји само у документацији и она је циљ производног процеса. Произвести објекат који је што ближе димензијама, обликом и положајем комаду који се израђује јесте циљ сваке добре производње. Међутим то је немогуће, па се у процесу израде комада добије реална геометрија која има одступања у односу на идеалну. Одступања се огледају у одступању димензија, положаја и облика. Реална геометрија се опет може посматрати као макро и микро геометрија. Под макро геометријом се подразумевају стварне димензије, стварни облик и стварни положај комада. Микро геометрија обухвата валовитост и храпавост површина комада.

Облик елемената и геометрија радног комада су дефинисани особинама и атрибутима. На слици (3) објашњена је идеална геометрија елемената на примеру бушења рупе. У том случају карактеристика је геометријски елемент и то цилиндар. Математички опис цилиндра даје геометријске параметаре са карактеристикама, димензијама и обликом.

Да би се могло судити о одступањима облика елемената врши се стално поређење обе геометрије. И специфицирана и актуелна геометрија су дефинисане геометријски еквивалентним елементом. Еквивалентни елемент је описан једначинама чији се параметри рачунају за дискретне вредности мерења и пореде са параметрима специфичне геометрије. Поређење се извршава нумерички. Компензациони цилиндар који се рачуна на основу мерних тачака се узима као компензациони елемент чији параметри одређују стварну геометрију избушене рупе.



Слика 4: Геометријски елемент и његове особине [3]



Слика 5: Референтни координатни систем и координатни систем елемента [3]

Примери на слици (5) показују како се рачуна компензациони цилиндар, димензионално одступање пречника и одступање појединих мерних тачака које описују цилиндар тј. облик који одступа од идеалног.

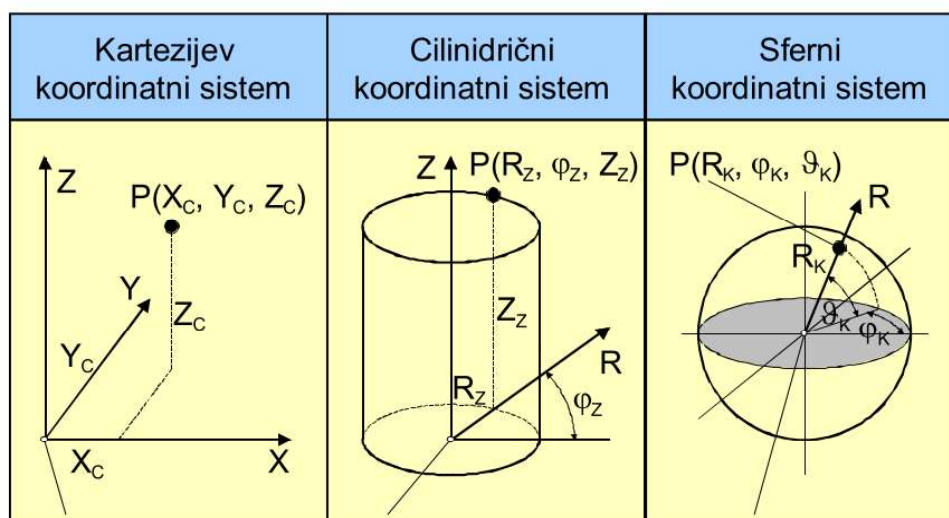
Претходно описано мерење не даје никакву информацију о положају цилиндра тј. положају отвора на радном комаду. Мора се дефинисати и референтни систем у односу на кога се одређују елементи као што је био наведени цилиндар.

У принципу постоје различити координатни системи као што су Картезијев, цилиндрични и сферни приказани на слици (6) који се користе као референтни. За елемент се користи референтни систем елемента. Референтни систем се постави и у односу на њега се врши мерење. Референтни систем радног комада чине три равни.

Координатни мерни систем мерног средства је Картезијев координатни систем. Координатни систем радног комада усклађен је и са координатним системом који се користи за нумеричке анализе. Из досад изложеног може се закључити да координатна метрологија служи за мерење геометријског одступања. Користећи координатну метрологију могу се добити облик, пропорције и неправилности у изради комада. Координатном метрологијом могу се добити и макрогеометријске карактеристике као што су димензије и положај. Неправилности првог и другог реда према ДИН 4760 могу се мерити помоћу КММ. Могућности координатне метрологије зависе највише од система мерних сензора (мерних пипака).

Координатни систем мерне машине се дефинише преко координатног система мерног стола, који представља референтни координатни систем, и његове вредности представљају мерне опсеге оса мерне машине. Мерни предмет има два координатна система: поравнања и мерења. Први од њих, врши успостављање везе између координатног система мерне машине и мерног предмета.

Други координатни систем мерног предмета, даје везе између метролошких задатака на њему и других координатних система (машине и мерног пипка). Координатни систем мерног пипка, успоставља везу између генерисане координате основног геометријског облика, метролошког задатка и осталих координатних система машине и мерног предмета.



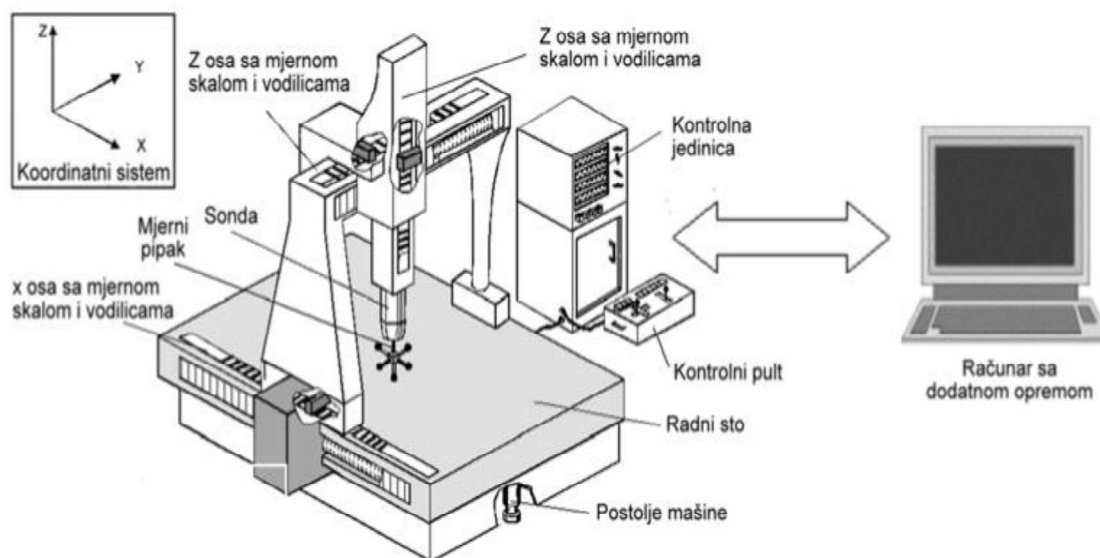
Слика 6: Координатни системи који се користе у координатној метрологији [1]

2.2. Координатне мерне машине

Координатне мерне машине су моћни мерни системи. Данас се много користе у производним погонима великих, али и малих производних предузећа. Мерно средство помоћу кога се врши мерење координата у простору на површинама радног комада зове се координатна мерна машина (КММ). Помоћу ње је могуће симултано мерење координата трака истовремено у сва три правца. Координатна мерна машина користи Картезијев координатни систем.

Уобичајна конструкција машине састоји се од три међусобно повезане вођице-осе означене са X , Y , Z , (слика 7). Осе Y и Z зову се рам. Обично рам носи систем сонди којим се врши мерење и који садржи сензоре. Машина је постављена на постоље на коме је и погон машине. Прихватање радног комада врши се на плочи координатне мерне машине. Свака вођица има свој погон и систем за читавање.

Координатна мерна машина има ормарић у коме је смештена управљачка и прилагодна електроника. На њему постоји и показивач и управљачки пулт са којег се координира радом машине. Рам носи на себи носач са мерном сондом која може имати један или више додиривача.



Слика 7: Делови координатне мерне машине [1]

2.3. Типови координатних машина

Координатне мерне машине могу се поделити на:

- машине којима се ручно ради како са осама тако и на комадима,
- машине са моторизованим погоном оса-вођица, а ручном манипулацијом са комадима,
- машине са моторизованим погоном оса и рачунарски контролисаним операцијама (CNC мод).

Постоје и друге комбинације али се све може свести на ове три основне. Свака конструкција координатне мерне машине састоји се од механичких склопова, погона, система за мерење дужина и система проба, контролне и извршне конзоле и рачунара са периферним средствима за излаз резултата мерења. Зависно од типа машине постоје друга додатна средства као што су мобилни или ротирајући столови, механизми сонди, температурни сензори и механизми за причвршћење. На слици (8) приказани су основни типови координатних мерних машина.

Универзални типови координатних мерних машина су:

- Стубни тип,
- Конзолни тип,
- Портални тип,
- Мостни тип.



Слика 8: Типови координатних мерних машина [2]

Развијен је и посебан тип у кинематском смислу сличан роботу. Овакве координатне машине имају високо прилагодљив дизајн и два система мерења. Један је систем мерења углова, а други су 3Д мерне сонде. Овакве мерне машине имају једноставне операције и мале димензије. Користе се за контролу димензија у производним погонима, на линијама за контролу облика, положаја и димензија комада код којих одступања спадају у мала и средња.

Стубни тип

Намењен је за мерење радних комада димензија које не прелазе 0.25 м^3 . Тачност стубних координатних машина је висока, јер се кроз крутост и подешавање оса може постићи мала мерна несигурност од $1 \mu\text{м}$. Подручје примене је у провери контролних алата и призматичних комада и комада облика вратила.

Портални тип

Један од чешће коришћених типова који покрива највећи број димензионално различитих комада који се мере у производној метрологији. Типични представник ове групе машина има могућност да мери запремину од 1 до 2 м^3 . Карактеристика овог типа је и велика крутост конструкције.

Постоје две варијанте:

- носач мерне сонде је мобилан склоп, а радни комад је фиксиран на мерној плочи,
- мерна плоча је мобилна а радни комад се за њу фиксира, док је носач непокретан и везан са основном структуром координатне мерне машине.

Подручје примене мерних машина порталног типа је за мерење радних комада и малих и средњих склопова машина и средстава у конструкцији возила.

Конструкција са покретним мостом

Намењена је за мерење великих објеката. Координатна мерна машина може мерити у простору објекте димензија $16 \times 6 \times 4 \text{ м}^3$. Намењена је пре свега за мерење дугих возила и објеката као што су велики алати за обликовање, авионске конструкције и компоненте турбо машина. Свака конструкција носи фиксни и мобилни механички део. Средство које се користи као основа-база за мерење мора имати значајну крутост, осетљивост на вибрације и могућност да их минимизира што се постиже вибрационо изолационим лежајевима.

За делове координатне мерне машине користи се тврди камен-гранит, челик или челични лив. Сто машине је направљен од гранита. Гранит је тврђи, јефтинији и лакши, а има и нижи температурни коефицијент ширења у односу на челик, па су мање промене дужина. Због слабе проводљивости адаптивност склопа КММ на промене температуре је добра тако да нема ни деформација које су последица температуре. Да би се избегли утицаји краткотрајног деловања температуре на мерно средство гранит се може заменити са алуминијумом. Са променом температуре алуминијум мења своје димензије много више него камен, али због велике проводљивости деформације су му врло мале. Други материјали који се користе у координатној метрологији су керамике јер имају нижи температурни коефицијент ширења као и композитни материјали чија је тежина мала, а висока стабилност.

Све што координатна мерна машина има више компоненти, она има и већу мерну несигурност. Свака компонента са собом носи и додатну мерну несигурност као што су вођице, лежајеви, погон мерног система и система сензора, итд.

КММ купују мала и средња предузећа, али и велике компаније. У средњим предузећима која имају флексибилну производњу у развоју и испитивању производа користе се координатне мерне машине. Оне се употребљавају не само за контролу резаних него и другим технологијама израђених комада. Треба поменути да је све више пластичних делова и производа од пластике. Мала и средња предузећа производе компоненте као што су одливци, алати за ињекционо бризгање, електричне компоненте, танки метални делови, кућиста, електроде и друге производе. Координатне мерне машине могу се користити и у пријемном одељењу.

2.4. Вођице, погон, лежајеви

Компоненте механичке тачности мерних средстава су равност и окомитост вођица којима се означавају правци кретања мерног средства или референтног координатног система. За израду вођица се користе гранит или челик. Ваздушни лежајеви се користе када су вођице израђене од камена или керамике. Вођице од керамике имају велику крутост, задовољавајуће термичке карактеристике, отпорност на корозију, високу отпорност на хабање. Антифрикцијски лежајеви се користе у случајевима када су вођице израђене од челика. Антифрикцијски лежајеви могу носити велика оптерећења, а да се истовремено постигне и висока тачност мерења.

Сви типови машина се покрећу погонима са електричним серво моторима. Контрола мотора врши се преко оперативног система путем контроле рада КММ или кроз контролне програме који се извршавају у рачунару мерне машине. Постоје различити преноси од погона до мобилног склопа као што су завојнице, зупчаници, фрикциони пренос и сл. Избор система преноса КММ зависи од цене и техничко-технолошких захтева као што су: крутост, динамичко понашање, хабање, толеранције итд.

2.5. Мерни пипци

ISO стандардима који се односе на координатну метрологију дефинисан је термин који се користи за сензор путем којег се остварује веза између површине мереног комада и мерног система за дужину. Користимо термин **мерни пипак** што значи део који опипава радни комад. Мерни пипци који се користе на координатним мерним машинама могу се поделити на:

- Оптичке и
- Механичке.

Механички мерни пипци имају:

- Систем прекидача,
- Мерни систем.

Механички прекидачи могу бити:

- Електромеханички и
- Електроакустични.

Мерни системи механичких мерних пипака могу бити:

- Индуктивни,
- Капацитивни или,
- Пиезоелектрични.

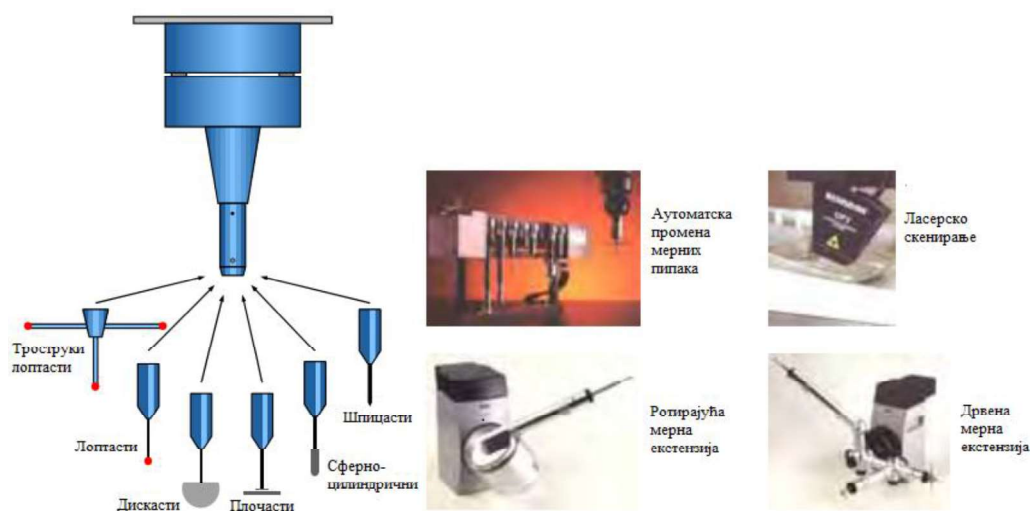
Оптички мерни пипци имају:

- Оптичке сензоре прекидаче,
- Оптички мерни систем и
- Окулар.

Оптички сензори прекидачи су фотоелектрични сензори. Оптички мерни систем може бити:

- CCD (*charge coupled device*),
- Ласер трокутни сензор,
- Теодолит трокутни сензор,
- Фотограметријско стварање слика.

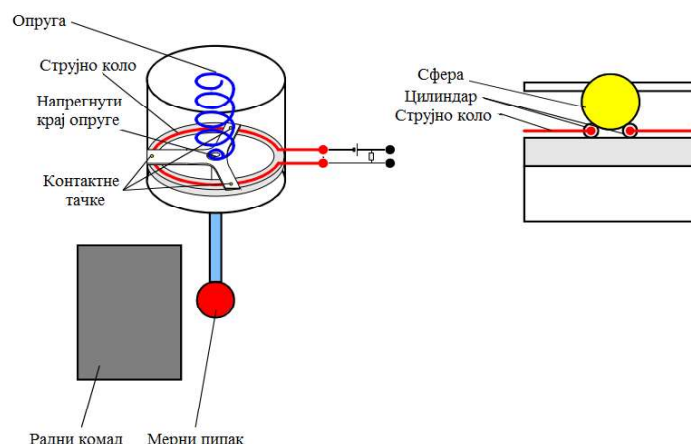
Многи мерни системи који се данас користе раде са механичким мерним пипцима. Код механичких мерних пипака остварује се физички додир завршетка мерног пипка са радним комадом. Мерни пипак може имати различите облике завршетка као нпр: лоптасти цилиндрични, конични, дискасти, шпицасти итд (слика 9).



Слика 9: Различити завршеци мерних пипака [4]

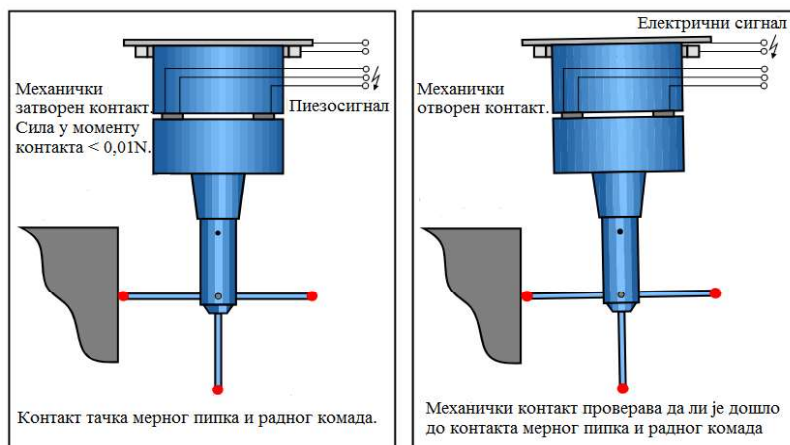
Механички систем мерног пипка често има лоптасти завршетак. Лоптасти завршетак израђује се од рубина, стакла, челика, има високу отпорност на хабање, а њихови пречници и просторни положај могу се прецизно калибрисати. Механички-контактни мерни пипци спадају у додирне прекидно мерне системе (слика 10).

Прекидно додирни мерни пипак



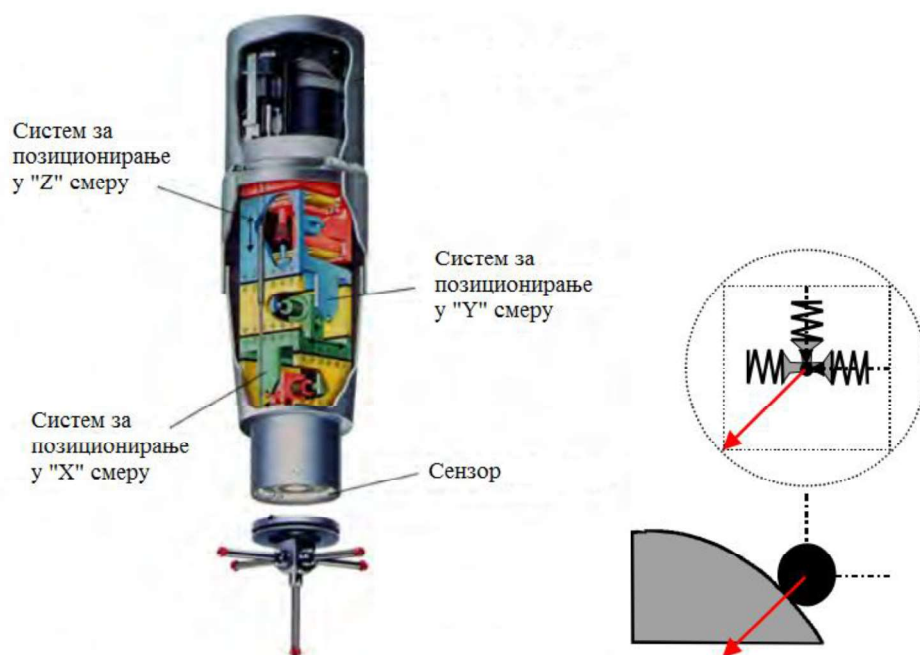
Слика 10: Принцип рада прекидача са контактом [4]

Уобичајни прекидач, (слика 10) има преднапрегнут систем који се састоји од три додирне тачке помоћу којих је перо мерног пипка еластично причвршћено у правцу шест просторно могућих степени слободе. Једноставна верзија прекидача има механизам који је конструисан као електрични контакт. Одмах након што перо додирне радни комад, електрични контакт се отвори и мерење размака дуж оса x , y , z и b је препознато и забележено. Овакви мерни пипци имају координатне машине са ниском тачношћу. То је због тога што враћање пера мерног пипка у првобитни положај није равномерно јер су три тачке распоређене под углом од 120° , па долази до различитих степени савијања пера. Због тога се користе пиезоелектрични сензори као додатак механичко електричним контактима. Ово не мења осетљивост нити у једном правцу рада али је изложено мањој сили притиска при контакту, а то опет смањује грешку. Главни део мерног пипка је перо које може бити дуго и до 200 мм и тешко до 200 грама. Перо се може мењати. Електроничка анализа пиезо сигнала омогућава повећану тачност мерења. Подаци се скупљају не само у току додира радног комада и површине него и непосредно након тога. Механички контакт има улогу да потврди да је дошло до контакта мерног пипка и радног комада (слика 10).



Слика 10: Механички контакт мерног пипка и мереног комада [4]

Да би се мерење убрзало може се више мерних пипака монтирати на један носач па да тако мере у више праваца истовремено. На слици 11, дат је пресек једног мерног пипка са илустрацијом контакта.



Слика 11: Пресек мерног пипка и начин остваривања контакта [5]

2.6. Софтвер за КММ

Софтвер који се користи за рад КММ је универзални и покрива све стандардне функције КММ. Уколико је потребно мерити неки призматични део основном софтверу се додају специјалне функције. Сваки стандардни софтвер укључује:

- Статистику и процесну контролу,
- Мерење дво и тродимензионалних кривих линија,
- Мерење површина произвољног облика,
- Мерење базирано на карактеристикама производа,
- Интеграција и процесирање *CAD* података,
- Мерење зупчаника,
- Мерење цеви.

Интегрирање *CAD* података

Програмирање КММ, ако се изводи без *CAD* модела, је јако сложен посао. Многи кораци у програму требају се дефинисати и унети. Уводи се тзв. самопрограмирање што спада у домен интелигентних система и то је поступак којим се смањује процедура. За мерење радног комада на почетку које се изводи прво треба одредити карактеристике машине. Све релевантне информације смештају се у базу података у облику мерног програма.

Овај метод не може се једноставно прилагодити производњи, јер се производне машине не могу програмирати за време производног процеса нити у фази планирања. *CAD* системи су постали интегрални део дизајна производа, па је логично да све што се даје у *CAD*-у може користити и у метрологији.

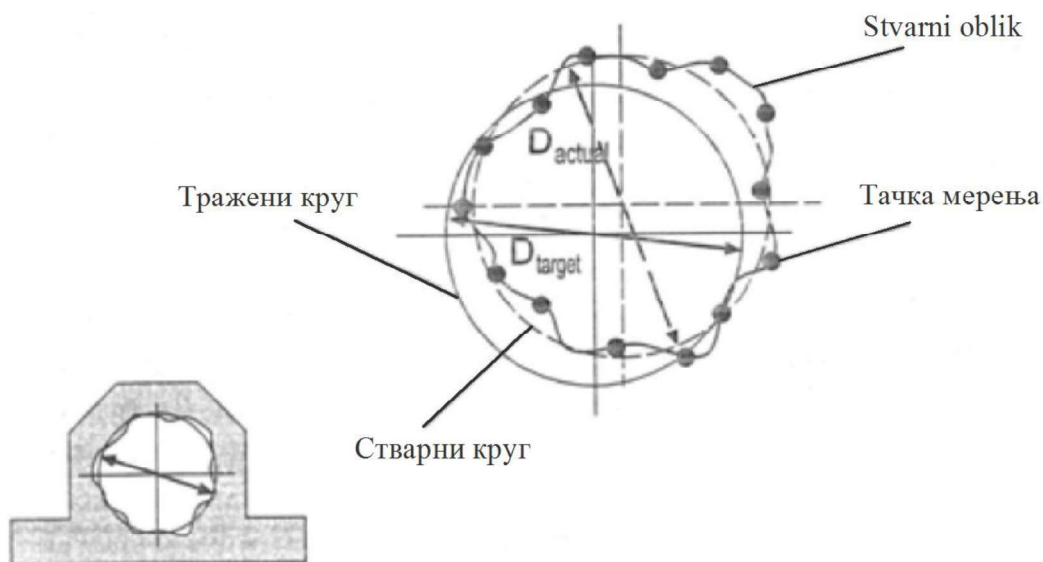
Подаци за производ у раној фази дизајнирања не садрже довољно геометријских карактеристика производа као што су нпр. толеранције. На почетку дизајнирања производа није могуће размењивати податке. Зато треба доста података да би се *CAD* систем интегрисао у КММ као последња фаза у производном ланцу. Даљи развој КММ ићи ће у правцу интеграције података током целог процеса.

То би се одвијало на следећи начин:

- Подаци се шаљу са конвенционалних *CAD* система као што су *CATIA*, *UNIGRAPHICS*, *CADDS*, *I-DEAS* или *PROEngineer* и читају на координатној мерној машини или рачунару који планира посао или поступак провере у неком од формата *IGES*, *VDA* или *STEP*.
- Рачунар тада прорачунава податке и генерише мерне програме у чему су укључени зумирање, ротација, селекција, помицање и сл. Процес се лакше одвија уколико је обезбеђена визуализација.
- Мерење са врши на основу података похрањених у *CAD* бази. Подаци су углавном толеранције и информације о производњи. Многи радни кораци извршавају се само на основу минималног броја података улаза.
- Завршавање мерног програма рачунарски контролираног мерења извршава се на КММ.
- Подаци о мерењу се након тога поново враћају у производњу или уколико треба у *CAD*, да би се нешто кориговало па се на тај начин грешка аутоматски отклања. Један од начина је контрола затвореном спрегом у производном процесу. Састоји се од поновног подешавања параметара машине.

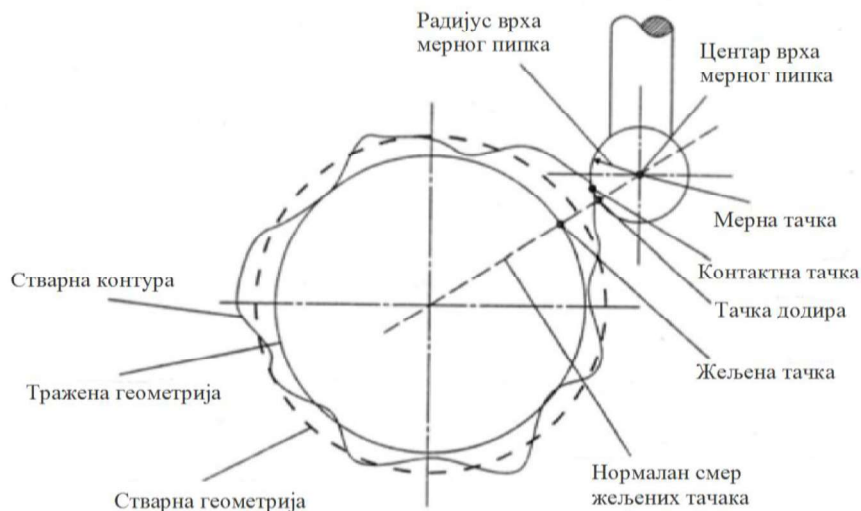
2.7. Поступак мерења

Мерење је одређивање положаја мерене тачке (слика 12). На рачунање вектора мерне тачке утичу вектор положаја врха мерног пипка којим се додирују тачке на површини мереног комада, затим вектор сигнала и преносна матрица. Положај мерне тачке директно је завистан од вектора положаја и деформације врха мерног пипка.



Слика 12: Мерење пречника отвора [2]

Приликом мерења мерни пипак додирује радни комад у свакој тачки. На слици 13 приказан је додир мерног пипка и стварне површине радног комада у једној и у више тачака.



Слика 13: Положај мерног пипка на мереној површини [3]

2.8. Мерење "тачка по тачка"

Мерење “тачка по тачка” представља брзо и идеално решење за мерење обележја којима је неопходно проверити димензију и положај. Мерним пипцима “тачка по тачка” је могуће одредити и одступања од облика. Мерењем тачка по тачка одређује се положај тачака довођењем врха пипка у контакт са предметом.

Номинална геометрија се дефинише техничким цртежом или CAD моделом. Реална геометрија је стваран облик произведеног предмета. Координатна метрологија омогућава мерење координата тачака са површине предмета.

2.9. Елементарни геометријски облици

Мерни предмети чије се мерење врши на КММ, одређени су идеалном (номиналном) и реалном геометријом. Идеална геометрија је дефинисана техничким цртежом или CAD моделом мерног предмета, а са аспекта практичне примене (моделирања, пројектовања, планирања), она се описује: тачком, правом, кругом, равни, сфером, цилиндром, купом, елипсом и торусом. Ови елементарни геометријски облици се препознају на основу узетих броја тачака које су генерисане на мерном предмету.

Табела 1: Потребан број тачака за креирање геометријских облика

Елементарни геометријски облик	Минимални број тачака
Тачка	1
Права	2
Круг	3
Раван	3
Елипса	4
Сфера	4
Цилиндар	5
Купа	6
Торус	7

КММ може бити и комплетно интегрисана у обрадни процес. Ово, уствари и представља главни предмет нове концепције развоја ове области. При томе је потребно тако допунити програмску опрему, да се може повезати управљање мерног поступка са обрадним процесом и да се на основу података мерења постигне побољшање процеса обраде. У том случају КММ је једна јединица модулног обрадног система, а не посебна јединица, повезана са машином алатком.

На данашњем техничком тржишту, постоји стална потреба за прикупљање тродимензионалних података о деловима, производима и окружењу. Прикупљање ових резултата у 3D облику пружа бољи увид у податке, омогућавајући корисницима да имају више поверења у ниво тачности.

2.10. Мерни резултати

КММ може бити и комплетно интегрисана у обрадни процес. Ово, уствари и представља главни предмет нове концепције развоја ове области. При томе је потребно тако допунити програмску опрему, да се може повезати управљање мерног поступка са обрадним процесом и да се на основу података мерења постигне побољшање процеса обраде. У том случају КММ је једна јединица модулног обрадног система, а не посебна јединица, повезана са машином алатком.

На данашњем техничком тржишту, постоји стална потреба за прикупљање тродимензионалних података о деловима, производима и окружењу. Прикупљање ових резултата у 3D облику пружа бољи увид у податке, омогућавајући корисницима да имају више поверења у ниво тачности.

3. КООРДИНАТНА МЕРНА МАШИНА „ZEISS PRO SELECT”



We make it visible.

Carl Zeiss је високо цењен и признат бренд у целом свету по својој историји израде врхунских технологија и производа за више од 120 година. Компанија је, пре свега, постала позната по својим врхунским микроскопима и системима сочива. Од самог почетка, ови висококвалитетни производи су контролисани са мерним и инспекцијским алатима који су произведени у самом *Zeiss*-у. Ови скромни почеци су од 1919. године еволуирали до велике пословне јединице, која се данас рангира као један од водећих светских произвођача координатних мерних машина.

Zeiss Pro Select (слика 14), представља моћну и високо прецизну мерну машину нове генерације, са највећим мерним перформансама у мерној соби или производној хали. *Zeiss Pro Select* има могућност скенирања са оптичким сензорима и ротирајућим мерним пипцима.



Слика 14: *Zeiss Pro Select* координатна мерна машина

Основни мерни делови *Zeiss Pro Select* координатне мерне машине су приказани на слици 15:



Слика 15: Основни мерни делови (1 – RDS глава, 2 - RDS адаптер, 3 - мерна екстензија, 4 - мерни пипак)

RDS глава је нарочито добро прилагођена за мерење сложенијих делова, где карактеристике захтевају различите мерне екстензије са различитим просторним правцима. У комбинацији са RDS адаптером она достиже и до 20,736 позиција, чиме се обезбеђује приступ сваком делу мереног објекта. Ово је омогућено од стране хоризонтално и вертикално постављених ротационих оса са ротационим опсегом плус/минус 180 степени.

Осим тога, коришћење RDS главе доводи до краћег времена калибрације: само неколико просторних угаоних позиција захтевају калибрацију. Током програмирања, RDS се може лако позиционирати коришћењем цојстика на контролној табли како би се омогућило краће програмирање пута. Дизајни су доступни за машине у стандардним, компактним и мултисензорским конфигурацијама.

Мерне екстензије могу бити различитих дужина и облика, у зависности од потребе. Обично су дужине стандардизоване, на 10 мм, 20 мм, 30 мм... У аутоматском моду машина сама мења унапред дефинисане мерне екстензије, при мерењу неких, са краћим екстензијама, физички недоступних тачака. Што се тиче мерних пипака постоје различите врсте, неке од њих у комбинацији са сензорима приказани су на слици 16:



Слика 16: Мерни пипци

Zeiss Pro Select координатна мерна машина врши прецизну контролу квалитета делова у ауто индустрији, авио идустрији, користи се за контролу у електроници и многим другим гранама индустрије. Мерни опсег *Zeiss Pro Select* координатне мерне машине по координатним осама је X: 5000 mm до 10000 mm, Y 1600 mm, Z: 2100 mm, 2500 mm, 3000 mm. Структурна температурна компензација омогућава да се одрже оптималне мерне перформансе у широком температурном опсегу од 16-26°C.

Пошто се ради о мерној машини која има хоризонталну мерну руку, неретко се користе две мерне машине, окренуте једна према другој, при мерењу производа и делова великих габарита, као што су аутомобили или камиони, у том случају обе мерне машине користе један координатни систем (могуће је и да свака мерна машина користи засебан координатни систем). Систем од две мерне машине назива се *DUAL ARM SYSTEM* (слика 17). Оваква комбинација мерних машина је неопходна у случајевима када једна мерна рука физички не може да измери предвиђену карактеристику.



Слика 17: *Dual Arm System*

Zeiss Pro Select координатна мерна машина се контролише и програмира преко *Zeiss Dynalog P3* контролног панела, који је приказан на слици 18:



Слика 18: *Zeiss Dynalog P3* контролни панел

Zeiss Dynalog P3 контролни панел поседује два џојстика. Десни џојстик служи за кретање мерне машине у хоризонталној XY равни, док леви џојстик служи за померање мерне машине по Z оси. На врховима џојстика постоје тастери, чијим стискањем снимамо различите просторне позиције мерне машине, приликом програмирања аутоматског мода мерења. Контролни панел је повезан са рачунаром, тако да је могуће целокупно програмирање одрадiti на њему, за разлику од неких других џојстика, који немају могућност приказа графичког интерфејса. Такође *Zeiss Dynalog P3* контролни панел поседује и тачпед, тастатуру па чак и звучник и *USB* прикључак, тако да је рад са њим врло ефикасан. Садржи и потенциометар којим контролишемо брзину кретања мерне машине, као и алармни систем (црвена печурка), којим можемо зауставити мерну машину при непредвиђеним околностима. Испод десног џојстика постоје три лед диоде, које означавају да ли је мерна машина у мануелном или аутоматском (CNC) моду, као и да ли постоји грешка, у комуникацији са рачунаром, или *Zeiss Dynalog P3* контролног панела са координатном мерном машином. Остали тастери омогућавају нам укључивање или искључивање кретања по осама X, Y, Z за случај да имамо жељу да покрећемо мерну машину по жељеним осама, као и могућност закључавања *Zeiss Dynalog P3* контролног панела итд.

4. КАЛИБРАЦИЈА И УПАРИВАЊЕ „ZEISS PRO SELECT” КООРДИНАТНИХ МЕРНИХ МАШИНА

Да би координатна мерна машина могла да извршава разна мерења и скенирања геометрије, услов је да има велику тачност. Провера и побољшање тачности координатне мерне машине извршава се калибрацијом. Калибрација је скуп поступака којима се, у одређеним условима, успоставља однос између вредности величина које показује мерило или мерни систем или вредности које представља материјализована мера или референтни материјал, и одговарајућих вредности остварених еталонима.

Верификација је процес доказивања истине или неке тврдње, поставке, хипотезе и сл. Изводи се на више начина од којих су експериментални докази највалиднији. За верификацију би најједноставније могли рећи да је потврда о ваљаности претходно извршене калибрације.

4.1. Калибрација Zeiss Pro Select координатне мерне машине

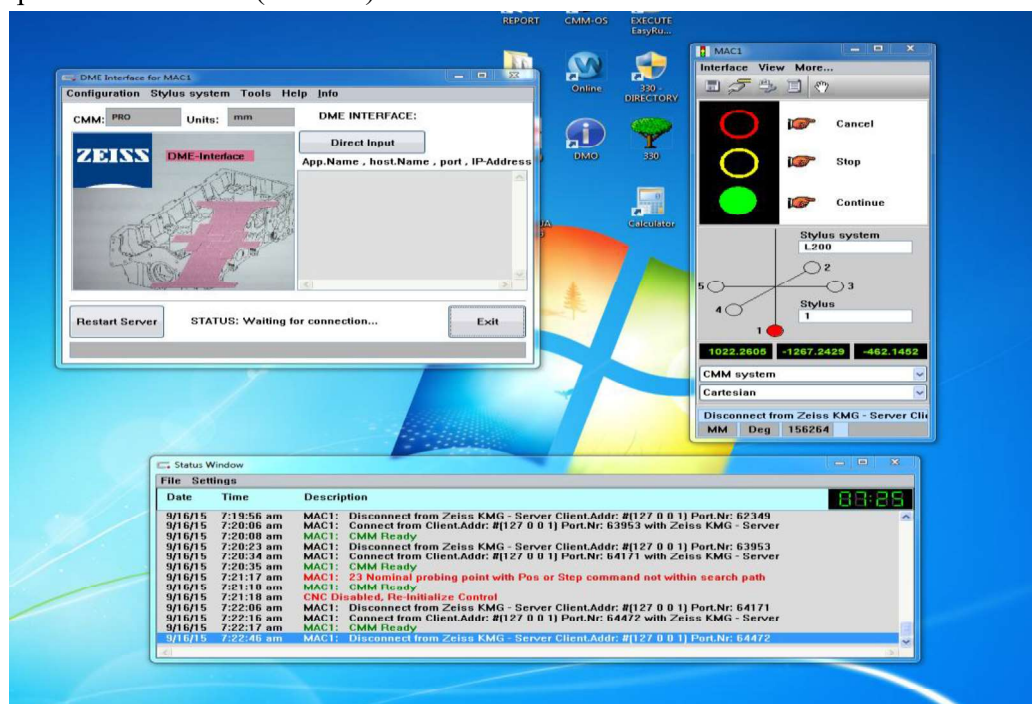
Калибрација се изводи преко софтвера *CMM-OS (Coordinate measuring machine operating system)*. Као еталон се користи референтна сфера велике тачности. Координатна мерна машина прво се калибрише са *Master Probe*-ом (Слика 19), *Master Probe* се бира, јер нема мерну екстензију, већ је мерни пипак директо повезан са RDS адаптером па је мерење са њим тачније и прецизније у односу на комбинације са мерном екстензијом дужине 200 мм или 300 мм.



Слика 19: *Master Probe* и референтна сфера

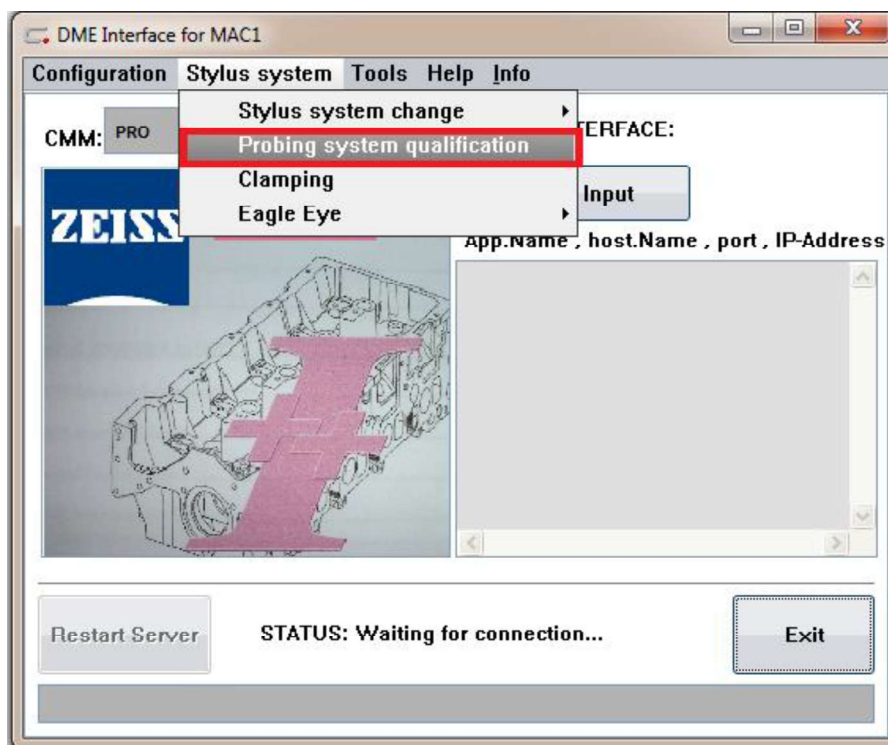
Калибрација мерних пипака координатне мерне машине *Zeiss Pro Select* биће објашњена у следећих неколико корака:

1. Покрећемо *CMM-OS* (слика 20):



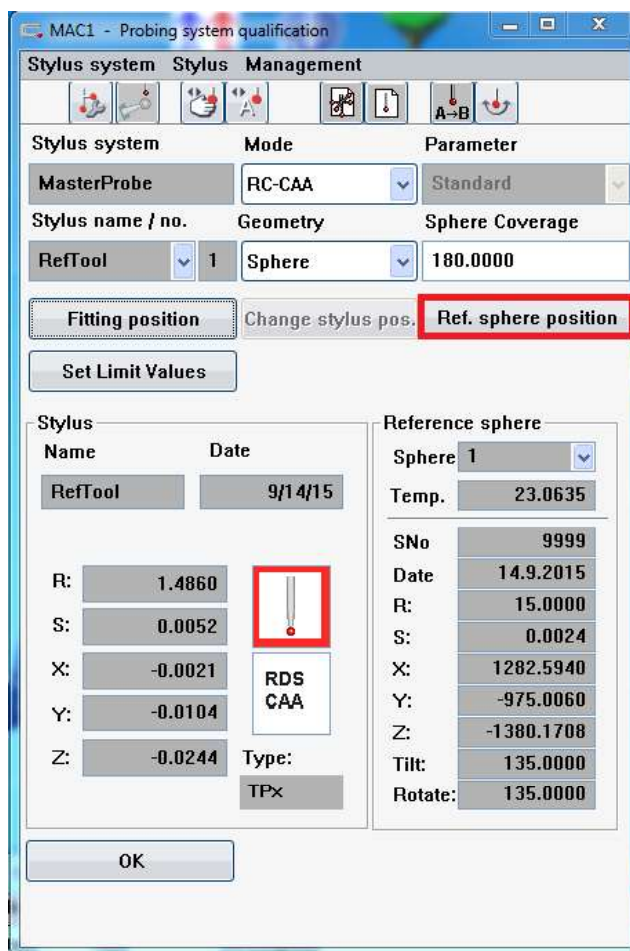
Слика 20: *CMM-OS*

2. Избором *Stylus system* → *Probing system qualification* (приказано на слици 21)



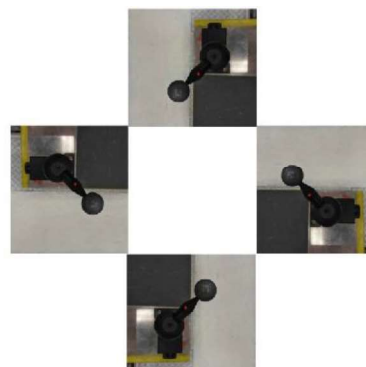
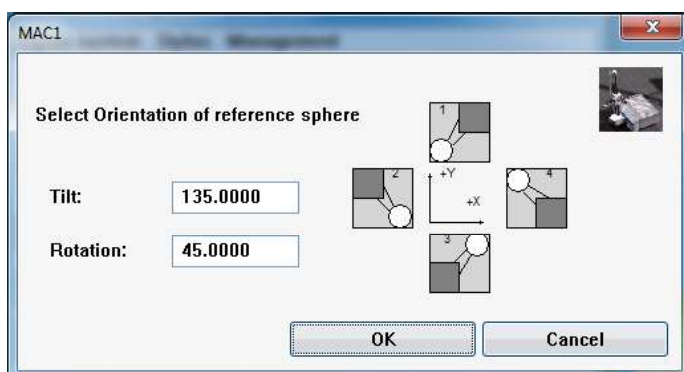
Слика 21: *Stylus system*

3. Приказује се нов прозор у коме је потребно извршити избор тастера – Ref. sphere position (слика 22)



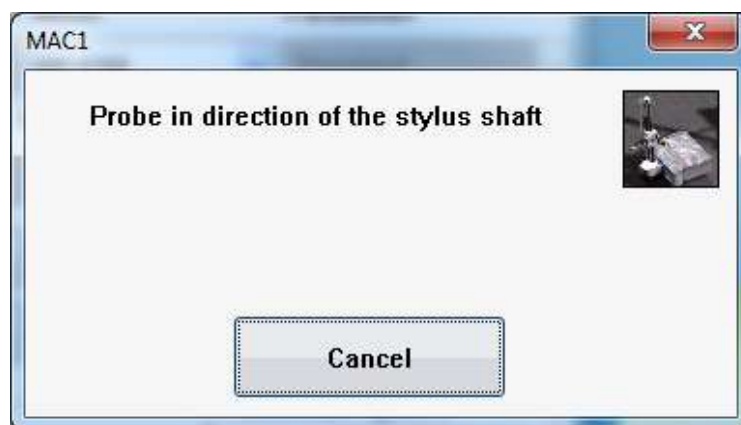
Слика 22: Probing system qualification

4. Приказује се нов прозор у коме је потребно изабрати један од понуђена 4 угла сфере у XY равни 1, 2, 3, или 4 (зависно од тога како је угао сфере постављен), затим извршити избор тастера *OK* (слика 23).



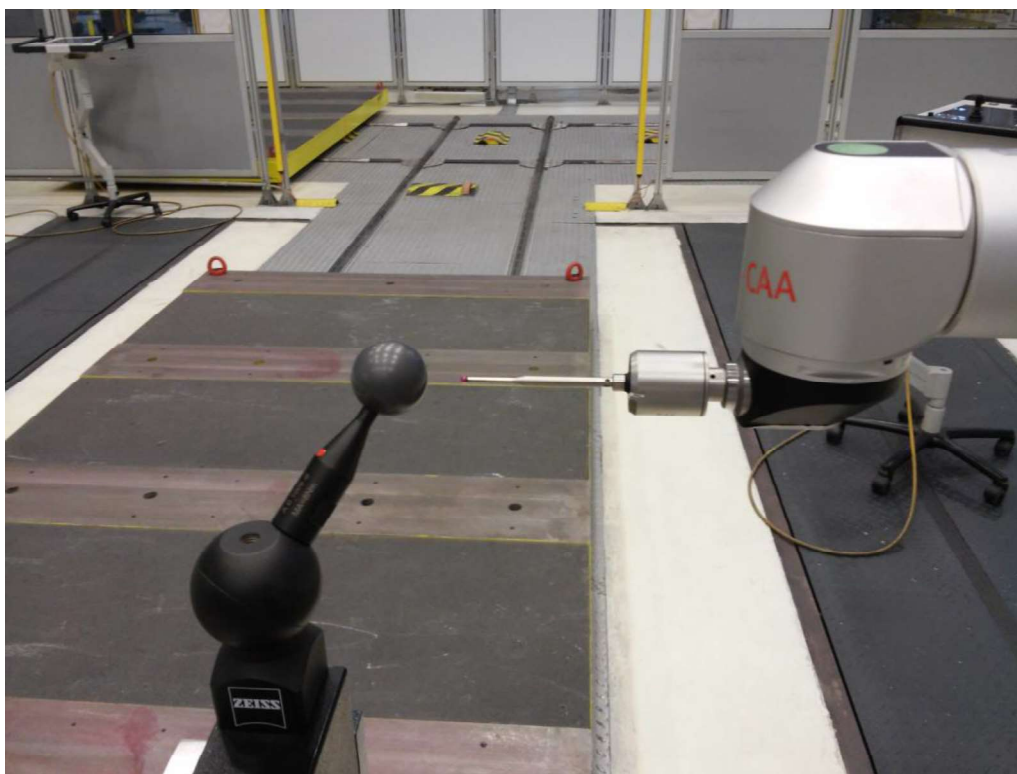
Слика 23: Угао сфере

5. Приказује се нови прозор (слика 24).



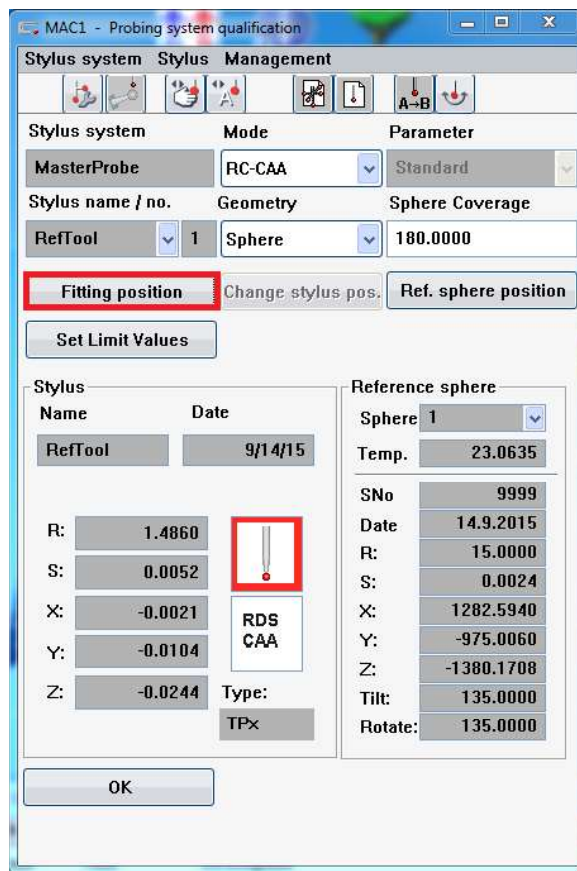
Слика 24: Прозор са захтевом за додир средишњег дела сфере мерним пипком

6. Сада је потребно мануелно дотаћи центар сфере мерним пипком, после контакта координатна мерна машина ће пронаћи позицију сфере и простору да би калибрација могла да почне (слика 25).



Слика 25: *Master Probe* и сфера

7. Након претходног поступка програм нас враћа у претходни прозор (слика 26) где је потребно извршити избор на тастер *“Fitting position”* како би се покренуо процес калибрације.



Слика 26: *Fitting position*

8. Машина ће аутоматски извршити калибрацију према сфери у 12 различитих ротација (слика 27).

protocol

File

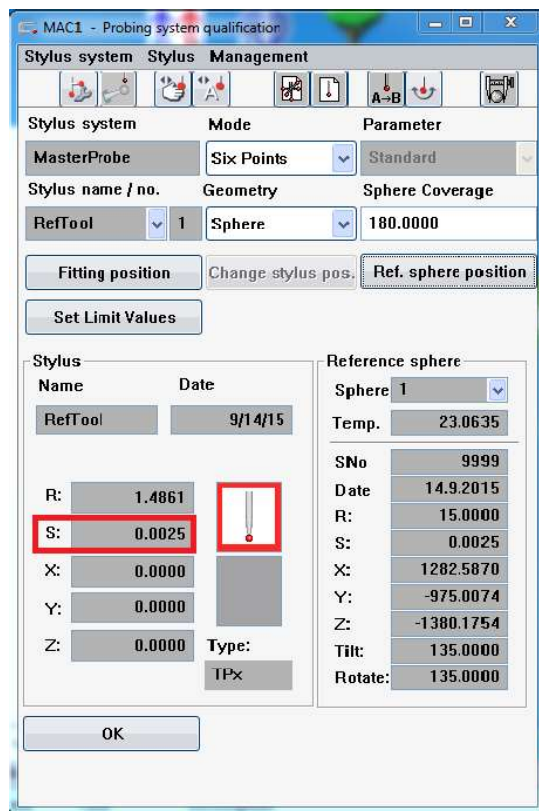
X	Y	Z	A Axis	B Axis	C Axis	Status
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	OK
-55.8507	-133.8557	-78.2087	90.0000	90.0000	0.0000	OK
-141.9431	-110.7059	74.4964	165.0000	80.0000	0.0000	OK
-55.8295	0.0082	54.5493	90.0000	0.0000	0.0000	OK
90.7725	-48.0410	-16.9762	10.0000	50.0000	0.0000	OK
54.5290	-38.6490	-38.5721	-90.0000	-45.0000	0.0000	OK
-90.2321	-39.4369	118.4588	-175.0000	45.0000	0.0000	OK
-55.8272	-17.5752	121.2810	90.0000	-30.0000	0.0000	OK
29.4349	-156.9878	-84.0027	55.0000	100.0000	0.0000	OK
-14.4947	-2.1209	113.6997	-170.0000	10.0000	0.0000	OK
54.5246	0.0089	55.8568	-90.0000	0.0000	0.0000	OK

Stylus system 12 -> 12

Close

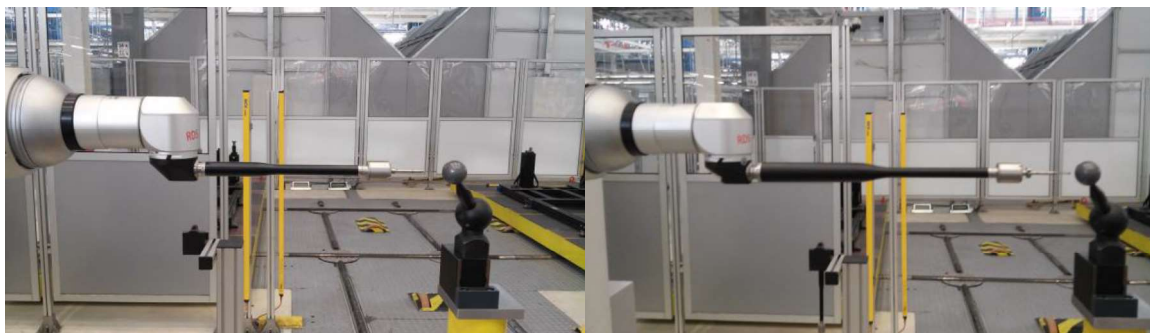
Слика 27: Калибрација у 12 ротација

9. Резултат калибрације (тачност мерног пипка) може се изразити преко параметра “S” (сигма) и најчешће се креће од 0,0020 до 0,0090 мм. Често се дешава да параметар “S” (сигма) добије као резултат већу вредност, па је у том случају потребно поновити калибрацију мерног пипка. На слици 28 се види да је добијени резултат калибрације 0,0025 мм.



Слика 28: Параметар сигма „S“

Након калибрације *Master Probe*-а, исте кораке понављамо са осталим мерним пипцима, осим што прескачемо корак 4 јер није потребно опет пронаћи позицију референтне сфере, већ мерна машина то памти, након дефинисања позиције са *Master Probe* – ом. Мерни пипци са екстензијама 200 мм (L200) и 300 мм (L300), приказани су на слици 29.



Слика 29: L200 и L300 мерни пипци

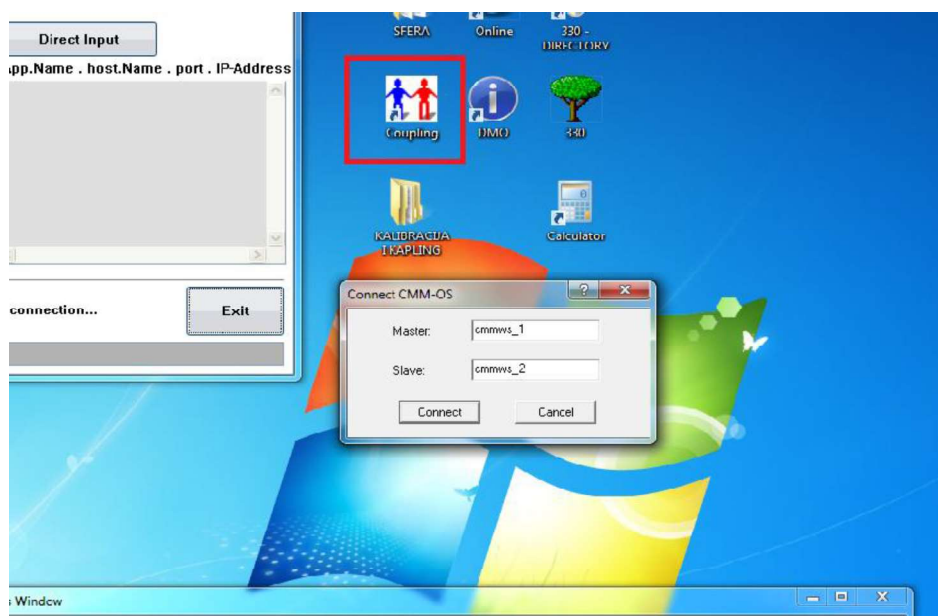
4.2. Упаривање (*Coupling*) Zeiss Pro Select координатних мерних машина

Упаривање или *Coupling* координатних мерних машина се ради само ако имамо две координатне мерне машине у *Dual Arm System*-у. Тада је потребно да будемо сигурни да ће обе координатне мерне машине показати исте или приближно исте резултате мерења истих карактеристика.

Ако имамо тачку дефинисану координатама у Декартовом координатном систему, и та тачка се налази на објекту који меримо, потребно је да координатне мерне машине које су у *Dual Arm System*-у, после мерења тачке покажу исте резултате мерења тачке, тј. резултате у толеранцији $\pm 0,08$ мм како је унапред прописано.

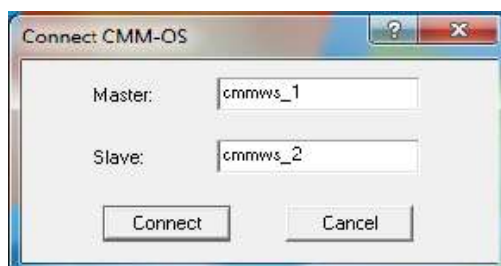
Да би били сигурни да су односи мерења две координатне мерне машине у вредностима прописаним толеранцијом, вршимо њихово упаравање (*Coupling*), поступак је објашњен у следећих неколико корака:

1. Потребно је да и на једној и на другој координатној мерној машини буде укључен *CMM-OS*, ако је то случај покрећемо *Coupling* (Слика 30):



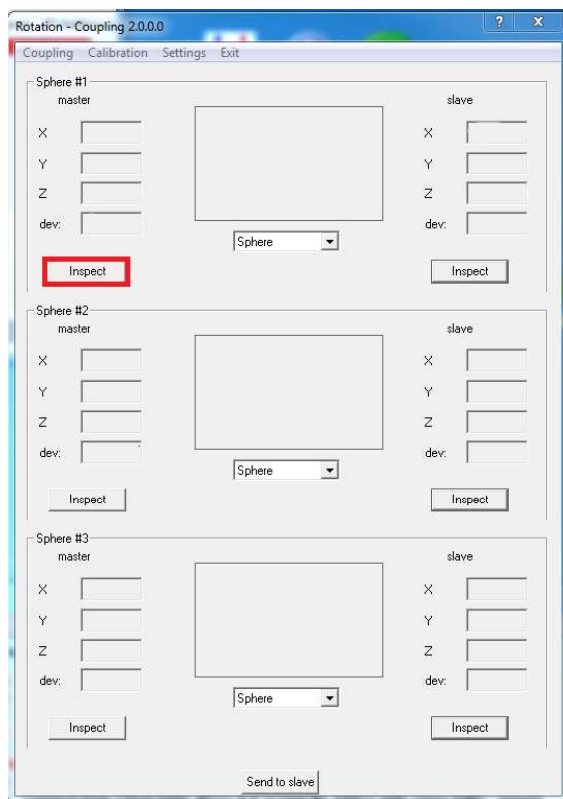
Слика 30: *Coupling*

2. Појављује се нови прозор преко кога конектујемо две мерне машине кликом на *Connect* (Слика 31):

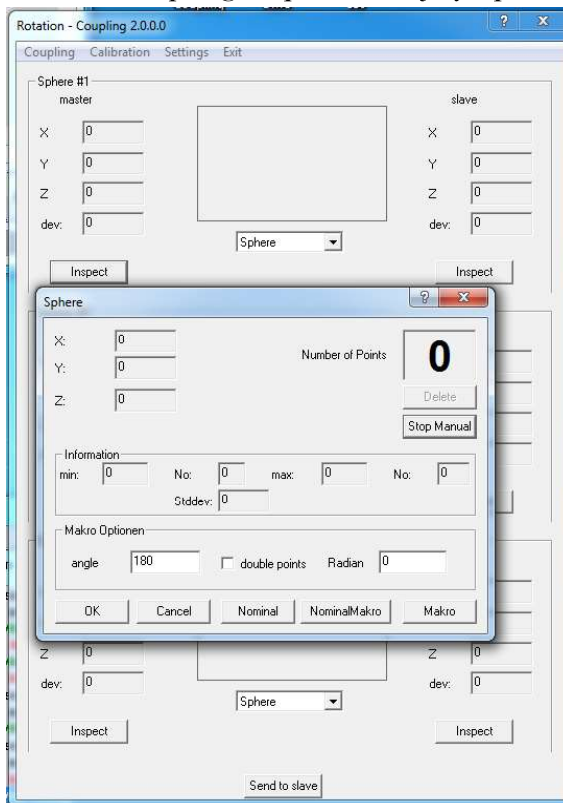


Слика 31: Повезивање две координатне мерне машине - *Master i Slave*

3. Отвара се нови прозор, *sphere #1*, *sphere #2*, *sphere #3* означавају три позиције референтне сфере у простору (позиције произвољно бира оператер), кликом на *inspect* активирамо мануелно мерење референтне сфере *master* или *slave* координатне мерне машине – слика 31, слика 32 и слика 33.



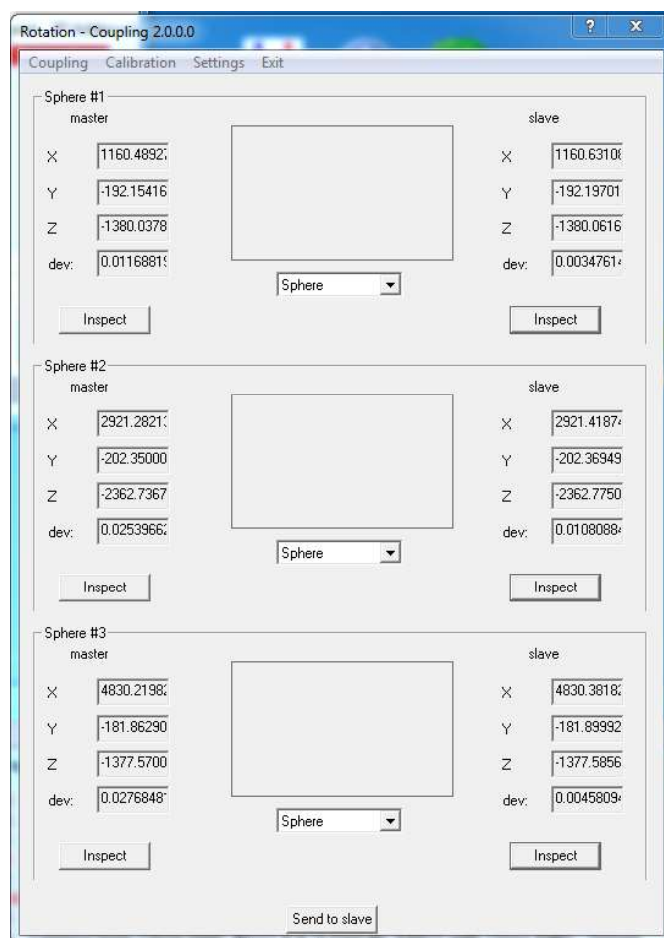
Слика 31: *Coupling* – три позиције у простору



Слика 32: *Coupling* – мерење референтне сфере

Слика 33: *Coupling* - позиције референтне сфере у простору

4. Резултати мерења референтне сфере су приказани на слици 34. Пошто видимо да имамо одступања која су последица разних спољашњих утицаја као и последица самог рада и кретања координатне мерне машине, разлике се анулирају кликом на дугме *Send to slave*, тим потезом резултате са *Master-a* шаљемо на *Slave*. На тај начин смо избрисали одступања у координатним системима координатних мерних машина. Као задњи корак потребно је извршити верификацију *Coupling-a*, то се обично ради мерењем референтне сфере преко софтвера који се користи при мерењу делова.

Слика 34: *Coupling* - резултати

5. МЕРЕЊЕ РАДНОГ КОМАДА ПРЕКО СОФТВЕРА *PC DMIS*

5.1. *PC DMIS*

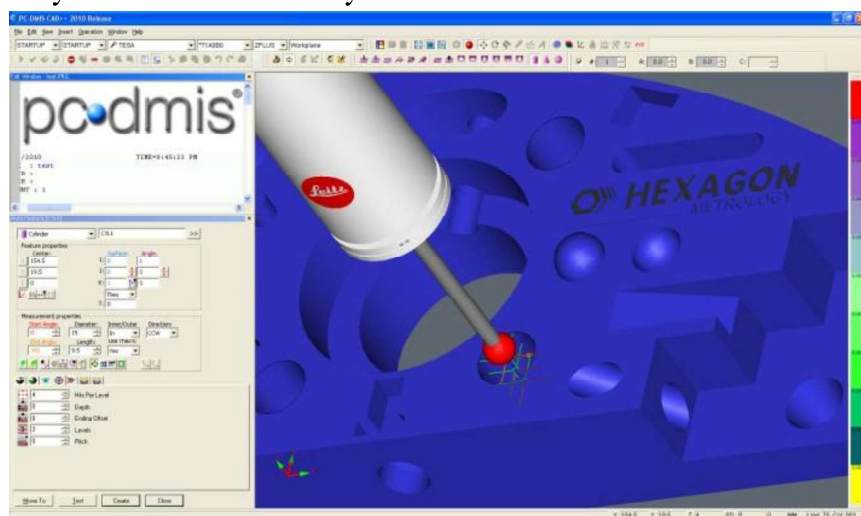
PC-DMIS ради са графичким, једноставним основним корисничким интерфејсом, без *CAD* података.

Функције:

- Комплетно програмско окружење укључујући и висок ниво програмских функција,
- Подесив мени,
- Брзи старт за калибрацију мерних пипака, довођење у осу радног комада, и функције за комплетне извештаје,
- Подесиви алати за извештаје и напредни алати за подешавање извештаја,
- Интуитивне функције *Probe* и *Go* за аутоматско препознавање функција и стварање интерактивних графичких приказа.

PC-DMIS уводи *CAD* модел у метрологију. Укључује следеће додатне функције:

- Могућност комплетне 3Д анимације, укључујући дигитализацију облика радних комада и опреме (слика 35). Оператор може да исконтролише *set-up* и програм у виртуелном окружењу пре стварног мерења,
- Документације непознатих радних комада за генерисање компјутерских модела за *reverse engineering* апликације,
- Увоз машинских формата као што су *VDAFS*, *IGES*, *DXF*, *DWG*, *STEP*, *XYZIJK*, *STL*, *DES* и *DMIS*,
- Опција *Direct CAD Interface (DCI)* омогућава директно креирање *part* програма из *CAD* модела коришћењем *CAD* система алгоритама и алата,
- Опција *Direct CAD Translator (DCT)* омогућава да користи машински *CAD* модел и ако то није омогућено на *CAD* систему.



Слика 35: Радно окружење софтвера за мерење (*PC-DMIS*)

PC-DMIS CAD++ нуди додатне мерне функције у односу на *PC-DMIS CAD* које омогућавају брзо и ефикасно мерење сложених облика као што су турбинске лопатике, одливци, модели, пресовани танкозидни комади и закривљени облици.

Функције:

- Обртно и контролно скенирање као и скенирање у линерано отвореном и затвореном систему,
- Скенирање обима, пресека и граничних тачака,
- Комплетна симулација,
- Комплетна опрема за мерење танкозидних радних комада.

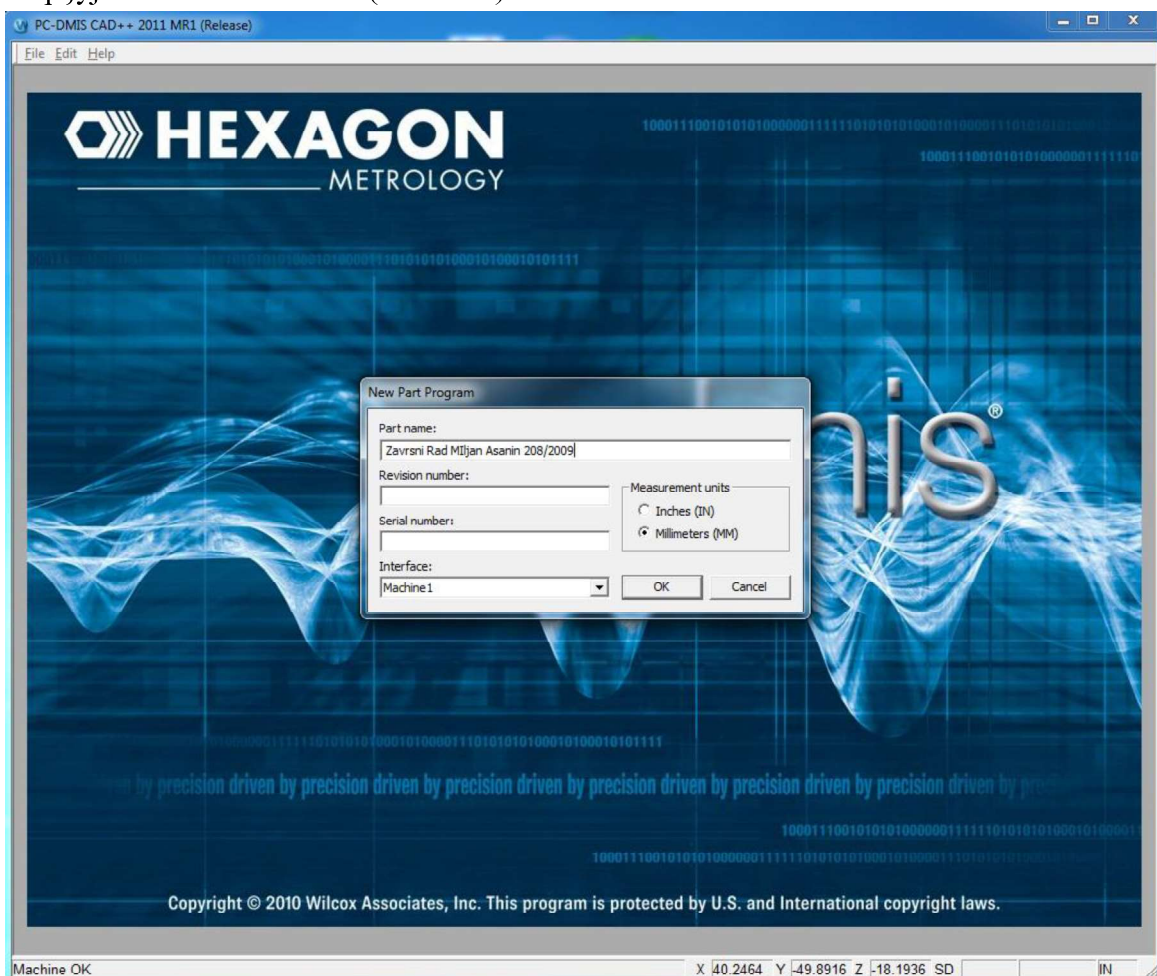
PC-DMIS је софтверски пакет који је развијен пре више од двадесет година са циљем интегрисања операција конструисања, производње и контроле у један систем. Филозофија која је коришћена приликом развоја овог софтвера је базирана на једноставном принципу који гласи: ако се производ развија коришћењем *CAD* технологије онда се он мора контролисати коришћењем *CAD* модела. Данас је та филозофија проширена како би се добила решења за све процесе димензионалних мерења. Коришћењем *PC-DMIS*-а се веома лако прикупљају и анализирају подаци, који проистичу директно из процеса производње и конвертују се у информације које се могу користити за корективне активности а на крају се као резултат добија побољшање процеса производње.

5.2. *Online i offline* режим рада

Да би *PC-DMIS* функционисао у комбинацији са координатном мерном машином, примарно је да стартујемо *CMM-OS*, он је неопходан да би мерна машина била конектована са *PC-DMIS*-ом, и тај начин рада представља *online* режим, у супротном ако *CMM-OS* није укључен, *PC-DMIS* ради у *offline* режиму - могуће је свако програмирање и подешавање кретања, али без резултата мерења, тј. при пуштању *CNC* програма уместо покретања координатне мерне машине имамо анимацију њеног пута и мерења дела. У овом случају користимо *online* режим, креирање новог програма биће објашњено у следећих неколико поглавља.

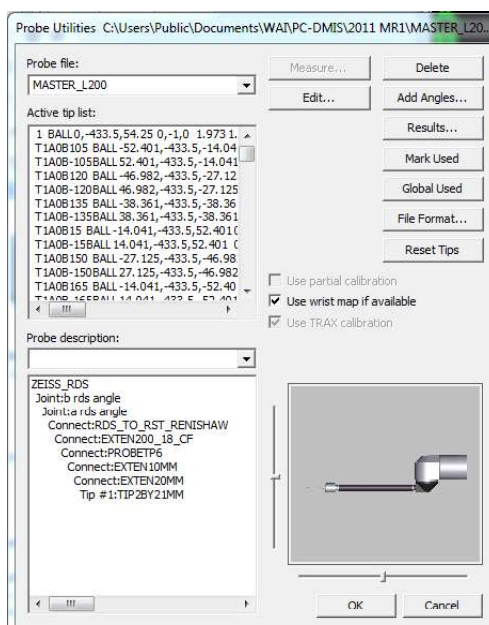
5.3. Креирање новог програма у *PC-DMIS*-у

Креирамо нови парт програм кликом на *File*→*New*, уписујемо име парт програма, и бирамо мерну јединицу - милиметре или инче, у овом случају бирамо милиметре. У падајућем менију *interface* бирамо *machine 1*, тим избором смо сигурни да радимо у *online* режиму, у другом случају можемо изабрати *offline*. Избор потврђујемо кликом на *OK*. (слика 36)



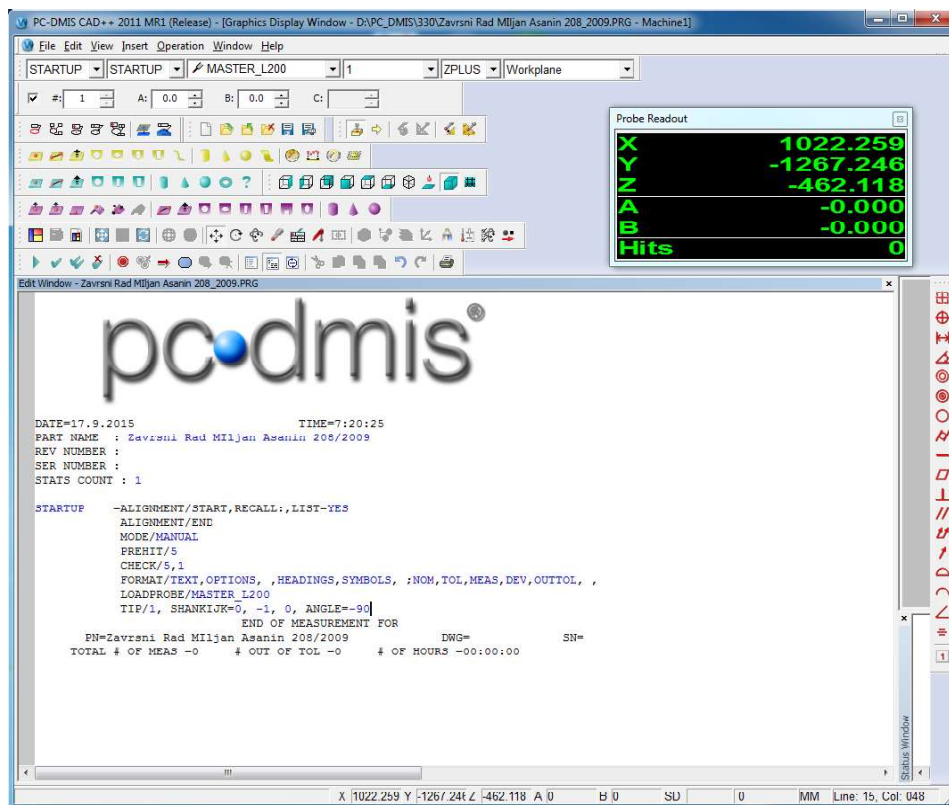
Слика 36: Креирање новог програма у *PC-DMIS*-у

Отвара се нови прозор у коме бирамо мерни пипак са којим радимо, у овом случају то је *MASTER_L200*, у овом прозору могуће је модификовати и правити нове мерне комбинације, као и додавати и брисати ротације. (слика 37)



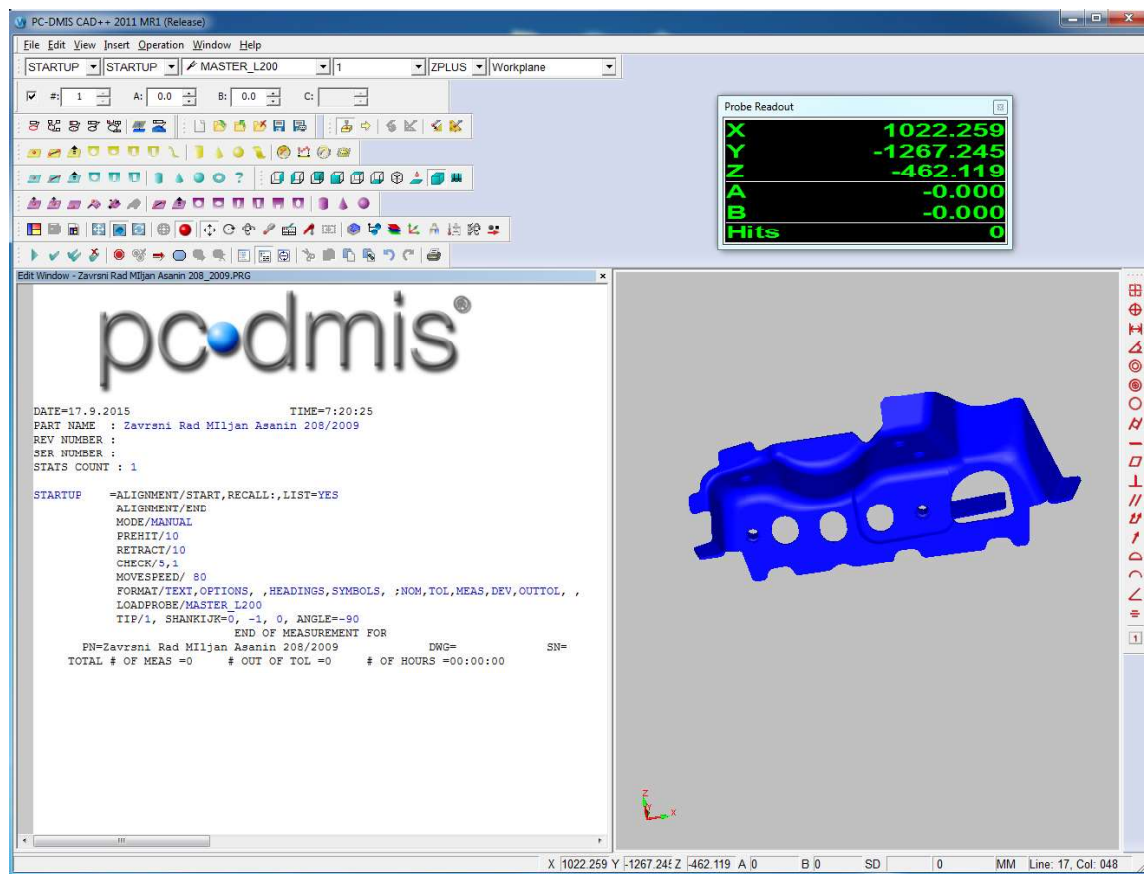
Слика 37: Бирање дефинисане мерне комбинације

Отвара се интерфејс софтвера, са дефинисаним полазним подацима. (слика 38)



Слика 38: PC-DMIS кориснички интерфејс

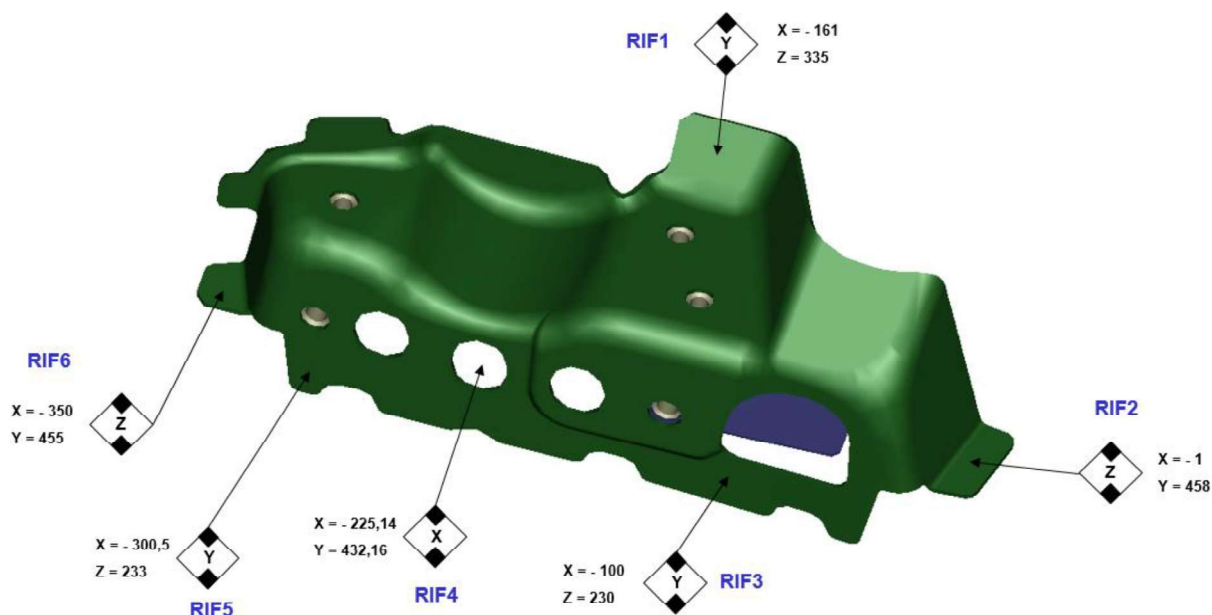
Сада је потребно учитати *CAD* модел дела. То радимо преко опције *File→Import→CAD*. (Слика 39)



Слика 39: *CAD* модел

5.4. Креирање поравнања – *alignment*

Као што смо пре помињали, основни услов да би кренули са мерењем дела, јесте поравнање координатних система координатне мерне машине и самог дела. На самом старту при креирању новог програма у *PC-DMIS*-у, координатна мерна машина користи почетни координатни систем – *STARTUP*, почетак координатног система мерне машине не поклапа се са почетком координатног система дела, самим тим мерење је немогуће. Пошто користимо Декартов координатни систем, а знамо да тело у њему има 6 степени слободе тј. три translације и три ротације, блокирањем кретања дела у простору по систему 3-2-1 (раван-линија-тачка) поравнавамо координатне системе, тј. на тај начин машина лоцира део у простору. Тачке поравнања називамо референтне тачке. Део који се мери је углавном унапред дефинисан, тј. дефинисане су позиције референтних тачака које служе за поравнање, као и свих осталих карактеристика које је потребно измерити. Ако је део немогуће поравнати, онда то значи да је он деформабилан по референтним тачкама, и није могуће наставити са мерењем дела. Тачке поравнања дела који је приказан на *CAD* моделу, приказане су на слици 40.



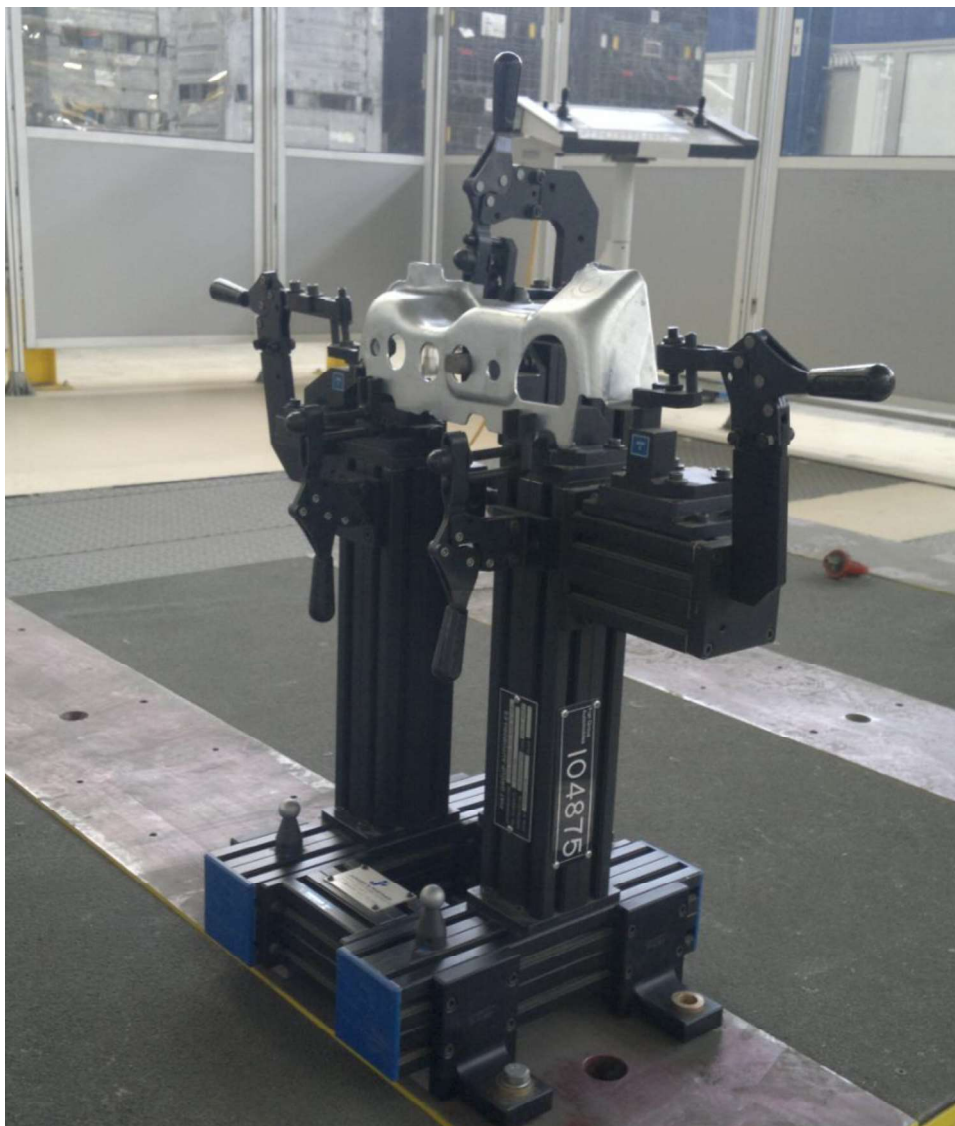
Слика 40: Референтне тачке

Као што видимо на слици 40, тачке поравнања дела су RIF1, RIF3, RIF5 по Y, RIF2 и RIF6 по Z и RIF4 по X. Све референтне тачке имају своје координате. Толеранција позиције референтних тачака је обично плус/минус 0,1 мм, толеранција је мала да би се осигурало да је део приближно идеално постављен у простору.

За референтне тачке се узимају полази у производњи, као што су технолошки отвори, неке позиције и сл. према њима се позиционира део од почетка до краја производње, у свим целинама једног предузећа, наравно потребно је претходно позиционирање свих алата који се користе у производњи дела, и њихова стална контрола, провера и побољшање да би се осигурала велика тачност и добра геометрија радног комада.

Такође, потребно је обезбедити да део који се мери буде фиксиран за време мерења, до те мере а да се не деформише. Да би били сигурни да је део позициониран као на производу користимо контролнике, које је потребно конструисати и поравнати пре самог дела. Контролник са делом за мерење приказан је на слици 41.

Када смо сугурни да је контролник поравнат приступамо мерењу свих група и свих тачака налегања дела на контролнику, и њиховом позиционирању. Контролник као и део има своје референтне тачке, то су обично три сфере, које се поравнавају по систему 3-2-1 као и сам део или по систему *BEST FIT* који ће бити објашњен у следећем делу. Разлика у поравнању дела и контролника не сме да буде велика, у том случају приступа се поновној провери контролника. Поравнање контролника и поравнање дела биће објашњено у следећих неколико корака.



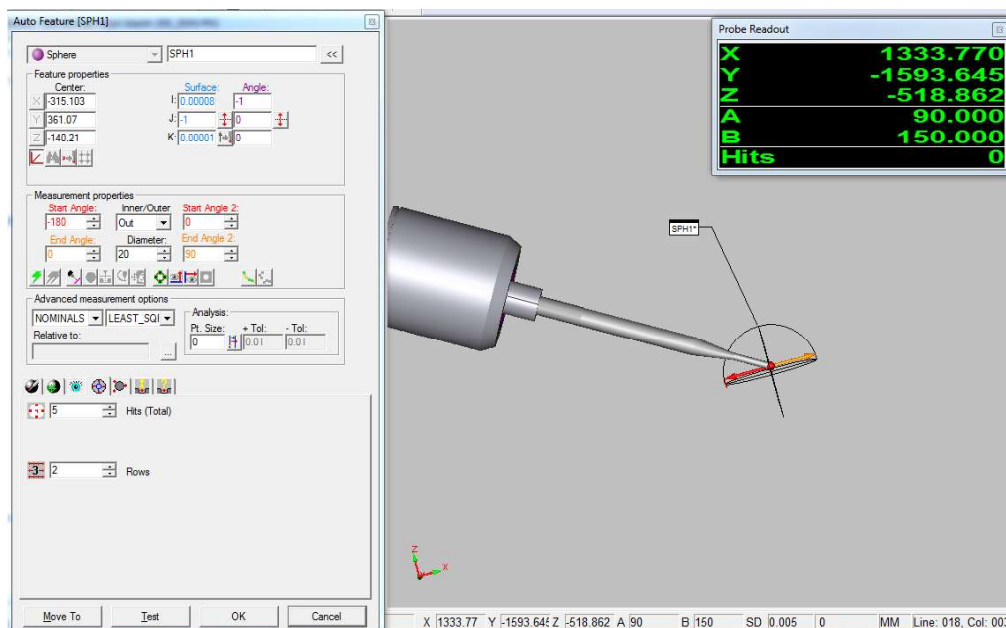
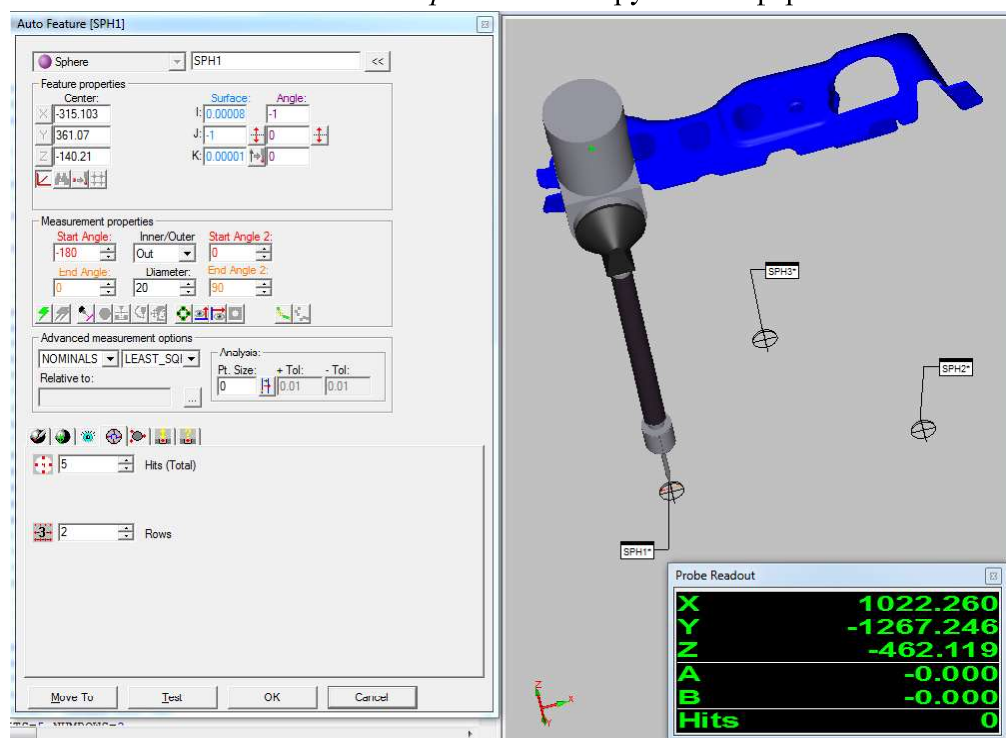
Слика 41: Контролник са делом за мерење

5.5. Креирање поравнања контролника у PC-DMIS-у

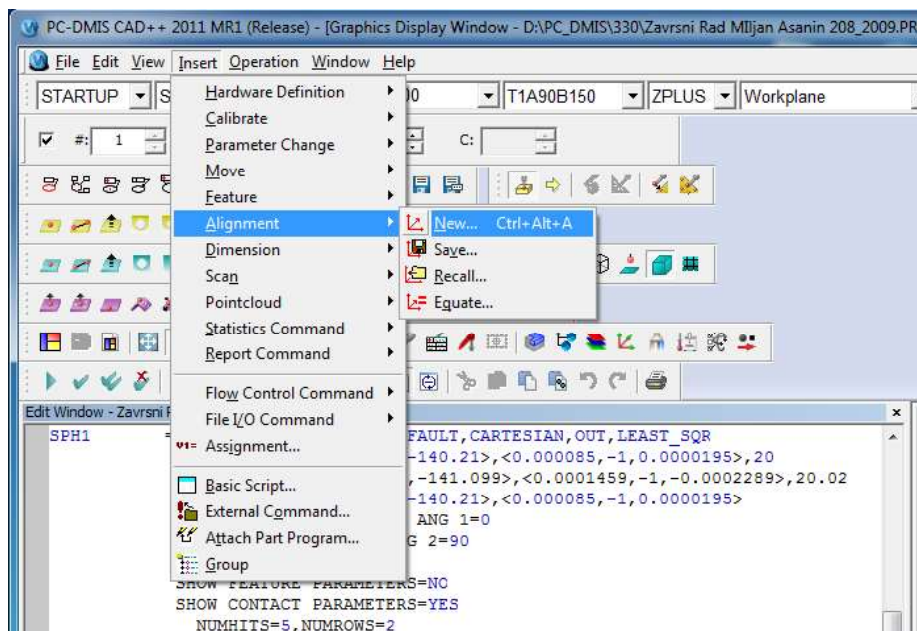
Треба напоменути да креирање свих геометријских елемената које координатна мерна машина физички мери радимо преко *Auto features toolbar*-а (слика 42).

Слика 42: *Auto features toolbar*

Прво је потребно креирати три сфере у простору са координатама дефинисаним на контролнику, конструисање геометријских елемената који се мере координатном мерном машином обављамо преко *Auto features toolbar*-а, како је већ наведено. Бирамо *Auto Sphere* и уносимо координате по осама, у делу *measurement properties* бирамо *Out* јер је реч о екстерној сфери и уносимо њен дијаметар – 20 мм. У делу *hits* бирамо са колико тачака меримо сферу, минимално је 4 тачке у овом случају изабирамо 5. Поступак понављамо са све три сфере. Треба напоменути да у овом случају немамо *CAD* модел. Претходни процес приказан је на слици 42, а све три конструисане сфере на слици 43.

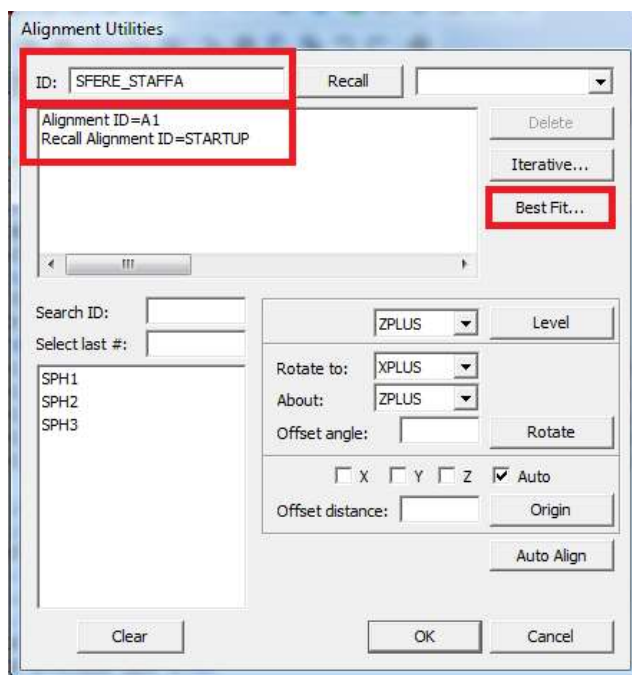
Слика 42: *Auto Sphere* – конструисање сфереСлика 43: *Auto Sphere* – три референтне сфере

Сада је потребно поравнати координатне системе, бирамо *Insert→Alignment→New* (слика 44):

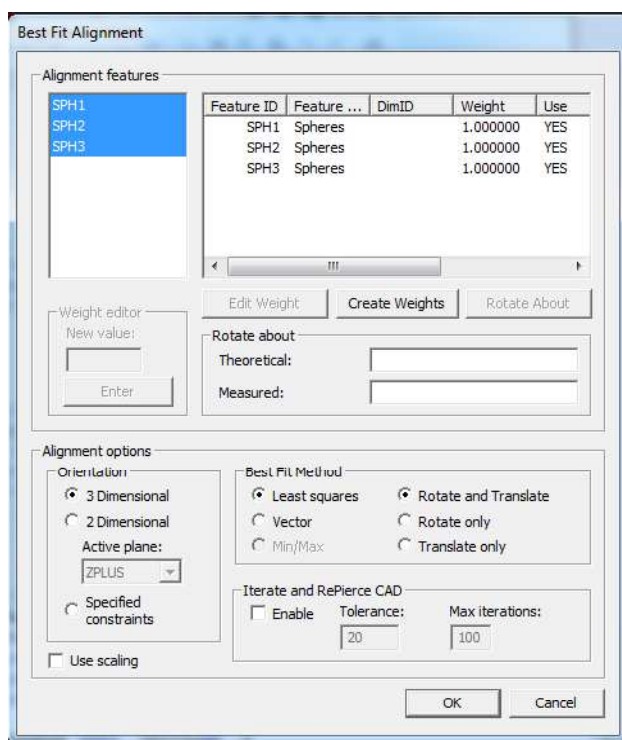


Слика 44: Креирање новог поравнања

Отвара се нови дијалог у коме уносимо назив нашег поравнања у пољу ID, испод тог поља видимо да се поравнање позива на почетно - *STARTUP* поравнање, тј. то су два изабрана поравнања које користимо и које доводимо у исту просторну позицију, потом бирамо *BEST FIT* (слика 45), након тога обележавамо конструисане сфере и потврђујемо кликом на *OK* (слика 46).



Слика 45: Креирање *BEST FIT* поравнања – корак 1



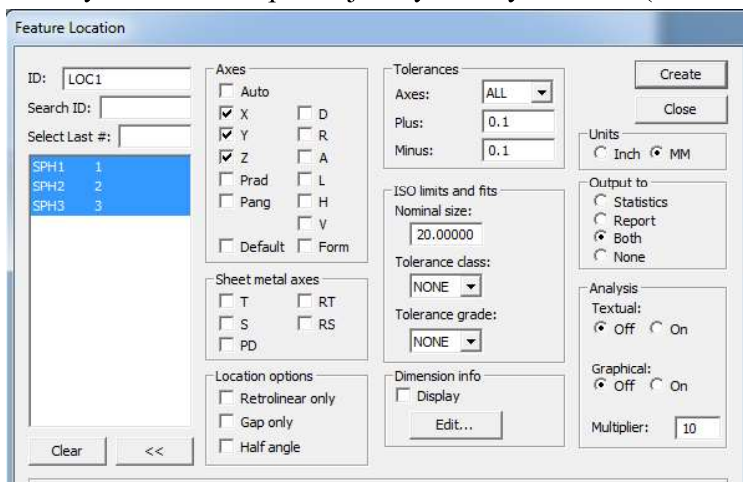
Слика 46: Креирање BEST FIT поравнања – корак 2

Сада су координатни системи контролника и координатне мерне машине поравнати, потребно је одштампати резултате. Резултати мерења сфера, као и других геометријских елемената приказују се преко *Dimension toolbar*-а (слика 47).



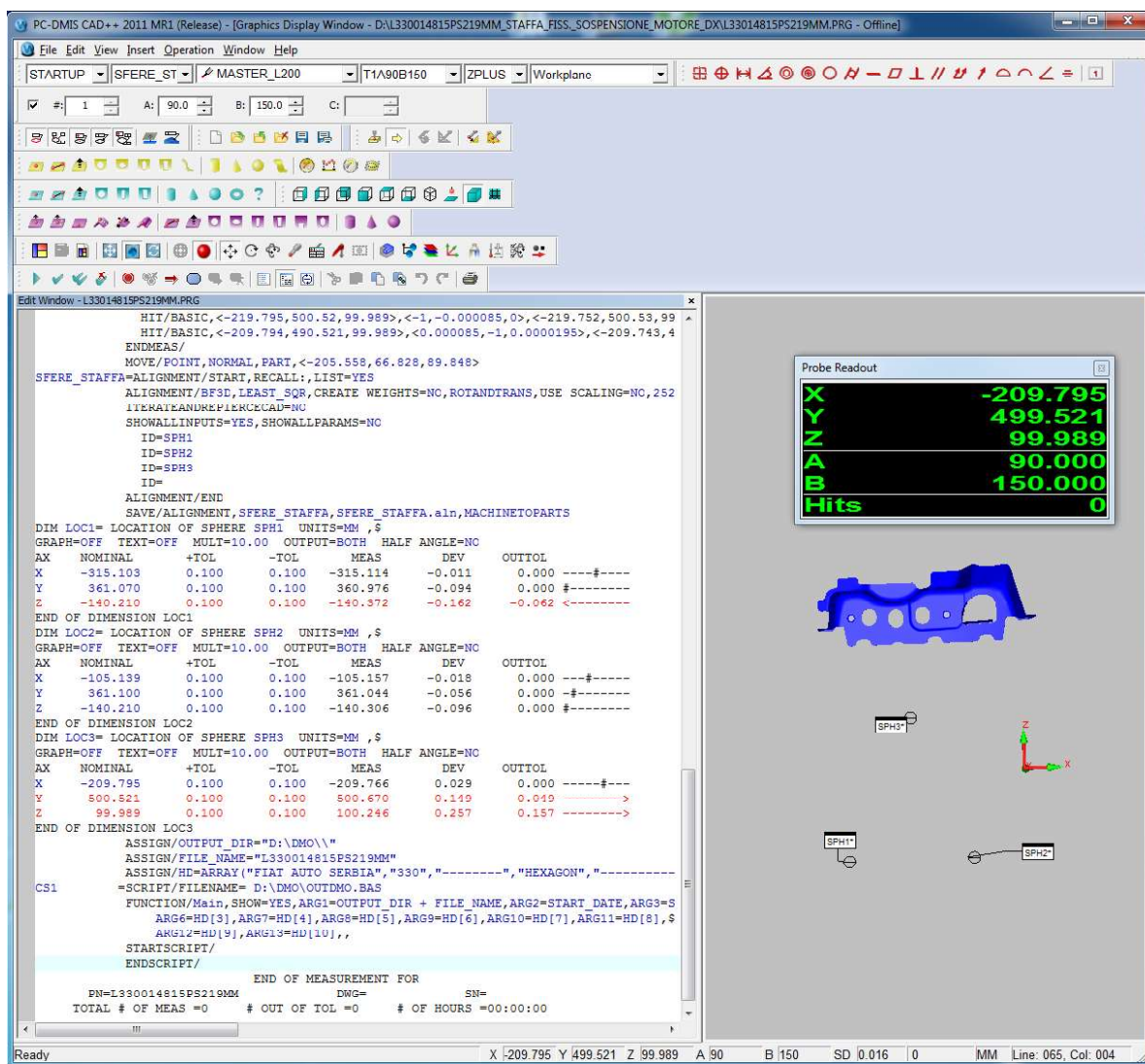
Слика 47: *Dimension toolbar*

У *Dimension toolbar*-у бирамо прву иконицу *Location Dimension* после чега нам се отвара нови прозор у коме видимо све креиране геометријске елементе, у овом случају 3 сфере, могуће је штампање разних карактеристика сфере, ми бирамо позиције по осама X, Y, Z и потом уносимо толеранције плус/минус 0.1 мм (слика 48):



Слика 48: Креирање резултата мерења сфера

Сада се у главном прозору за едитовање појављују резултати поравнања референтних сфера, видимо да је поравнање прошло добро, да су све сфере у толеранцији по осама по којим су дефинисане (слика 48):

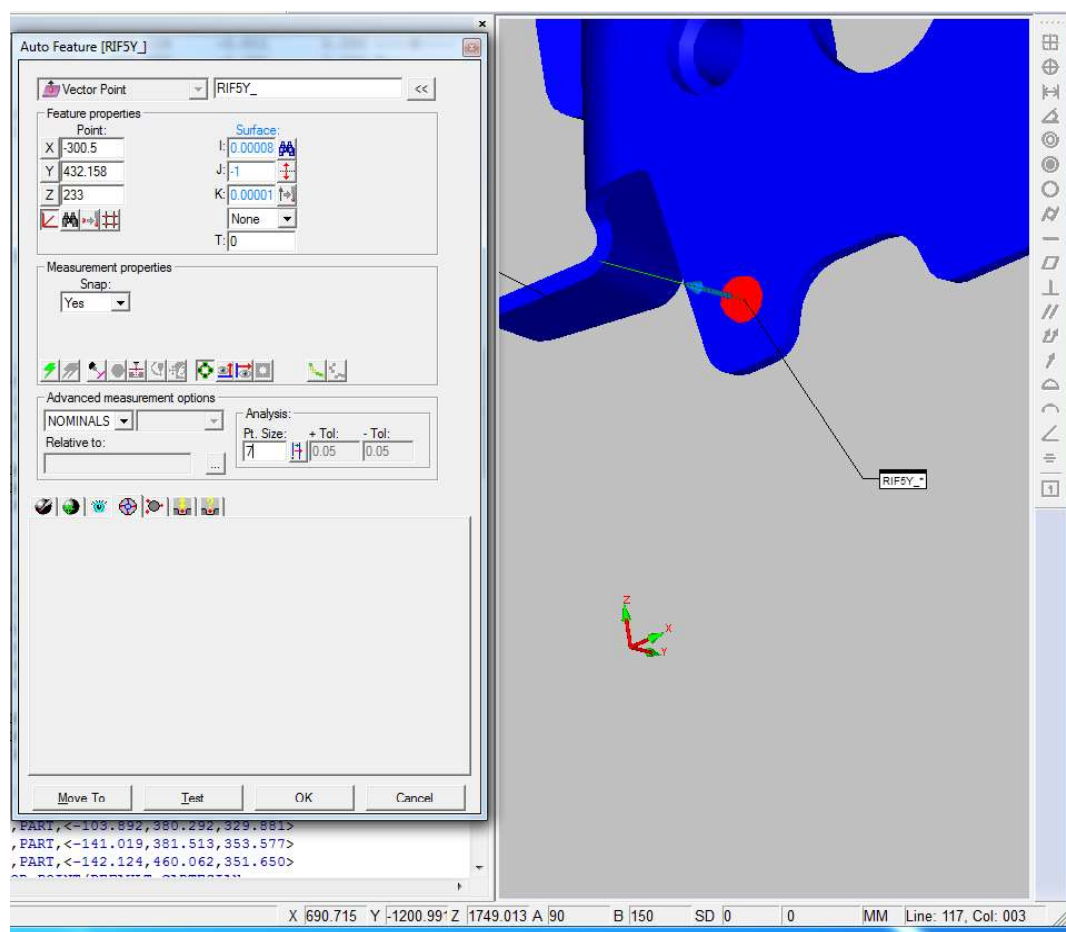


Слика 49: Резултати поравнања сфера (контролника)

Сада је потребно позиционирати део на контролник, и поравнати га у односу на координатни систем контролника, одступања без поравнања између координатних система контролника и самог дела су мала, али ипак постоје, да би били сигурни поравнавамо део системом 3-2-1. Разлика између *BEST FIT*-а и система поравнања 3-2-1 је у томе што код *BEST FIT*-а имамо само један круг мерења референтних тачака на делу, док код система 3-2-1 можемо задати више кругова мерења, или више итерација, па се због тога поравнање 3-2-1 зове и итеративно поравнање - *Iterative alignment*.

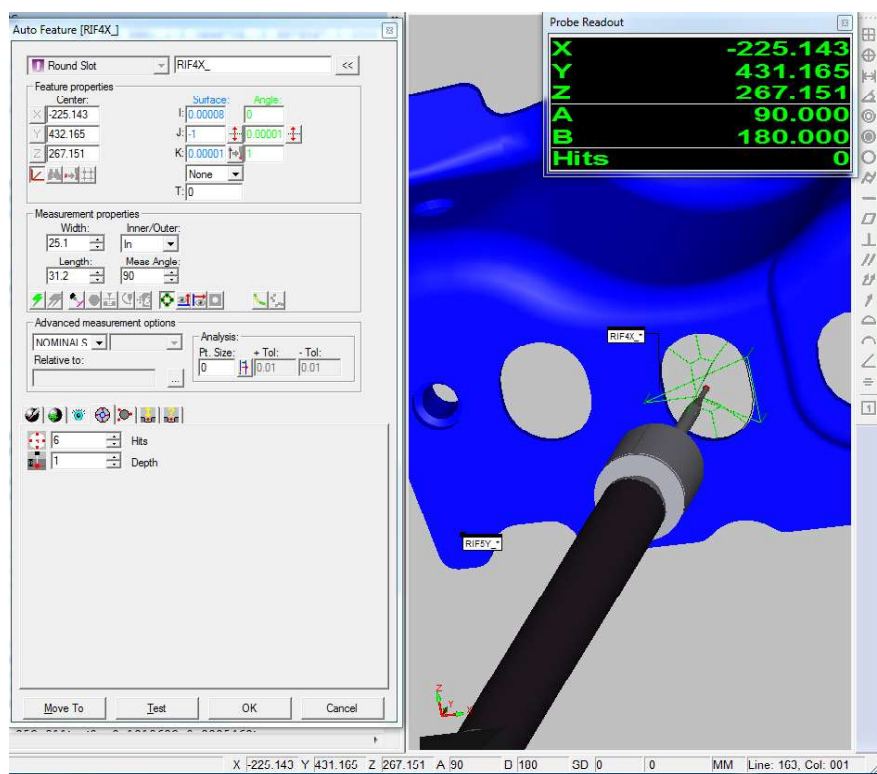
5.6. Креирање поравнања радног комада у PC-DMIS-у

Сада је потребно креирати референтне тачке радног комада, крећемо од тачке RIF5Y. Када креирамо тачку уочавамо да је дефинисана вектором на математичком моделу (слика 50), и да је тај вектор $j = -1$, што значи да је тачка позиционирана идеално у правцу $+Y$ осе, осим што има супротан смер, вектор је врло битан, јер координатна мерна машина напада врх вектора, то јест ако би окренули вектор на другу страну тако да има смер $+Y$ осе координатна мерна машина би тежила да тачку измери са друге стране дела, и дошло би до судара, зато се посебна пажња мора обратити на смер вектора при креирању свих геометријских елемената.

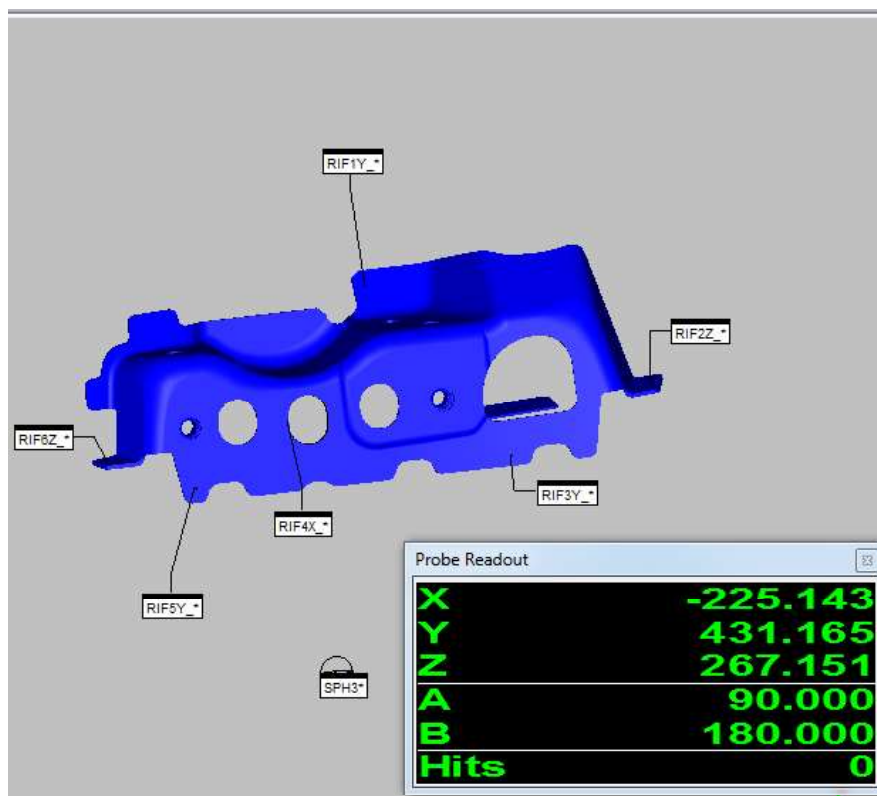


Слика 50: Креирање тачке у PC-DMIS-у

Следећа ствар коју креирамо јесте RIF4X, у овом случају у питању је слот, сваки отвор је могуће креирати укупцавањем координата или кликом на ивицу отвора на самом CAD моделу. Видимо да се слот мери са три тачке по равни око отвора, и са 6 тачака унутар отвора (слика 51), тј. после 3 тачке у равни мерна машина прорачунава правац вектора самог слота који је управан у односу на измерену раван, и у односу на тај правац мери отвор, тј. проналази његову позицију, на исти начин се мери и круг са тим што је минималан број тачака за мерење круга 3.

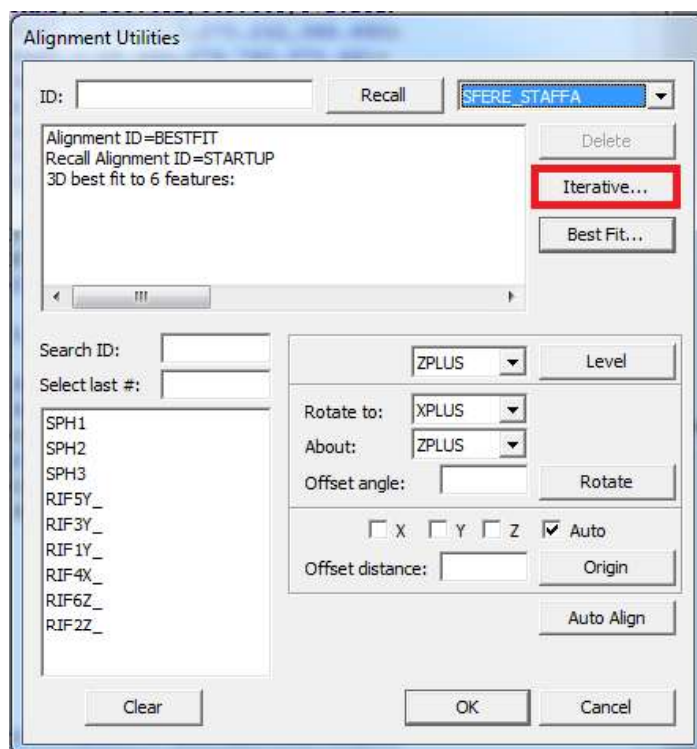
Слика 51: Креирање слота у *PC-DMIS*-у

Све остале референтне тачке креирамо као и RIF5Y, и водимо рачуна о смеру вектора. Све креиране референтне тачке приказане су на слици 52.



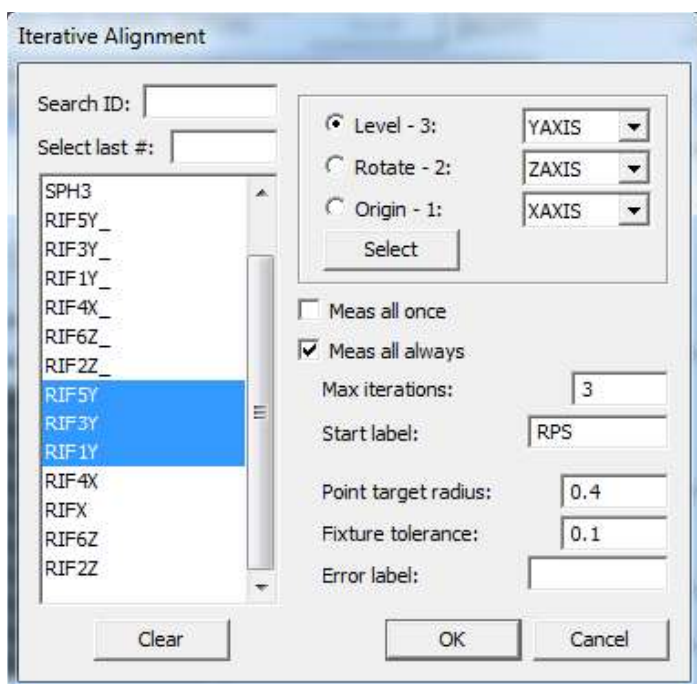
Слика 51: Референтне тачке

Сада је потребно поравнати део у односу на контролник, као и код контролника идемо на *Insert*→*Alignment*→*New*, потом бирамо наше поравнање контролника у падајућем менију *Recall*, затим бирамо *Iterative alignment* (слика 52):

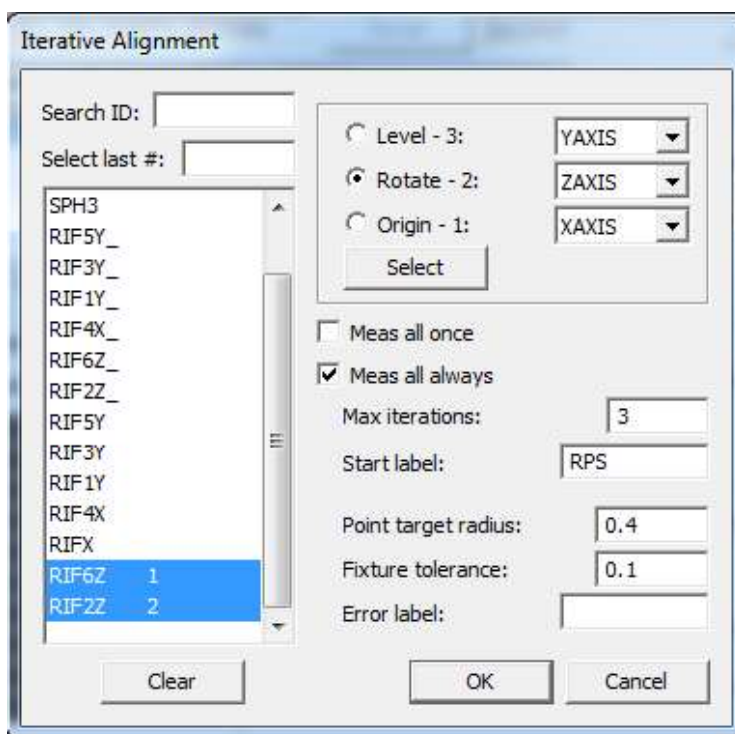
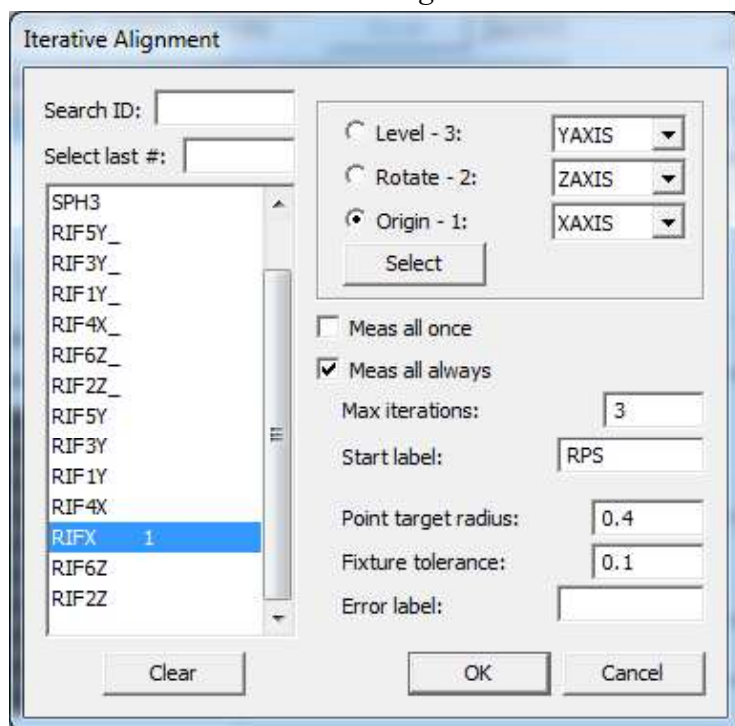


Слика 52: *Iterative alignment*

Сада креирамо систем 3-2-1 са дефинисаним референтним тачкама, процес је приказан на сликама 53, 54 и 55.



Слика 53: *Iterative alignment -Level*

Слика 54: *Iterative alignment - Rotate*Слика 55: *Iterative alignment – Origin*

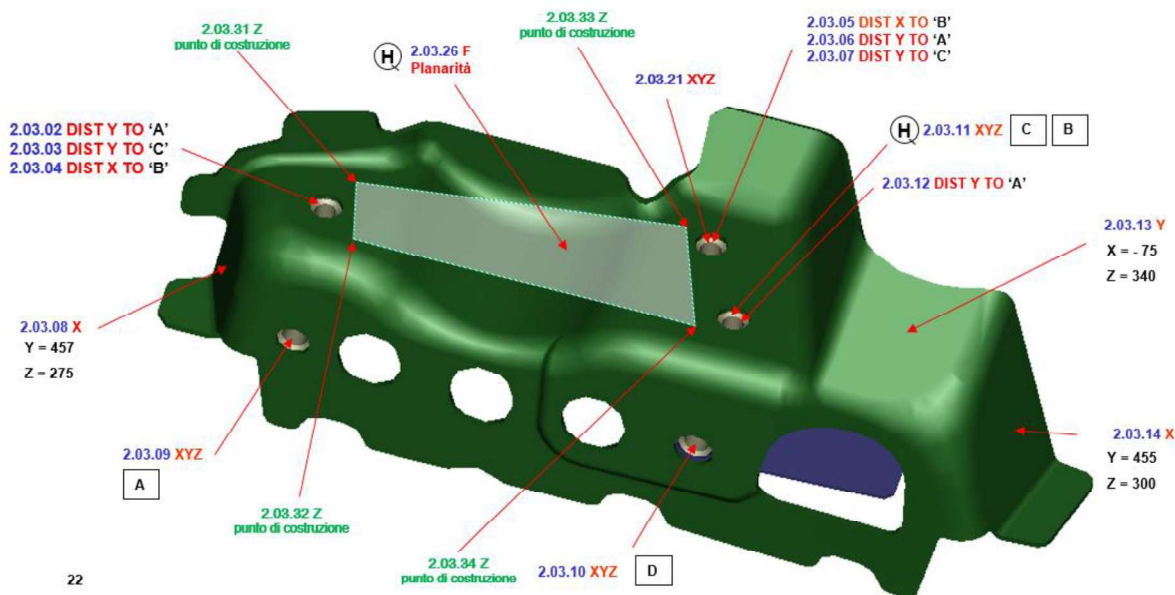
Уписујемо максималан број итерација 3, што значи да ће координатна мерна машина извршити три круга мерења свих референтних тачака на делу, креирамо *Start label* – *RPS* (слика 55 и слика 56), да би ограничили одакле креће мерење, јер у овом случају не желимо да меримо сфере, а координатна мерна машина би без *Start label*-а, мерење итеративног поравнања почела од првог креираног геометријског тела у програму.

```
TIP/T1A90B150, SHANKIJK=0.001, -0.872, 0.489, ANGLE=90.14
RPS      =LABEL/
          MOVE/POINT,NORMAL,PART,<-297.609,318.639,284.012>
RIF5Y    =FEAT/CONTACT/VECTOR POINT/DEFAULT,CARTESIAN
          THEO/<-300.5,432.158,233>,<0.000085,-1,0.0000195>
          ACTL/<-300.84,432.089,233.088>,<0.0004371,-0.9999994,0.0010429>
          TARG/<-300.5,432.158,233>,<0.000085,-1,0.0000195>
          SNAP=YES
          SHOW FEATURE PARAMETERS=NO
          SHOW CONTACT PARAMETERS=YES
          AVOIDANCE MOVE=BOTH,DISTANCE=30
          SHOW HITS=YES
```

Слика 55: *Start label – RPS*

Координатна мерна машина би се у случају мерења на овај начин после једне мерење тачке кретала најкраћим растојањем до следеће тачке, у том случају би сигурно дошло до судара координатне мерне машине и дела, или контролника, да би то избегли креирамо позиције у простору по којима се координатне мерна машина креће, што је одмах испод *Start label*-а приказано на слици 55 (MOVE/POINT.....).

Сада је потребно креирати све контролне карактеристике које су дефинисане контролним планом (слика 56 и слика 57), видимо да имамо разне тачке, позиције отвора, као и дистанце између геометријских елемената, на слици 56 видимо и 4 тачке које образују раван, па нас ту занима уравњеност.



Слика 56: Контролни план радног комада 1

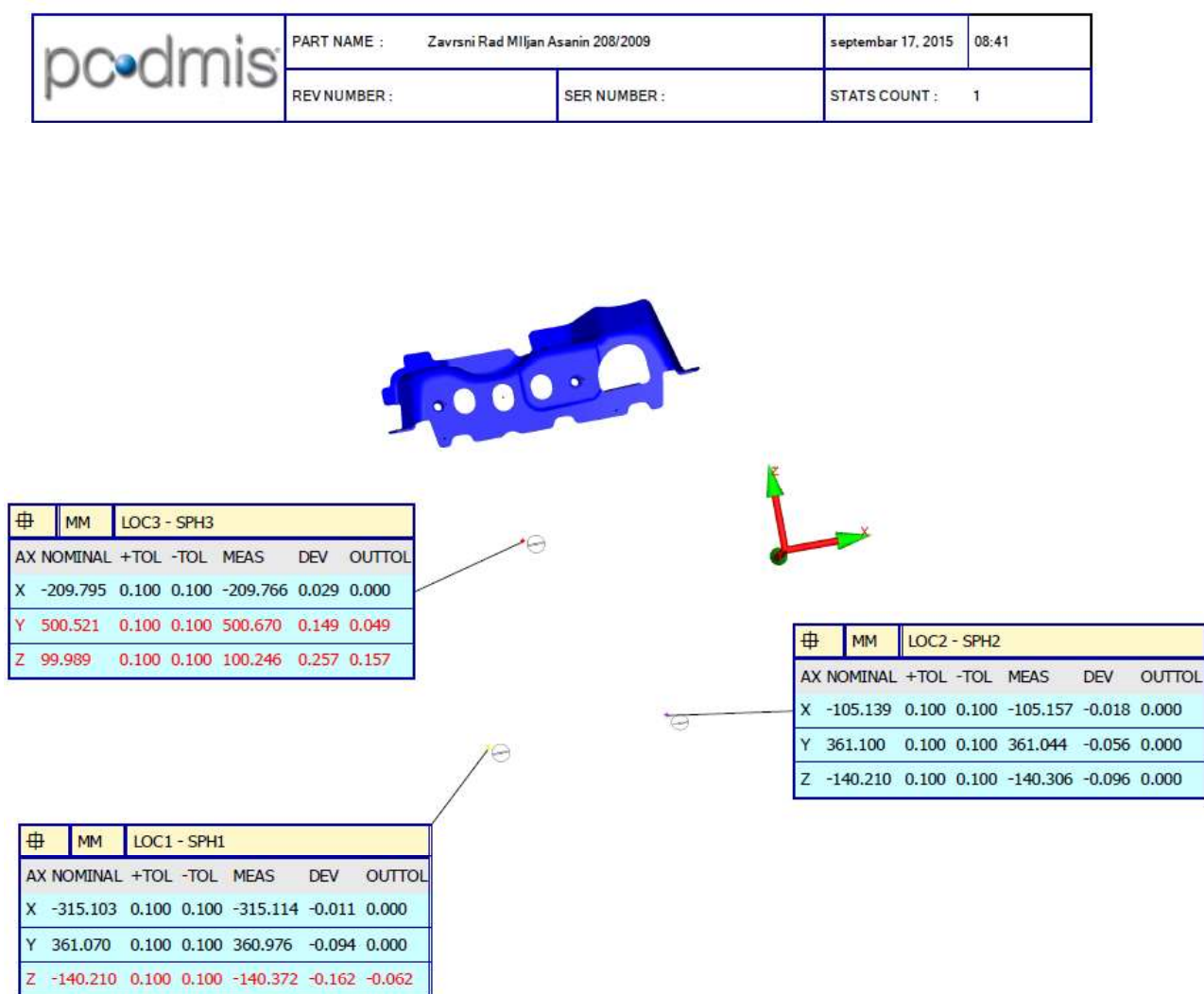


Слика 58: Сви елементи по контролном плану

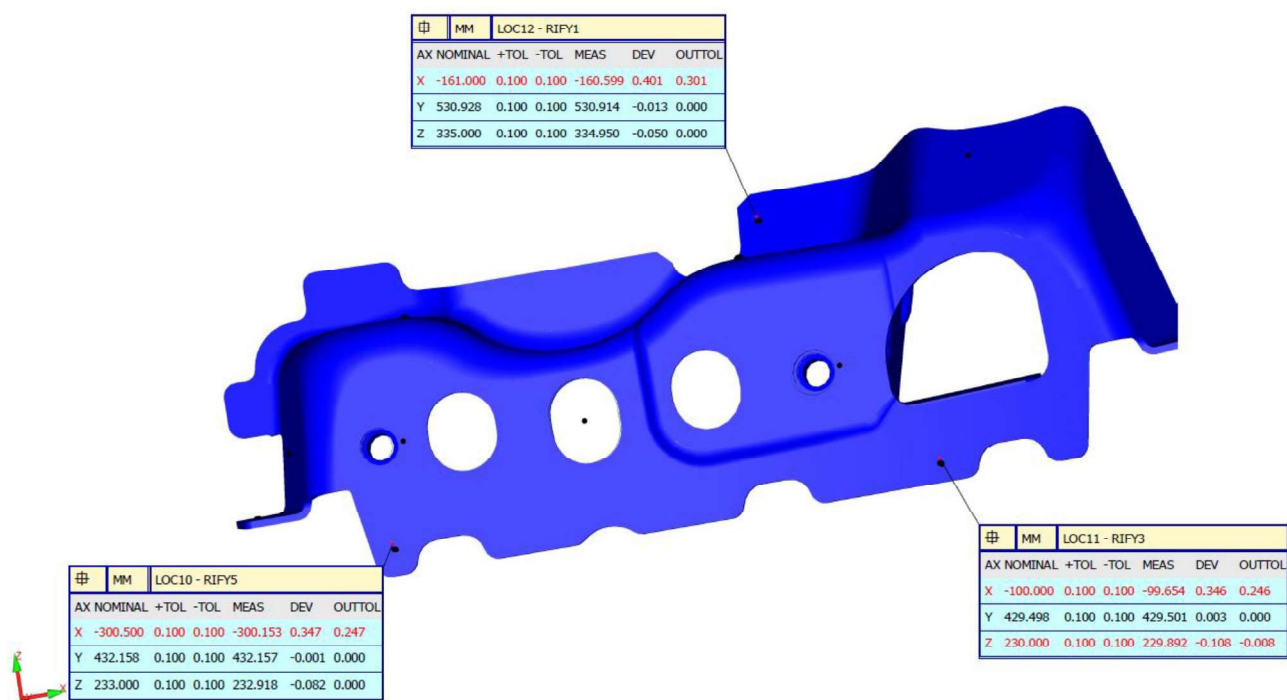
Када завршимо креирање и мерење тачака, потребно је одштампати резултате свих мерења, као и свих креираних поравнања, резултати се обично прате другим софтверима, који су за то специјализовани. Обично се креирају дијаграми са одређеним мерењем свих карактеристика засебно, и на основу резултата мерења се врше преправке алата, позиција заваривања, као и мноштва других ствари који могу бити узрочници деформитета дела у одређеном подручју.

5.7. Резултати мерења дела

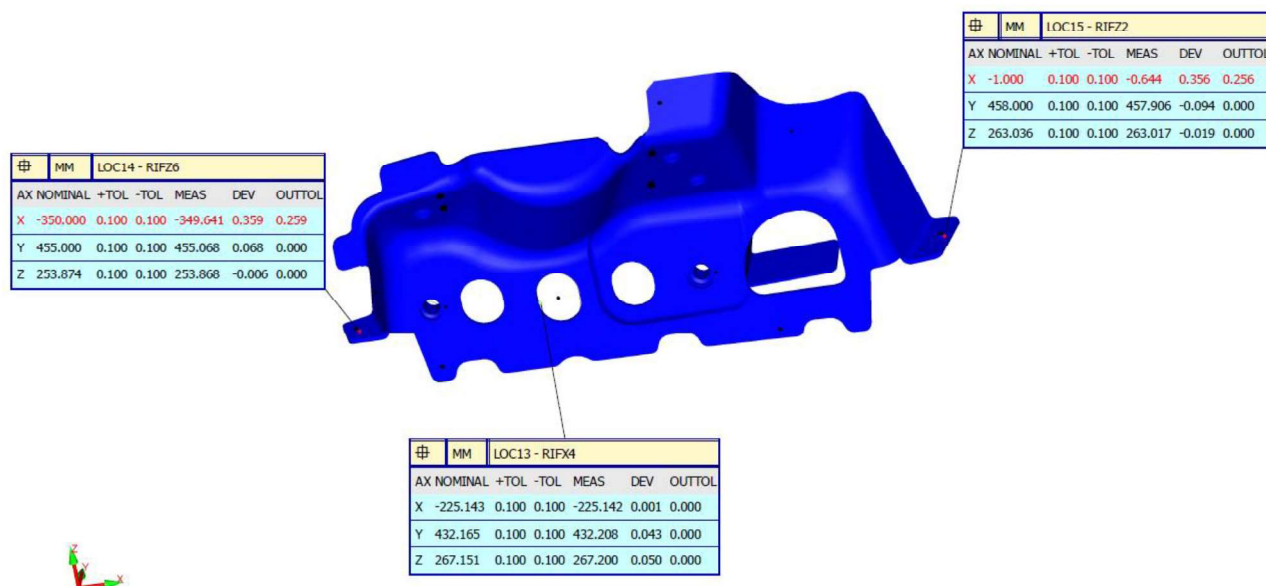
Резултати мерења биће приказани на следећих неколико слика.



Слика 59: Резултати – поравнање по сферама



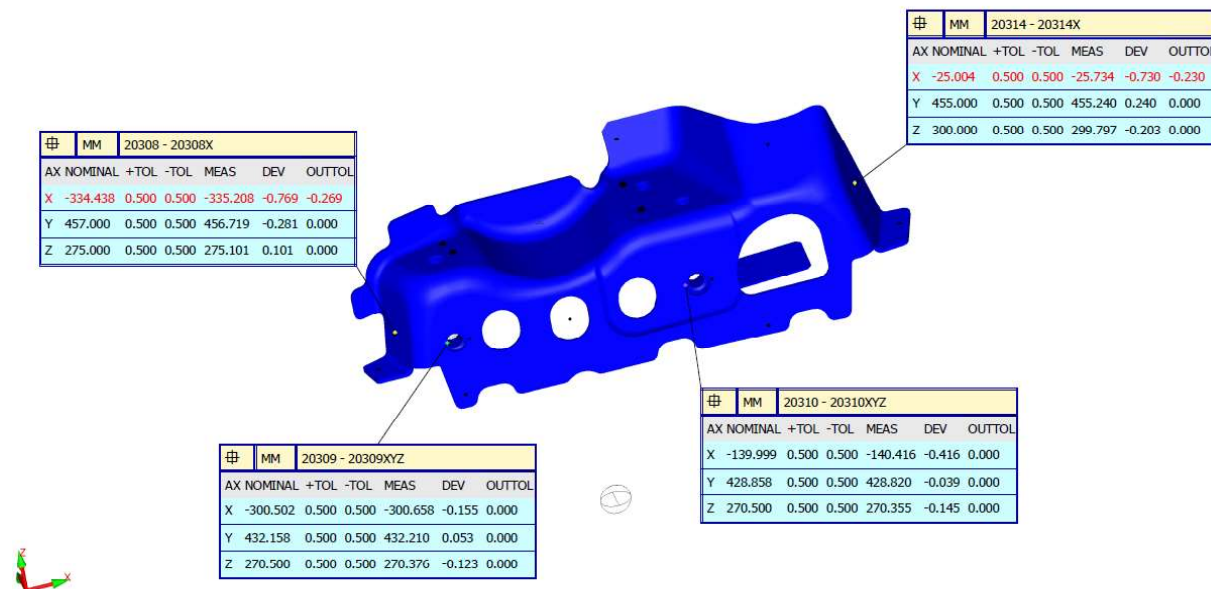
Слика 60: Резултати - поравнање радног комада 1



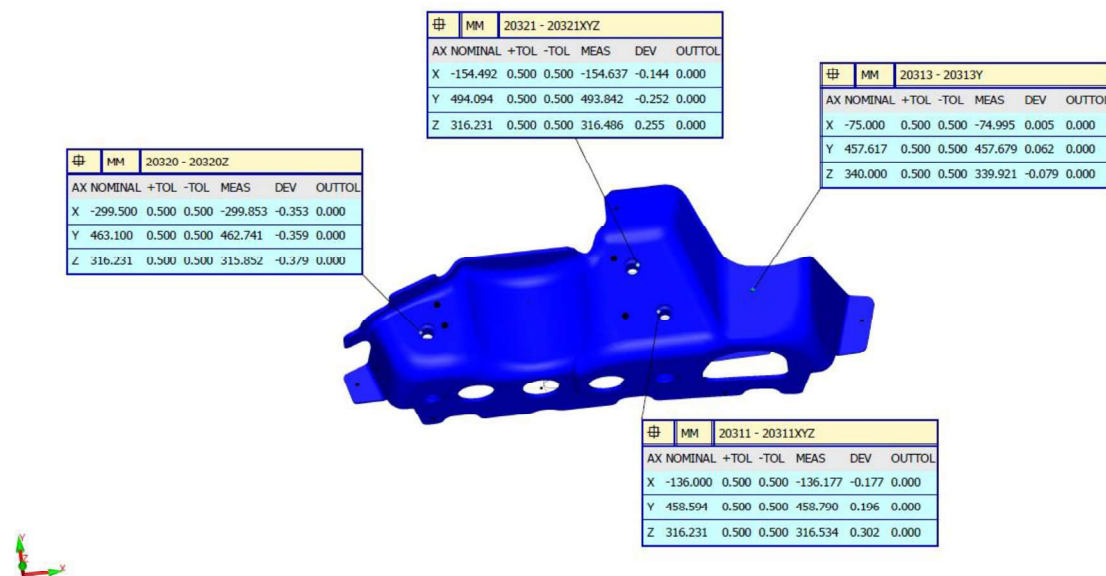
Слика 61: Резултати - поравнање радног комада 2

podmis	PART NAME :	Završni Rad Miľjan Asanin 208/2009	septembar 17, 2015	08:44
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT :	1

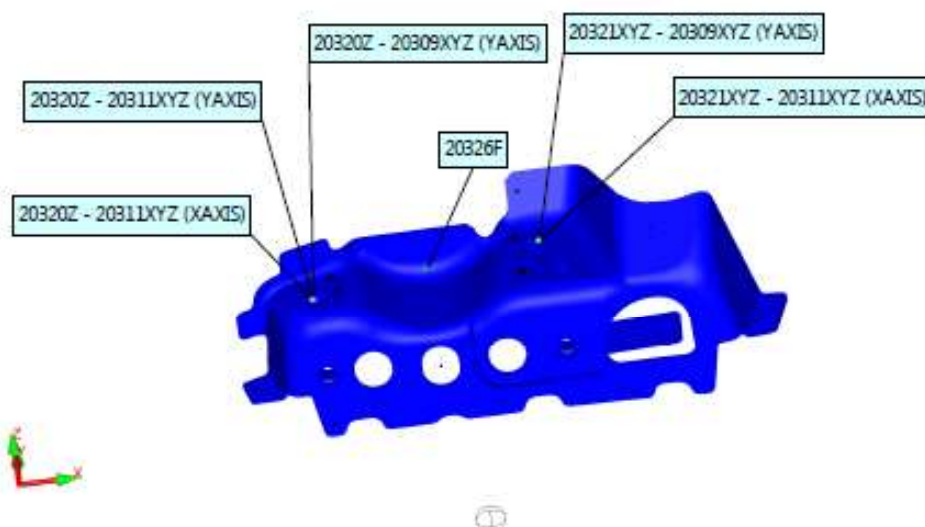
1 / 2



Слика 62: Резултати – карактеристике 1

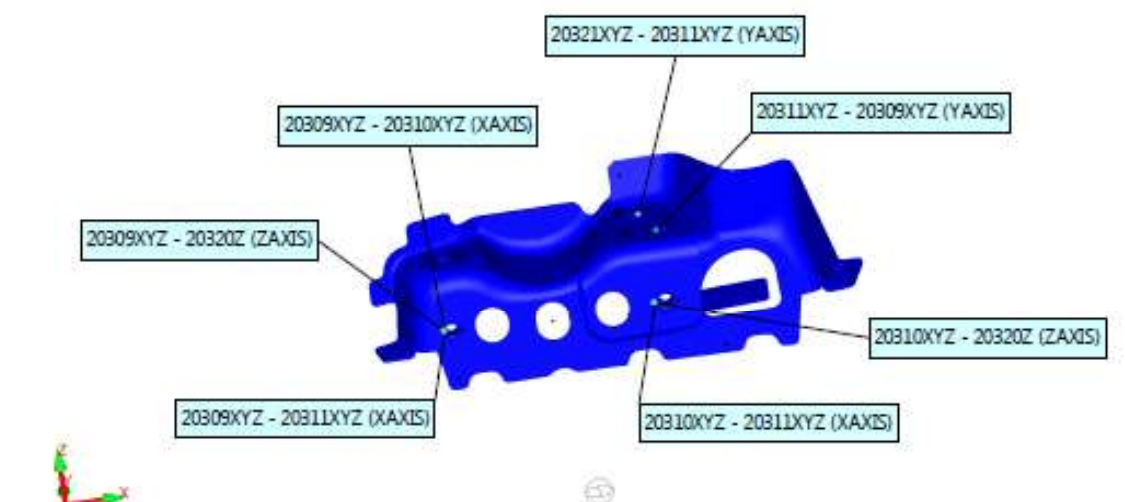


Слика 63: Резултати – карактеристике 2



pocdmis		PART NAME : Završni Rad Miļan Ašanin 208/2009				september 17, 2015		08:55					
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1							
		MM		20326 - 20326F									
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL	
M		0.000		0.500		0.000		0.077		0.077		0.000	
		MM		20302 - 20320Z TO 20309XYZ (YAXIS)									
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL	
M		30.942		0.700		0.700		30.531		-0.411		0.000	
		MM		20303 - 20320Z TO 20311XYZ (YAXIS)									
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL	
M		4.506		0.700		0.700		3.951		-0.555		0.000	
		MM		20304 - 20320Z TO 20311XYZ (XAXIS)									
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL	
M		163.500		0.700		0.700		163.676		0.176		0.000	
		MM		20305 - 20321XYZ TO 20311XYZ (XAXIS)									
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL	
M		18.492		0.700		0.700		18.460		-0.032		0.000	
		MM		20306 - 20321XYZ TO 20309XYZ (YAXIS)									
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL	
M		61.937		0.700		0.700		61.631		-0.306		0.000	

Слика 64: Резултати – карактеристике 4



↔	MM	20307 - 20321XYZ TO 20311XYZ (YAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	35.500	0.700	0.700	35.052	-0.448	0.000	
↔	MM	20312 - 20311XYZ TO 20309XYZ (YAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	26.437	0.700	0.700	26.580	0.143	0.000	
↔	MM	20318 - 20309XYZ TO 20310XYZ (XAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	160.503	0.700	0.700	160.242	-0.261	0.000	
↔	MM	20325 - 20310XYZ TO 20311XYZ (XAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	3.999	0.700	0.700	4.239	0.240	0.000	
↔	MM	20319 - 20309XYZ TO 20311XYZ (XAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	164.502	0.700	0.700	164.481	-0.021	0.000	
↔	MM	20316 - 20309XYZ TO 20320Z (ZAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	45.731	0.700	0.700	45.475	-0.256	0.000	
↔	MM	20317 - 20310XYZ TO 20320Z (ZAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	45.731	0.700	0.700	45.497	-0.234	0.000	

Слика 65: Резултати – карактеристике 5

6. ЗАКЉУЧАК

Координатна метрологија која укључује координатне мерне машине не представља само систем за решавање задатака мерења. Она се увек користи када се мери или проверава 3Д геометрија радног комада. Коришћење координатних мерних машина је значајно и када број карактеристика комада расте и када треба постићи малу мерну несигурност мерних резултата. Економска примена резултата координатне метрологије не користи само за проверу квалитета него служи за континуалну производњу и извођење процеса у затвореној спреси. У поређењу са класичним поступцима предност координатних мерних машина је у чињеници да се мерења практично могу извести готово аутоматизовано. У класичним поступцима користи се низ различитих мерних средстава за готово сваку функцију мерења. То опет повлачи и добро планирање и искуство извршиоца у избору мерних средстава. Сва конвенционална мерења захтевају време, различита мерна средства искусне извршиоце. То на крају даје резултат и трошковима, који постају саставни део цене производа. Због тога координатна метрологија има предности у односу на класични приступ мерењу и контроле.

У овом раду су описане координатне мерне машине, принцип рада, њихова калибрација, поступак мерења и типови координатних машина, као и софтвер *PC-DMIS* за мерење геометрије модела. Такође је приказан опис координатне мерне машине *Zeiss Pro Select*. Извршено је програмирање мерне машине и мерење геометријских величина и толеранција облика, положаја и грешака при испитивању тачности израде дела сложене геометрије.

После мерења добија се више различитих излазних извештаја на којима се уочавају девијације. У зависности од површине која се испитује, добија се и различита вредност мерења. Различитости мерења у зависности од техничке документације могу се видети на извештајима мерења који су приказани у раду.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мајсторовић В., Ходолич Ј. "Нумерички управљане мерне машине", Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, 1998, Нови Сад
- [2] Јешић Д., Мерна техника, Машински факултет Бања Лука, 2004, ИСБН 99938-39-06-Х
- [3] Заимовић Н. -Узуновић, Мјеритељска инфраструктура, Машински факултет у Зеници 2003, ИСБН 9958-617-16-1
- [4] Beckwith T., R.D. Marangoni: Mechanical Measurements, AdisonWesley, ISBN 0-201-56947-7
- [5] Bosch J.A.: Coordinate Measuring Machines, Marcel Dekker, ISBN 0824795814
- [6] Лазић М., Основи Метрологије, Универзитет "Светозар Марковић", Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 1987.
- [7] PC-DMISCoreManual, HexagonMetrology, 2012.
- [8] PC-DMISCMManual, HexagonMetrology, 2012