

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Индустијски инжењеринг

Предмет: Производни системи

Број индекса: 67/2009

Игор Н. Илић

**Провера тачности координатне мерне руке уз
помоћ мерних еталона и Koba step gauge-а**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Миладин Стефановић

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Резиме:

У оквиру овог рада представљено је мерење мерних еталона као и Koba Step Gauge-а помоћу којих смо испитивали тачност наше координатно мерне руке Faro Arm Platinum. Такође је дат кратак опис мерне машине као и софтвера PC-DMIS у коме се испитивање обављало.

Кључне речи: Мерење, машина, испитивање, величина, координата, мерна рука

Abstract:

This paper presents the measurement of measuring standards and Koba Step Gauge through which we have examined the accuracy of our coordinate measuring arm Faro Arm Platinum. It also provides a brief description of the measurement equipment and software PC-DMIS by which the test is performed.

Keywords: Measurement, machine, testing, size, coordinates, measurement arm

Препоручена литература:

- [1] М. Лазић Основи метрологије, Универзитет “Светозар Марковић”, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 1987;
- [2] PC-DMIS CoreManual, HexagonMetrology, 2012.
- [3] PC-DMIS CMM Manual, Hexagon Metrology, 2012
- [4] М. Лазић, Б. Недић Обрада метала резањем, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 2007

ИЗЈАВА О САМОСТАЛНОЈ ИЗРАДИ РАДА

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

У Крагујевцу

Потпис

Датум _____

Садржај:

1. Увод.....	1
2. Основе метрологије и координатно мерна техника	2
2.1 Тачност и прецизност мерења	2
2.2 Еталони мерних јединица.....	3
2.3 Координатна мерна техника.....	4
3. Карактеристике координатно мерних машина	5
3.1 Конструктивне карактеристике координатно мерних машина	5
3.2 Карактеристике софтвера	5
3.3 Контактни сензори на координатно мерним машинама	6
3.3.1 Крути сензори	6
3.4 Калибрација и верификација мерног пипка	9
3.5 Мерење тачка по тачка.....	10
3.6 Координатни системи	10
3.7 Елементарни геометријски облици.....	10
3.8 Програмирање координатно мерних машина	11
3.9 Стратегија мерења	12
4. Мерне руке и мерни еталони	14
4.1 Мерне руке	14
4.1.1 Мерни систем Faro	16
4.1.2 FARO Platinum рука	17
4.1.3 Faro 3D ласер скенер	18
4.2 Паралелна гранична мерила (мерни блокови)	19
4.2.1 Толеранцијски мерни прстен	23
4.3 KOBAS step (степенasti еталон)	23
4.3.1 KOBAS STEP mini (степенasti еталон).....	26
4.4 Standard ISO 10360-2.....	27
5. Провера тачности координатно мерне руке и резултати мерења	28
5.1 Софтверски пакет PC-DMIS	28
5.1.1 Калибрација и конфигурисање уређаја	29
5.1.2 Креирање новог парт програма.....	32
5.1.3 Дефинисање мерног пипка	32
5.1.4 Подешавање погледа	34
5.2 Провера тачности координатне мерне руке помоћутолеранциског мерног прстена	34
5.3 Провера тачности координатне мерне руке помоћу Koba stepgauge-a... 43	
5.4 Коментари мерења	47
6. Закључак.....	49
Литература:.....	50

1. Увод

Почеци метрологије дотирају још у 18. веку, односно за период око француске револуције која је дала значајан подстрек њеном развоју. Наиме у том периоду зачала се идеја о стварању децималног метарског система и о усвајању дефиниције за јединицу дужине-метар. Након потписивања Међународне метарске конвенције 20. маја 1875. године у Паризу, којој су током времена приступиле скоро све развијене земље, метрологија се као наука од општег интереса убрзано развијала.

У овом раду је приказано мерење помоћу координатне мерне руке *Faro Arm Platinum* која се користи за мерење и контролу квалитета делова применом софтверског пакета PC-DMIS, као и контрола тачности саме мерне машине.

У првом делу овог рада су описане основе метрологије и мерења, тачност и прецизност мерног система, конструктивне карактеристике координатно мерних машина, као и подела сензора.

Други део рада обухвата принцип рада мерног система *Faro Arm Platinum* и одабраног софтверског пакета PC-DMIS, кратак опис еталона које ћемо користити као и целокупан поступак мерења.

У трећем и завршном делу дато је извршење и код парт програма као и подешавање извештаја мерења.

2. Основе метрологије и координатно мерна техника

Мерење је одређивање бројних вредности физичких величина уз помоћ којих се остварују законитости појава које се испитују. Измерити неку величину, значи утврдити њен бројни однос са неком другом истородном величином, која је усвојена као мерна јединица. При мерењу је потребно обезбедити податке о различитим физичким величинама: дискретним и непрекидним, константним и промењивим, зависним и независним.

Основне величине су: дужина, маса, време, јачина електричне струје, темепература, количина материје, јачина светлости. Изведене величине су: површина, брзина, запремина итд. Због тога, мерење се сматра процесом физичког изједначавања дате величине са њеном физичком вредношћу која је узета за јединицу мере. Полазећи од оваквог става и ако се уведу ознаке Q за мерену величину, $[Q]$ за мерну јединицу и q за бројну вредност величине која се мери у усвојеним мерним јединицама, може се написати израз: $Q = q [Q]$. На тај начин резултат мерења се представља као квантитативна информација о основним својствима мерног објекта, добијена као резултат физичког процеса са одређеним степеном тачности.

Стотинама година уназад, коришћене су ручне мерне алатке као што су микрометар и остала помична мерила. Међутим, због механичке једноставности, ручни алати могу да пруже само основна мерења, као што су дужина, ширина и дебљина. Ако је потребно измерити сложене димензије, као што је облик (равност, кружност итд.) или растојање центара две рупе, потребни су софистициранији мерни системи.

Савремена метрологија је наука о мерењима, методама и средствима обезбеђења њиховог јединства и начина постизања потребне тачности. Метрологија се дели на општу (теоријску и експерименталну) и примењену. Општа метрологија се бави фундаменталним истраживањима и стварањем система мерних јединица, еталона и физичких константи, док примењена метрологија решава практичне проблеме мерења.

Производна метрологија је део примењене метрологије која се бави техником извођења мерења и изучавањем скупа правила, мерних уређаја и неопходних мера за обезбеђење потребне тачности мерења.

2.1 Тачност и прецизност мерења

Са појмом грешке мерења неке величине, директно је повезана тачност (T) и прецизност (P) мерења. Под тачношћу мерења подразумева се, у општем

случају, квалитет или ваљаност мерења, тј. степен блискости (слагања) између резултата мерења и праве вредности мерене величине.

Тачност мерења неке величине утолико је већа, уколико је мања грешка њеног мерења. Отуда се преко грешке мерења квантитативно изражава тачност мерења дате величине. Прецизност мерења дефинише се поновљивошћу мерних резултата, односно степеном расипања или узајамног подударења појединих мерних резултата. Ти резултати добијени су узастопним, вишеструким понављањем мерне операције над неком мерном величином, чија је вредност временски независна (константна). То значи да је прецизност неког мерења већа, уколико је мање међусобно расипање појединих вредности резултата мерења у скупу резултата поновљених мерења, или уколико је међусобно подударење ових вредности веће.

2.2 Еталони мерних јединица

Еталон јединице је средство мерења, или скуп средстава мерења које обезбеђују репродуковање и чување јединице са циљем да се она пренесе на мерила ниже класе тачности, односно на мерила која стоје ниже на хијерархијској шеми мерила. У производној метрологији најважнији еталони су за мерење дужине (1m) и угла.

Еталонирањем се одређују карактеристике мерила, мерног система, или референтног материјала. Ово се постиже преко непосредног поређења мерила са еталоном или овереним референтним материјалом. Потом се издаје уверење о еталонирању и у већини случајева на мерило се ставља налепница.

Четири основна разлога због чега се мерило подвргава еталонирању:

- да се успостави и докаже следивост,
- да се обезбеди конзистентност вредности очитаних мерилем са другим мерењима,
- да се одреди тачност вредности очитаних мерилем,
- да се успостави поузданост мерила, односно да се у мерило може имати поверења.

Еталони се према класи тачности деле на:

- Примарни еталони
Еталон који је означен или широко признат да има највише метролошке квалитете и чија је вредност прихваћена без упућивања на друге еталоне исте величине.

- Секундарни еталони
Еталон чија је вредност прописана поређењем са примарним еталоном исте величине.
- Референтни еталон
Еталон, који углавном има највиши метролошки квалитет расположив у датом месту или у датој организацији, из кога се изводе мерења која се врше.
- Радни еталон
Еталон који се редовно користи за еталонирање или контролу материјализованих мера, мерила или референтних материјала.

2.3 Координатна мерна техника

Повећање захтева за квалитетом и повећање производње упоредно се решава аутоматизацијом технолошког процеса и обрадних система, у које је најчешће укомпоновано и аутоматизовано мерење и контрола. Међутим, тамо где је аутоматизација обраде решавања помоћу појединачних, специјалних нумерички управљаних машина и то у мало и средње серијској производњи, наметнула се и нова техника мерења са широким мерним могућностима - координатна мерна техника (CMT).

Координатна мерна машина се у радионици може поставити као посебна мерна јединица или се може укључити у аутоматизовани обрадни процес и стварни систем CMM-NU.

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.

Напретком технологије представљени су робусни, преносиви 3D мерни алати, са високим нивоом тачности. Убрзавањем дигитализације сложених делова и окружења, 3D технологија мерења омогућава корисницима лаку проверу калитета производа.

3. Карактеристике координатно мерних машина

3.1 Конструктивне карактеристике координатно мерних машина

Конструктивно извођење координатних мерних машина зависи од потреба с'обзиром на мерне захтеве, место постављања машине, захтеване тачности, методе мерења и друго.

Координатна мерна машина може бити конструктивно изведена као:

- стубна
- конзолна
- портална
- мостовна
- ротирајућа преносна мерна рука (portable articulating arms)

Преносне мерне руке се разликују од традиционалних координатних мерних машина. Оне најчешће долазе у форми зглобне руке. Ове руке имају шест или седам обртних оса са цилиндричним енкодерима.

Према броју оса може бити:

- једнокоординатна и представља прецизне машине за дужинска мерења (спољња и унутрашња)
- двокоординатна, за мерење равни и
- трокоординатна, за просторна мерења.

3.2 Карактеристике софтвера

Паралелно са развојем hardware-а CMM (опрема) развија се и специфична софтверска подршка (програми). Опсег данас развијених програма обухвата готово све мерне потребе и задатке.

Неке основне потребе које овакви програми треба да испуњавају су:

- Аутоматски се подешава смер кретања мерног пипка и мерна равна.
- Могућност ручног или аутоматског калибрисања.
- Трансформација и прерачунавање координата је аутоматско, па није потребно подешавање нултог положаја.
- Програми се израђују по модулном принципу, тако да се њиховим слагањем добија комплетан програм за неко мерење

- Дијалог између оператора и рачунара је једноставан (у облику исписаног текста).
- Аутоматско (Компјутерско нумеричко управљање) памћење при ручном мерењу првог комада без коришћења рачунарског језика.

За геометријско описивање мерног задатка користе се основни геометријски облици: тачка, права, површина, круг (елипса), цилиндар, конус, кугла. За ове облике израђени су под програми, чијом се комбинацијом тада слаже комплетан стандардни програм за мерење.

Први језик који је развијен за потребе програмирања на CMM је био NCMES (Numerical Controlled Measuring and Evaluation System - Систем за мерење и вредновање са нумеричким управљањем).

Као резултат мерења се добија мерни протокол који садржи све потребне податке: регистарски број мерног резултата (за потребе накнадног позивања), метода мерења, номинална мера са прописаном толеранцијом и одступање.

3.3 Контактни сензори на координатно мерним машинама

Функција CMM је аквизиција информација са мереног дела, углавном у форми Декартових координата. Уређаји који обезбеђују ове врсте информација називају се сензори.

Сензори су прошли кроз значајну еволуцију у последњих 25 година и данас су доступни у бројним, различитим облицима, све у циљу обезбеђења решавања било ког практичног проблема.

Сензори се, поред у основним метролошким карактеристикама, разликују према основним физичким принципима на којима су засновани.

Према методи на бази које сензор омогућава прикупљање информација са дела који се мери, разликују се две велике фамилије сензора:

- Тактилни сензори
- Безконтактни или оптоелектронски сензори.

3.3.1 Крути сензори

Сферни крути сензори користе се тако што корисник ручно доводи сферу у физички контакт са тачком коју мери, затим дугметом (или педалом) омогућава снимање координата центра сфере сензора путем мерног система појединих оса. Координате тачке контакта се добијају сабирањем вектора положаја центра сфере и правца у коме је предмет додирнут. Крути сензори се производе у разним

облицима и димензијама, у зависности од облика који се мери. Примена крутих сензора је и даље изражена код координатних мерних машина типа мерне руке.

3D мерне руке су са развојем квалитетнијих зглобних веза (цилиндричних и сферних) између сегмената, као и рачунарске подршке за читавање позиције сензора, прерасли у модерне уређаје за 3D мерење. Развој ове врсте уређаја је, захваљујући њиховој флексибилности и мобилности, процесе мерења, традиционално везане за лабораторијске услове, изместио ван ових оквира.

Конструкцију ових уређаја чине сегменти (најчешће 3 или 4) који су повезани цилиндричним и/или сферним зглобним везама, чиме се омогућује да контактни сензор (који уједно представља и крајњи сегмент) заузме готово било који положај у простору и приђе и тешко приступачним деловима објеката.



Слика 1. *Faro Arm Platinum мерна рука [16]*

Контактни мерни сензор код ове врсте уређаја је типично крутог типа, често са конусним врхом, уместо сфере, у циљу елиминисања ефекта „сферне грешке” која представља највећу слабост 3D мерних рука у погледу тачности.

Управљање 3D мерним рукама, односно довођење сензора у мерну позицију је мануелно, што је и основна разлика у односу на примену контактних мерних сензора на роботским рукама код којих је по правилу управљање CNC.



Слика 2. Romer мерна рука [7]

Аквизиција података је такође мануелна - оператер притиском на тастер (или папучицу) даје сигнал софтверској подршци да меморише координате тренутне позиције сензора.

Принцип мерења је заснован на тригонометријском израчунавању позиције мерног сензора преко (опто-електронских) сензора положаја у зглобовима, који дају информацију о угловима закретања сегмената, која се затим трансформише у x , y и z координате.

У предности ове врсте уређаја за 3D мерења могу се убројати:

- мобилност,
- примењивост у различитим окружењима (од погона до отворених простора), као и
- могућност једноставне 3D-дигитализације већих објеката (из неколико мерних позиција).

Недостаци су:

- мања тачност (услед присуства поменуте „сферне грешке“, односно недостатка информације о вектору нормале у тачки контакта сензора и објекта) и
- спорија аквизиција података.

3.4 Калибрација и верификација мерног пипка

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 предходно извршене калибрације.

Калибрација и верификација су две најважније активности код управљања сензорима и циклусом мерења у целини. Када је дефинисан мерни сензор он мора бити калибрисан. Калибрација представља поступак дефинисања координатног система мерног сензора као и меморисање података о сваком мерном пипку понаособ. Калибрацији мерног сензора мора да предходи утврђивање мерне силе. Правилан избор мерне силе је јако важан за статичку крутост система мерног сензора.

Три главне методе калибрације:

- Метода шест тачака,
- Ручна метода,
- Геометријски поновљена калибрација

Када се заврши калибрација, може се извршити верификација сензора. Мерењем претходно калибрисаног еталона аутомаски се одређују корекције пипка (дужине и радијус).

Софтвер за калибрацију мерног сензора се користи за дефинисање ефективног радијуса мерног сензора. Компензација радијуса мерног сензора је урачуната при одређивању димензија.

Линије и равне површине су померене у правцу нормале на радијус врха мерног пипка:

- за круг, сферу и цилиндар: њихов радијус се повећава, или смањује у правцу нормале на радијус врха мерног пипка,
- за торус: радијус цеви се повећава, или смањује за вредност радијуса врха мерног пипка, и
- за конусе: врх се помера у правцу осе.

3.5 Мерење тачка по тачка

Мерење “тачка по тачка” представља брзо и идеално решење за мерење обележја којима је неопходно проверити димензију и положај. Сензорима “тачка по тачка” је могуће одредити и одступања од облика, мада се анализа облика боље и ефикасније остварује континуалним сензорима. 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. Супститутивна геометрија се добија на основу приближно измерених тачака. Супститутивна геометрија се тада пореди са номиналном. Када елементе није могуће апроксимирати основним математичким облицима, измерене тачке се директно пореде са номиналном геометријом уз употребу метода CAD инспекције. Ово је случај код CAD модела који садрже сложене површине. Одступања од дужина, облика и положаја се добијају поређењем номиналне и супститутивне геометрије.

3.6 Координатни системи

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: уравњавања 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 сензора). Најзад, координатни систем мерног сензора, успоставља везу између генерисане координате основног геометријског облика, метролошког задатка и осталих координатних система машине и мерног предмета.

3.7 Елементарни геометријски облици

Мерни предмети чије се мерење или инспекција врши на NUMM, 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

3.8 Програмирање координатно мерних машина

Програмирање координатно мерних машина обухвата скуп активности којима се добијају информације неопходне за реализацију мерења, које заједно чине програм мерења. Програм мерења треба да садржи информације које се односе на припрему СММ и управљачки програм. Осим управљачког програма, за постизање мерног задатка на координатно мерној машини, потребни су додатни подаци:

- у вези са припремом прибора,
- о систему мерних пипака и
- положаја и оријентације координатног система.

Разликују се два начина програмирања координатно мерних машина, који се данас деле према употреби CAD модела а то су:

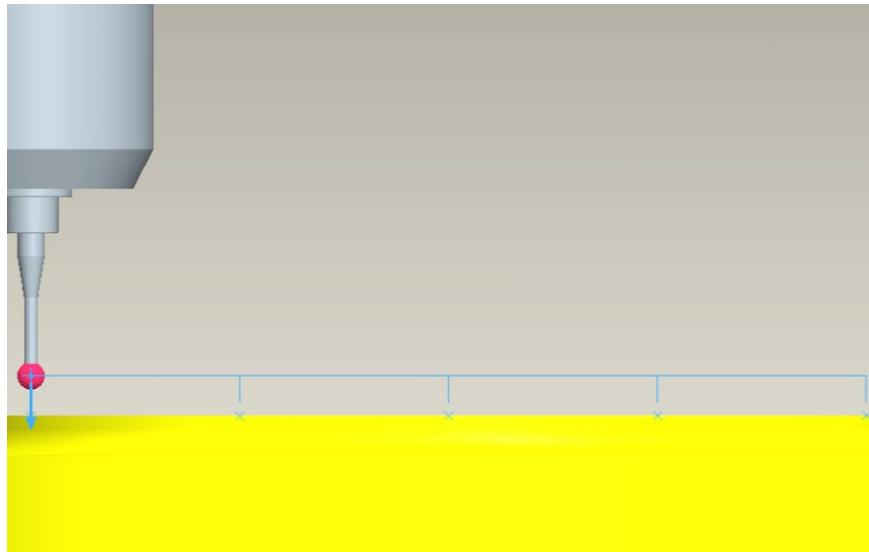
- Програмирање без CAD модела, које се често назива и програмирање обучавањем (енг. Teach-in), односно „online“ програмирање.
- Програмирање на бази CAD модела, односно „offline“ програмирања, како се још назива.

3.9 Стратегија мерења

Стратегијом мерења се дефинише како ће се одабрани део површине мерити и на који начин ће подаци бити обрађени. Стратегија мерења се може дефинисати као путања мерног пипка. Уопштено говорећи, постоје две врсте стратегија мерења за све врсте површина:

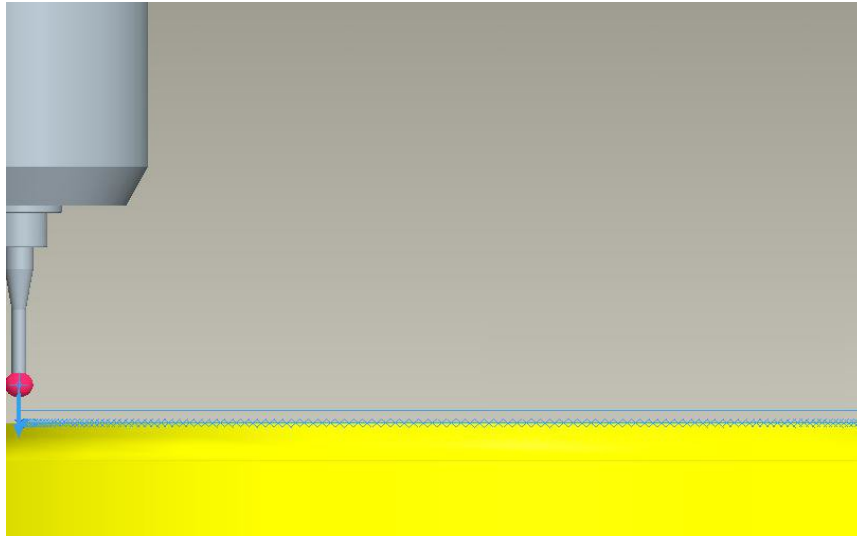
- стратегија мерења „тачка по тачка“ и
- стратегија мерења скенирањем

Стратегија мерења „тачка по тачка“ се дефинише избором дискретних тачака за узорковање. Свакој мерној тачки се додељује путања прилаза и путања повлачења, нормална на површину. Пипак је у контакту са површином само у ограниченом скупу тачака као што је приказано на слици 3.



Слика 3. Стратегија мерења "тачка по тачка" [17]

Стратегија мерења скенирањем подразумева коришћење путање за скенирање. Пошто је пипак у сталном контакту са површином, путања прилаза и путања повлачења нормална на површину се додаје на почетку и на крају путање као што нам показује слика 4. Насупрот стратегији „тачка по тачка“, стратегијом скенирања се добија много више узоркованих тачака.



Слика 4. Стратегија мерења скенирањем [17]

Избор једне од ове две основне стратегије врши се у зависности од врсте толеранције за чију процену ће се користити мерне тачке.

Толеранције облика за процену захтевају више тачака него толеранције положаја и димензионе толеранције. Толеранције облика, као што су кружност или равност за процену захтевају стратегију скенирања. Што се тиче путања скенирања, постоје уобичајене путање за различите врсте површина.

Неке облике није могуће измерити директно, већ је неопходно конструисати апстрактна обележја и на бази њих извршити мерење, односно евалуацију. Нека од обележја која се често користе су: равни и осе симетрије, пројекција тачке или дужи на раван, пресеци, продори итд.

4. Мерне руке и мерни еталони

4.1 Мерне руке

3D мерне руке, познате и као ротирајуће руке, су преносне координатне мерне машине, које одређују и снимају локацију у 3D простору путем сонде. Име потиче од самог изгледа уређаја – хардвера који подсећа на људску руку са раменима, лактом, подлактицом и зглобом. Да би се утврдио положај сонде, руке у сваком зглобу садрже стаклени диск – енкодер, који рачуна положај сонде док се рука слободно креће по радном простору.

Мерни опсег руке се обично креће од 0.6 m до приближно 2 m. Што је рука краћа то је резултат тачнији, зато што је мања механичка грешка. Мерне руке се такође могу поделити и на основу броја оса ротације. Обично имају шест оса ротације, али ако рука има дршку на крају јединице за контролу ротирајућег зглоба, то се сматра као мерна рука са 7 оса ротације. Једна од главних предности коришћења мерних руку је њихова преносивост. У поређењу са традиционалним координатним мерним машинама, руке су знатно мање и лакше, и на тај начин, могу се однети до дела уместо да се део доноси до мерне машине. Осим тога, руке су дизајниране да се прилагоде већини температурних услова, тако да могу да раде у широком спектру окружења. Поред тога то су знатно јефтиније од фиксних координатних мерних машина, такође су и лакше за коришћење са једноставним тастерима на ручици која се користи за прикупљање података.

Стотинама година уназад, коришћене су ручне мерне алатке као што су микрометар и остала помична мерила. Међутим, због механичке једноставности, ручни алати могу да пруже само основна мерења, као што су дужина, ширина и дебљина. Ако је потребно измерити сложене димензије, као што је облик (равност, кружност итд.) или растојање центара две рупе, потребни су софистициранији мерни системи. Усклађеност са националним и међународним стандардима је веома битна, јер је то једини начин да се потврди резултат мерења (ISO 10360-2).

Координатно мерне машине прикупљају детаљне податке о димензијама померањем сферног врха сензорског уређаја-сонде дуж површине дела који се мери. Уграђени енкодери прате релативно кретање по свакој оси са великом прецизношћу. Преносне координатно мерне машине користе енкодере за мерење положаја центра сферне сонде, у тродимензионалном простору. Контакт се остварује путем сферне сонде, узима се мерно место и софтвер израчунава положај контактне тачке у простору са тачношћу од 5 микрона. Међутим, да би

смањили грешке при мерењу, потребна су одговарајућа подешавања, укључујући одабир праве сонде и калибрацију исте.

Дршка сонде треба да обезбеди што већу крутост. Кад узимате мерне тачке, уколико се дршка савија или увија појављује се грешка при мерењу. Да би смањили овај извор грешке, прво сама дршка треба да буде направљена од крутог материјала као што су нерђајући челик, карбид или угљенична влакна. Следећи критеријум је дужина и пречник дршке. Однос дужине дршке и њеног пречника треба да буде што је могуће мањи, како би се смањила могућност деформације дршке приликом мерења. Постоје два преовлађајућа материјала када су у питању сонде: керамика и силицијум.

Обично се добијају од поликристалних материјала, синтетичких рубина или циркона. Поликристални материјали су трајни, лагани (4 g/cm^3). Поликристални материјали су материјали сачињени од много мањих кристалиста насумично оријентисаних.

Синтетички рубини имају сличну хемијску структуру као и поликристални материјали, али је њихов састав монокристални, што значи да се састоје од једне целине кристалне структуре. Синтетички рубини се користе за израду сонди, јер имају добре карактеристике на хабање. Изузетак је скенирање делова од алуминујума и ливеног гвожђа.

Циркон, је јако једињење цирконијума и диоксида ZrO_2 са великом отпорношћу на хабање као и рубин. Има већу густину од 5.89 g/cm^3 али није подложен проблемима мерења алиминијумских и делова од ливеног гвожђа. Ове особине чине циркон једним од најбољих материјала за преносне мерне сонде. Технологија преносно координатних мерних машина нуди инзваредне могућности за смењење несигурности мерења. Поред тога, ови уређаји могу да врше мерења на тешко доступним местима са лакоћом. Избор праве сонде смањује могућност грешке и брзо добијање потребних резултата. На тај начин се штеди време и новац у односу на уобичајене мерне методе.



Слика 5: Примери мерних рука: (а) *Romer* мерна рука, (б) *Faro* мерна рука [16]

4.1.1 Мерни систем Faro

Дефинитивно, један од највећих хитова у свету метрологије данас је FARO. Настао је 1982. године у Монтреалу (Канада), на универзитету McGill са првобитном делатношћу везаном за мерења и контроле у медицини (хирургији) лаким уређајима на бази мерне руке. 1990 предузеће се сели на Флориду, USA, и шири своју делатност са медицине на све важније гране индустрије као што су авио, аутомобилска, металопрерађивачка и др. Данас FARO технологија иде у три основна правца: мерење, контрола, “Reverse Engineering” и генерисање 2D-3D модела ласерском (безконтактном) методом.

Одлике FARO уређаја су велика једноставност у руковању, мале димензије, покретљивост уређаја и висока тачност на мањим дужинама мерења и контроле.



Слика 6. Скенирање (лево), Инспекција (средина), Реверзни инжењеринг (десно) [14]

FARO технологија повећава продуктивност тако што драстично скраћује локална времена мерења а различити софтверски пакети, специфични за разне области индустрије, омогућавају корисницима да своје резултате ефектно користе и презентују.

FARO Gage су високо прецизне преносиве мерне руке са радним простором од 1,2 m (у пречнику) и тачношћу до ± 0.005 mm. Бројна помагала за учвршћење омогућавају брзу и једноставну примену Gage и Gage Plus на радном месту или директно на одрадном центру. Као високо прецизни мерни инструмент са властитом компензацијом температуре, Gage се пре свега користи у производњи.

Gage у производњи не замењује само традиционе ручне мерне уређаје, она лако решава такође и захтевне задатке мерења у области толеранције облика и положаја. Иновативни систем FARO Gage на тај начин омогућује брзо и једноставно обављање свих мерења директно у производном процесу. FARO Gage се испоручује као комплетан систем са специјалним Gage софтвером чији се графички управљачки систем истиче једноставним руковањем. Обука корисника није неопходна: након једноставног активирања жељеног задатка мерења руковаоц се спретно води ка решењу. На крају мерења може се одштампати извештај о мерењу. Треба истаћи и апсолутну преносивост система који захваљујући интегрисаном систему компензације масе и опционално уграђеном

акумулатору омогућава рад независно од напојне мреже.



Слика 7. Faro Gage мерна рука [14]

4.1.2 FARO Platinum рука

Ултимативна мерна рука са тачношћу до $\pm 0,005$ mm. FARO Platinum рука из FARO Europe је једна од најпрецизнијих портабл мерних рука. FARO Platinum рука је резултат више од 20 година дугог искуства у развоју и производњи преносивих мерних машина. Са тачношћу од $\pm 0,005$ mm FARO Platinum рука може се користити у областима у којима су се до сада користиле само "традиционалне" мерне машине.

На основу високе прецизности и предности које проистичу из преносивости, примена FARO Platinum руке је исплатива у скоро свакој области истраживања и развоја. Контрола квалитета се уз помоћ FARO Platinum руке може обавити на лицу места. То доноси уштеде у трошковима. Заједно са CAM софтвером конструкциони елементи се могу поредити са CAD подацима. Геометрија се контролише према условима локације и времена у производњи или приликом склапања. Уграђени систем напајања струјом омогућује коришћење руке без екстерног напајања и тиме такође повећава особину преносивости FARO руке. Бројна флексибилна једноставна помоћна средства за причвршћење (адаптерски прстен, монтажна плоча, магнетни учвршћивач, треножац, итд.) представљају подршку интеграцији FARO Platinum руке у процес мерења, омогућавајући брзо и једноставно директно позиционирање FARO руке на делу који треба да се мери.

Интерна компензација масе омогућава ергономски рад за корисника. Тастер се води са обе руке. Више није потребно да се са једном руком компензује контратежина руке. Сензори оптерећења у зглобовима упозоравају корисника када су силе, извршене на мерну руку превисоке. На тај начин обезбеђује се тачност мерења. То FARO Platinum руку чини преносивом мерном руком која је у

стању да "осећа".

Заједно са софтвером CAM2 из куће FARO спојене су предности једне мерне машине са максималном преносивошћу и флексибилношћу.

У зависности од тачности и других перформанси (тј. ваших потреба), разликујемо 3 типа FARO мерних руку:

- Faro fusion arm
- Faro platinum arm
- Faro quantum arm



Слика 8. Мерне руке "Quantum", "Platinum" и "Fusion" [14]

4.1.3 Faro 3D ласер скенер

Веома једноставно, свака FARO рука (Faro Arm) може за пар секунди постати и 3D ласерски скенер. Једноставним додавањем ласерске 3D FARO главе за скенирање на већ постојећу главу за контактнo мерење, добијамо 3D ласерски скенер.

FARO Laser Scan Arm нуди нову димензију рада у областима као што су:

- Инспекција
- Укоређивање комада CAD цртежом
- Брза израда прототипова (rapid prototyping)
- Реверзни инжењеринг (reverse engineering)
- 3D моделирање



Слика 9. Пример 3D ласерског скенера [14]

Отворена архитектура FARO скенера даје корисницима велике могућности у избору одговарајућег софтвера. Geomagic, Polyworks, RapidForm само су неки од познатих софтвера које можемо користити за рад са FARO 3D скенерима. Нови FARO Laser ScanArm V3 је компатабилан за све три врсте FARO руку.

4.2 Паралелна гранична мерила (мерни блокови)

Мерке су механичка једнострука (гранична мерила, шаблони, калибри) или вишеструка мерила (мерни лењири, помична мерила, микрометарска мерила) за мерење и контролу једне или више вредности физичких величина.

Једнострука мерила су инструменти без скала, помоћу којих можемо контролисати или мерити једну једину меру. То су у ствари била прва мерила која је човек употребио и упоређивањем мерног предмета са њима, одређивао меру. У производњи се једноструким мерилима највише мери: дужина, угао и навој.

У једнострука мерила спадају:

- Гранична мерила за дужине и углове
- Угаоници
- Шаблони и калибри и
- Толеранциска мерила

Гранична мерила имају облик плочица чије равне паралелне мерне површине дају жељену дужину. Попречни пресек је правоугаони, пресека 9 x 30 за димензије до 10 мм дужине и 9 x 35 за дужине веће од 10 мм, затим 15 x 15 ако служе за контролу машина алатки, или округао пречника 20 мм. Препоруке у вези

израде, намене и начина контролисања дате су ISO 3650 стандардом. Користе се као референтни еталони за преношење димензије мерне јединице са примарног еталона на мерила мање тачности, за калибрацију мерила и за директно мерење индустријских делова.



Слика 10. Појединачна паралелна гранична мерила, класа толеранције 0 [15]

Гранична мерила су најтачнија мерила која се у машинској обради употребљавају. Израдио их је и усавршио Швеђанин Carl Edward Johansson (1864-1943). Мерке се праве од челика отпорног на хабање, корозију, влагу и топлоту. А за специјалне намене се израђују и од тврдог метала или кварца.



Слика 11: Сетови паралелних граничних мерила од керамике и тврдог метала [15]

Спајање граничних мерки можемо комбиновати, тако да добијамо разне жељене дужине. Граничне мерке се контролишу инферентним компараторима, па смо у стању да њихову дужину са тачношћу од 0,00002 мм. Израђују се у специјално комбинованим гарнитурама које садрже обично по: 112, 105, 103, 86, 79, 47, 36, 32, 18 или 9 комада. Разне фирме израђују гарнитуре са различитим бројем граничних мерки, али су све тако састављене да омогућују велики број мера са што мање коришћених елемената.

Паралелна гранична мерила према ISO 3650 стандарду, производе се у различитим класама тачности које су сврстане у следеће групе примене:

- **Класа калибрације К:** Референтна паралелна гранична мерила, првенствено се користе за контролу граничних мерила у уређајима за испитивање граничних мерила у лабораторијама за калибрацију, заједно са калибрацијоним листом.
- **Класа толеранције 0:** Радни еталони у лабораторијама за калибрацију односно у климатизованим мерним просторијама за подешавање и калибрацију толеранцијских мерила као и мерних уређаја.
- **Класа толеранције 1:** Најчешће коришћени радни еталон за испитивање толеранцијских мерила и подешавање мерних уређаја. Употреба у мерној просторији и на испитним позицијама у производњи.
- **Класа толеранције 2:** Паралелна гранична мерила ове класе углавном се користе као радни еталони на испитним позицијама у производњи, за подешавање и калибрацију мерних уређаја, као и за подешавање и испитивање алата, уређаја и машина.

Приликом састављања слога мерки ради добијања жељене дужине, треба почети од последње цифре задате мере. Ако желимо да сложимо меру 12,128 из гарнитуре од 86 комада, узећемо:

$$1,008 + 1,12 + 10 = 12,128$$

Од ових комбинација треба узети ону, која има најмањи број мерки, како бисмо обезбедили максималну могућу тачност. Ради проширења области примене граничних мерки, израђују се специјални прибори, који омогућавају њихову разноврсну употребу.

Прибори могу бити израђени као:

- Држачи, који прихватају склоп граничних мерила у дијапазону дужина од 0-80, 60-160 и 160-320, као и спојнице помоћу којих се причвршћују држачи са граничним мерилима при контроли мера од 320-1500 мм.
- Постоља, на која се причвршћује држач мерки, тако да је омогућено обележавање.

- Пипци за мерење унутрашњих и спољних мера и пипци за обележавање.
- Пипци се израђују у комплекту од по два комада.

Табела 2: Упоредна табела са карактеристикама материјала

Особина	Кемарика	Тврди материјал	Челик
Коефицијент уздужног ширења	$9,5 \times 10^{-6}/K$	$4,23 \times 10^{-6}/K$	$11,5 \times 10^{-6}/K$
Термичка проводљивост	Веома ниска	Ниска	Висока
Отпорност на хабање	Одлична	Добра	Мање добра
Особина пројањања	Прихватљива	Одлична	Одлична
Тачност геометрије	Одлична	Одлична	Прихватљива уз правилну употребу
Отпорност на корозију	Одлична	Добра	Мање добра
Механичка чврстоћа	Добра	Добра	Одлична

Табела 3. Гранична одступања дужине од номиналне мере и толеранције за опсег одступања

Опсег номиналних мера Mm		Класа толеранције 0		Класа толеранције 1		Класа толеранције 2	
		Гранично одступање дужине од номиналне мере $\pm t_e$ μm	Толеранција за опсег одступања t_v μm	Гранично одступање дужине од номиналне мере $\pm t_e$ μm	Толеранција за опсег одступања t_v μm	Гранично одступање дужине од номиналне мере $\pm t_e$ μm	Толеранција за опсег одступања t_v μm
преко/до							
-	10	0,12	0,10	0,20	0,16	0,45	0,30
10	25	0,14	0,10	0,30	0,16	0,60	0,30
25	50	0,20	0,10	0,40	0,18	0,80	0,30
50	75	0,25	0,12	0,50	0,18	1,00	0,35
75	100	0,30	0,12	0,60	0,20	1,20	0,35
100	150	0,40	0,14	0,80	0,20	1,60	0,40
150	200	0,50	0,16	1,00	0,25	2,00	0,40
200	250	0,60	0,16	1,20	0,25	2,40	0,45
250	300	0,70	0,18	1,40	0,25	2,80	0,50
300	400	0,90	0,20	1,80	0,30	3,60	0,50
400	500	1,10	0,25	2,20	0,35	4,40	0,60
500	600	1,30	0,25	2,60	0,40	5,00	0,70
600	700	1,50	0,30	3,00	0,45	6,00	0,70
700	800	1,70	0,30	3,40	0,50	6,50	0,80
800	900	1,90	0,35	3,80	0,50	7,50	0,90
900	1000	2,00	0,40	4,20	0,60	8,00	1,00

4.2.1 Толеранцијски мерни прстен

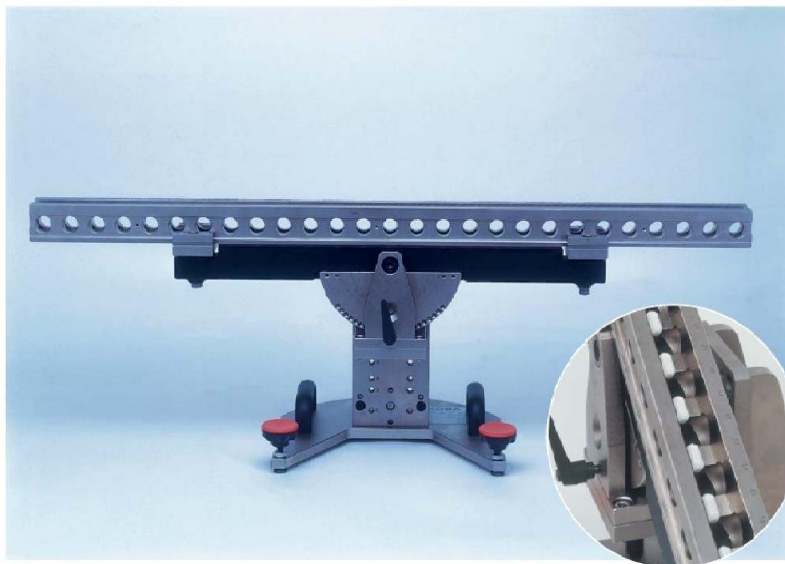
Толеранцијски мерни прстенови имају исту улогу као и гранична мерила. У овом раду смо за контролу мерне руке управо користили четири таква прстена.



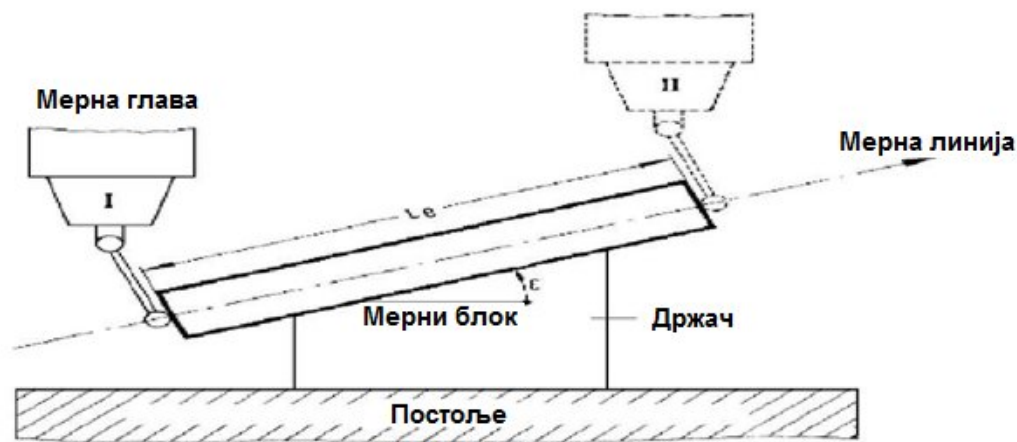
Слика 12: Примери толеранцијских мерних прстенова

4.3 КОВА step (степенasti еталон)

У индустриској метрологији, физичка тела познатих дужина која се могу додирнути механичким сензорима имају важну улогу као референтни стандарди приликом мерења геометријских параметара. Они су постали посебно важни за процену тачности у дво или тро димензионалном координатном систему, машина за мерење које поседују механичке сензоре. Провера тачности мерења се показала као јако информативна и економична метода за прихваћено тестирање и проверавање координатно мерних машина. У примеру степенастог еталона који се може користити у различитим индустријама и на различите начине, на пример има велику преднос у једносмерном и двосмерном прецизном мерењу за шта је потребно кратко време за припрему и извођење мерења. Локалне грешке могу да се детектују у координатним машинама за мерење и њене карактеристичне грешке могу да се лоцирају на одређеним координатама те машине. Уз помоћ степенастог еталона произвођач или корисник може да провери тачност координата машине за мерење или да закључи тачност дужине коју мери. У метрологији је ово фундаменталан задатак јер у пракси се захтева велика тачност мерне дужине. На степенастом еталону растојање између две тачке је дефинисано VDI/VDE стандардом 2617(мера између две тачке је увек иста, без обзира колико је пута вршено мерење).

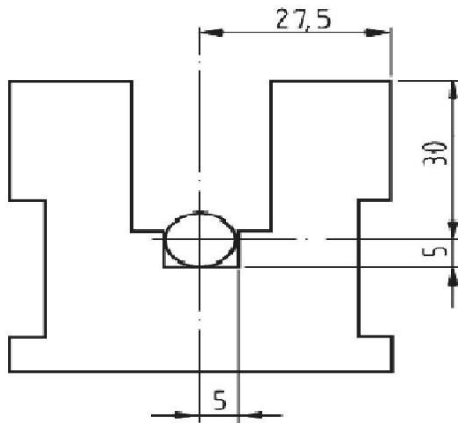


Слика 13. Идеалан стандардни пример КОБА STEP-а [5]



Слика 14. Мерење КОБА STEP-а [5]

Овај степенести еталон КОБА STEP, направљен је од неутралних (природних) влакана да не долази до промена у његовим димензијама. Он поседује више могућих комбинација за различите позиције мерења и има 26 рута (поља). Унутар Koba Step се налазе цилиндрични блокови који су фиксирани на индивидуалне позиције у унутрашњем удубљењу, формирају челично носеће тело коцкастог пресека (55x55). Након одређеног времена врши се провера и калибрација Koba Step – а, а нај боље је да се тестира први пут након годину или две, а после тога на сваке 2 до 3 године.



Слика 15. Попречни пресек КОВА STEPA [5]



Слика 16. Кораџи еталона [5]



А)

Величина 1

Величина 2



Б)

Слика 17. А) Могуће дужина 1 и 2 Б) Вертикално поравнање за проверу висине мерила [5]

Да би уређај за мерење био тачан, 95% измерених величина морају да буду унутар или на граници жељене тачности. Примање или одбијање координатне мерне машине може да се закључи резултатом теста мерења и увек се предлаже да се користе официјални тест за калибрацију опреме, да не би дошло до изненађења и не тачних резултата. Предност је у томе што се мерење врши на прецизним мерним еталонима користећи прописане процедуре уз помоћ софтвера које издаје произвођач. Потребно је веома кратко време за припрему и обављање мерења. Цилиндри могу да се замене и керамичким цилиндрима али је након тога

обавезна калибрација. KOBA STEP се тестира DKD-сертификатом калибрације или "Works Calibration".

, Табела 4. Стандардне номиналне дужине

Номинална дужина mm	Број лица мерача	Укупна дужина	Тежина kg
420	22	480	6,5
680	32	680	9,5
1020	52	1080	15,0
1540	78	1600	23,0
2020	102	2080	30,0

Образац тачности:

$$\text{DKD: } U = 0,10 \mu\text{m} + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot L \geq 0,12 \mu\text{m}$$

$$\text{Works Calibration: } U = 0,3 \mu\text{m} + 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot L \text{ (length)}$$

Идентичне карактеристике за све дужине:

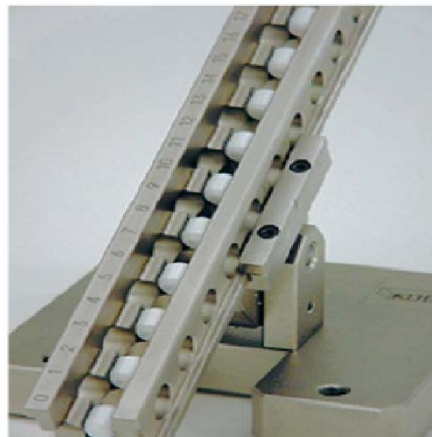
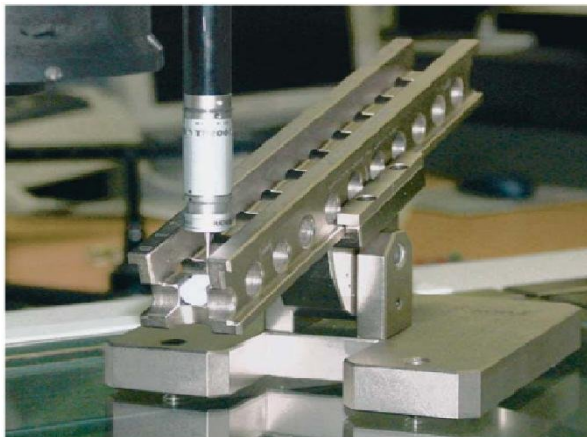
- Попречни пресек (55x55)
- Пресек цилиндричних блокова (10 мм)
- Дужина удубљења (20мм)
- Простор између удубљења (20мм)

Предности:

- Цилиндрични блокови су унутар удубљења, и зато су заштићени
- Завршна површина има посебан нерђајући третман
- Држач дозвољава да се део може поставити на различите начине
- Нема корозије
- Стабилна дужина
- Мање чишћења
- Коефицијент ширења (експанзије) сличан челику
- Отпорност на хабање слична карбиду

4.3.1 KOBA STEP mini (степенasti еталон)

Систем за мерење, праћење и калибрацију сензорских мерних инструмената и подешавање инструмената малих опсега. Koba Step mini је у суштини смањени и дорађени Koba Step само што се користи за инструменте са малим опсегом. Еталонски блокови су мањи за 10мм, а цилиндрични блокови су направљени од керамике и нема корозије и уједно су тако заштићени од хабања.



Слика 18. КОБА STEP mini позициониран за мерење и **Слика 19:** Керамички мерач од неутралних влакана [5]

Фазе мерења

- 3-4 линије мерења (дијагоналне у три димензије)
- 2 дијагоналне линије мерења у координатној равни
- Најмање једна линија мерења која је паралелна на координатну осу
- Минимум 18 линија мерења да се обави да би дошли до геометрије степенастог манометра

Табела 5. Стандардне дужине КОБА STEP mini

Номинална дужина mm	Број удубљења/корак	Подела mm	Укупна дужина mm
210	11/22	10	220
310	16/32	10	320

4.4 Standard ISO 10360-2

Овај стандард прецизира тестове за проверу перформанси координатних мерних машина које се користе за мерење линеарних димензија наведених од стране произвођача. Такође прецизира поновну проверу тачности перформанси координатних мерних машина на одређени временски период.

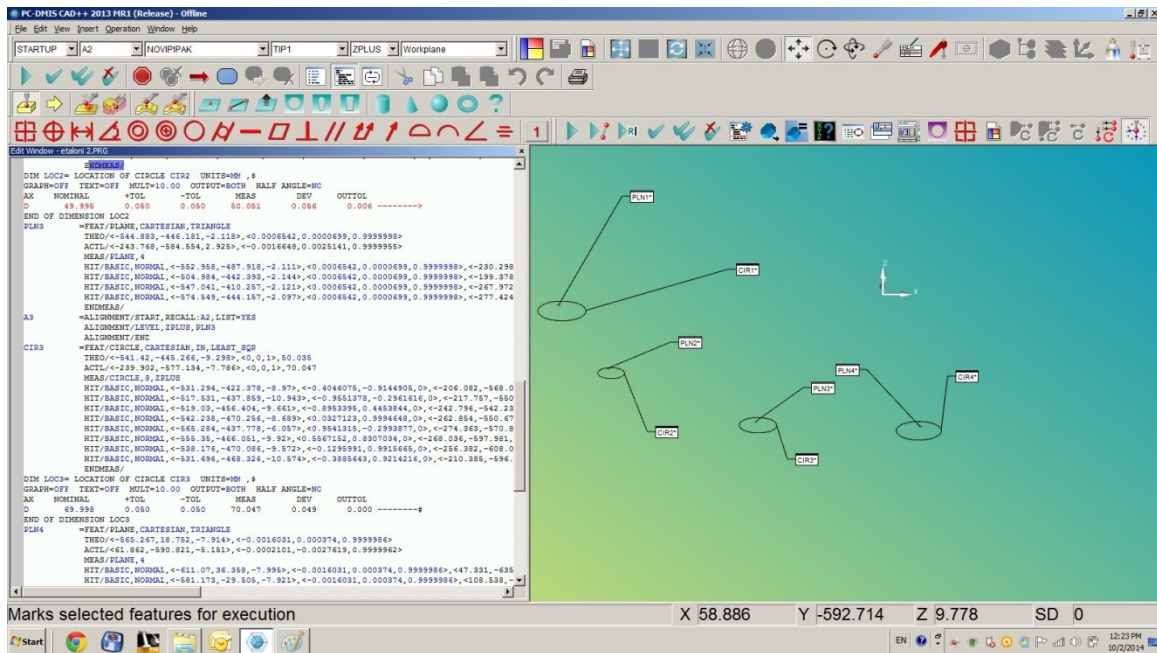
Тест процедура:

- Минимум 5 дужина да се мере по 3 пута у 7 просторних позиција
- Укупни број мера 105
- 100 % добијених резултата морају да задовољавају спецификацију

5. Провера тачности координатно мерне руке и резултати мерења

5.1 Софтверски пакет PC-DMIS

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 слеђена 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.



Слика 20. Изглед софтверског програма PC-DMIS

У овом раду ће бити приказан кратак опис рада са PC-DMIS софтвером и координатно мерном руком Faro. Сврха овог рада је провера тачности Faro мерне руке уз помоћ мерних еталона и KOVA step gauge-a, као и уокновање са основним функцијама софтвера. Такође биће детаљно описан пример мерења са свим етапама кроз које је неопходно проћи како би се на крају добио неопходан резултат тачности, односно извештај са мерења који је главни излаз из процеса

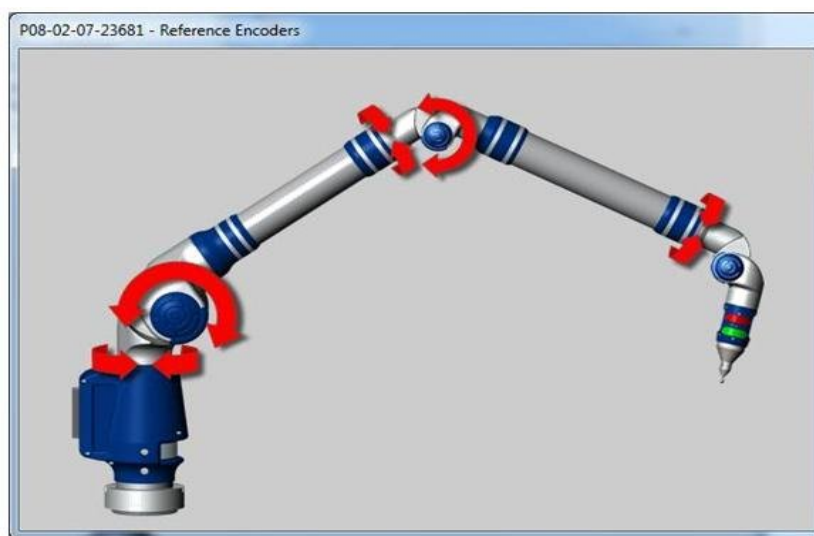
контроле. Биће описан процес израде парт програма за мерење дела коришћењем мерне руке Фаро у on-line режиму (режим у коме приликом програмирања постоји директна веза између мерне руке и софтвера).

Важно је нагласити да уколико се програмирање ради у of-line режиму (у коме нема директне везе мерне руке и софтвера) кораци који се притоме користе одговарају корацима који се користе у on-line режиму са само једном разликом, а то је да се у of-line режиму уместо директног узимања тачака са дела уместо мерног пипка мерне руке користи лево дугме миша којим се по CAD моделу врши избор на жељеним местима.

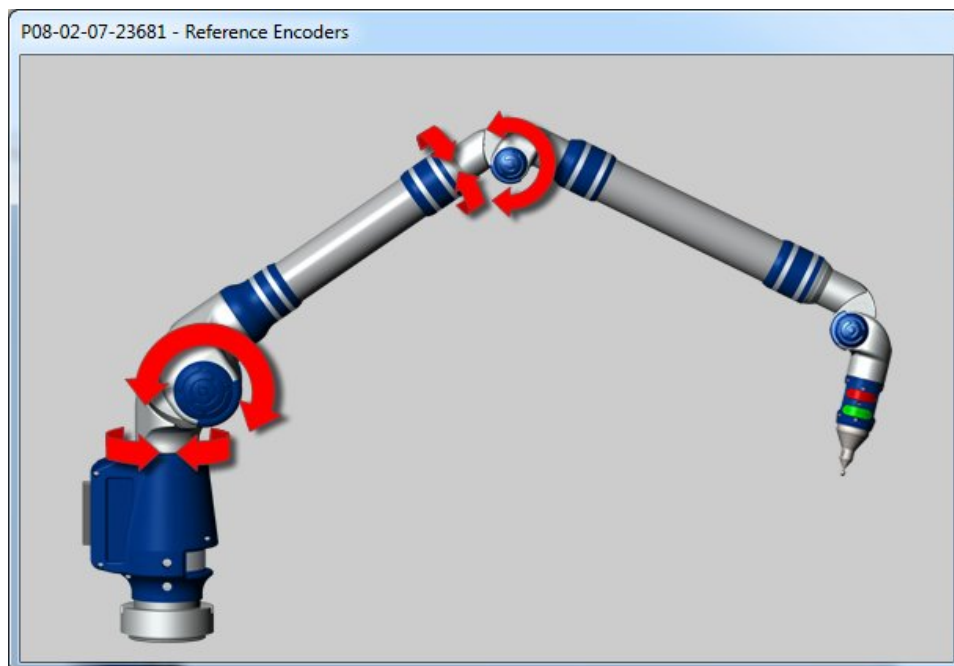
5.1.1 Калибрација и конфигурисање уређаја

Пре почетка сваког мерења потребно је извршити калибрацију мерног пипка. За метод калибрације помоћу рупе, потребан је калибрациони конус. Из листе доступних екстензија мерног пипка треба одабрати онај који је монтиран на мерној руци и опцију Hole Calibration.

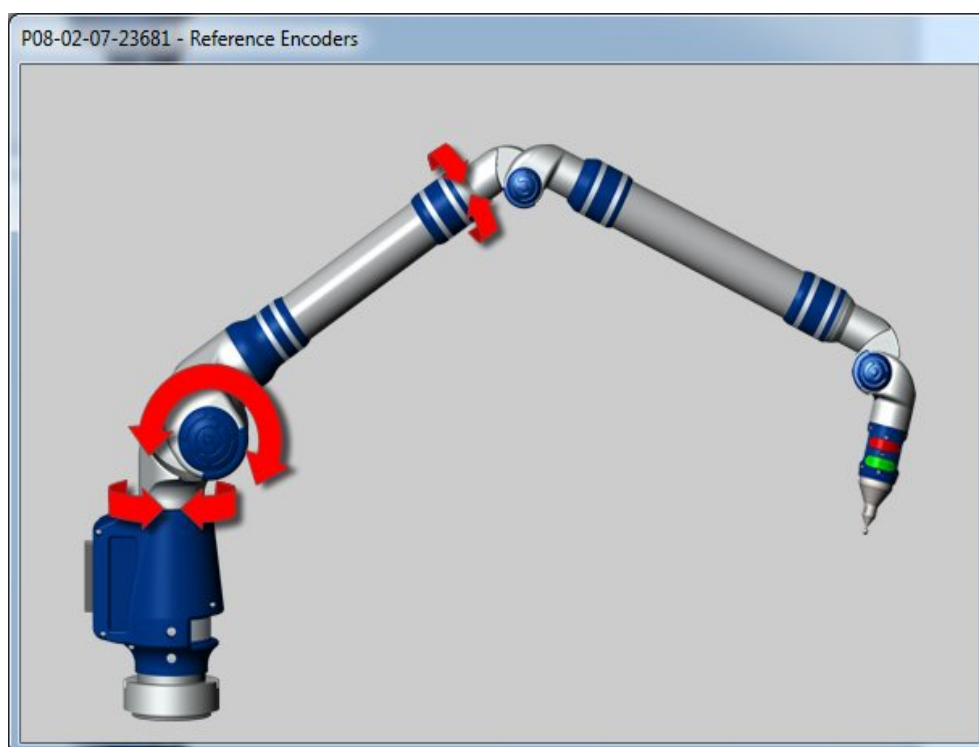
Повежите Faro руку путем USB интерфејса, укључите уређај и покрените PC-DMIS. Отвара се Reference Encoders дијалог. Црвене стрелице показују да треба извршити ротацију сваког зглоба око своје осе како би се ресетовали енкодери. Окрећите руку док се све црвене стрелице не избришу. Следећи кораци описују како правилно треба ресетовати енкодере. Десном руком прихватите саму Touch Probe-у, мало изнад зеленог и црвеног тастера, а левом руком први део Faro Arm Platinum руке, одмах после другог зглоба. Левом руком ротирајте Фаро арм у смеру супротном од казаљке, тако да сваки од зглобова изврши потребну ротацију.



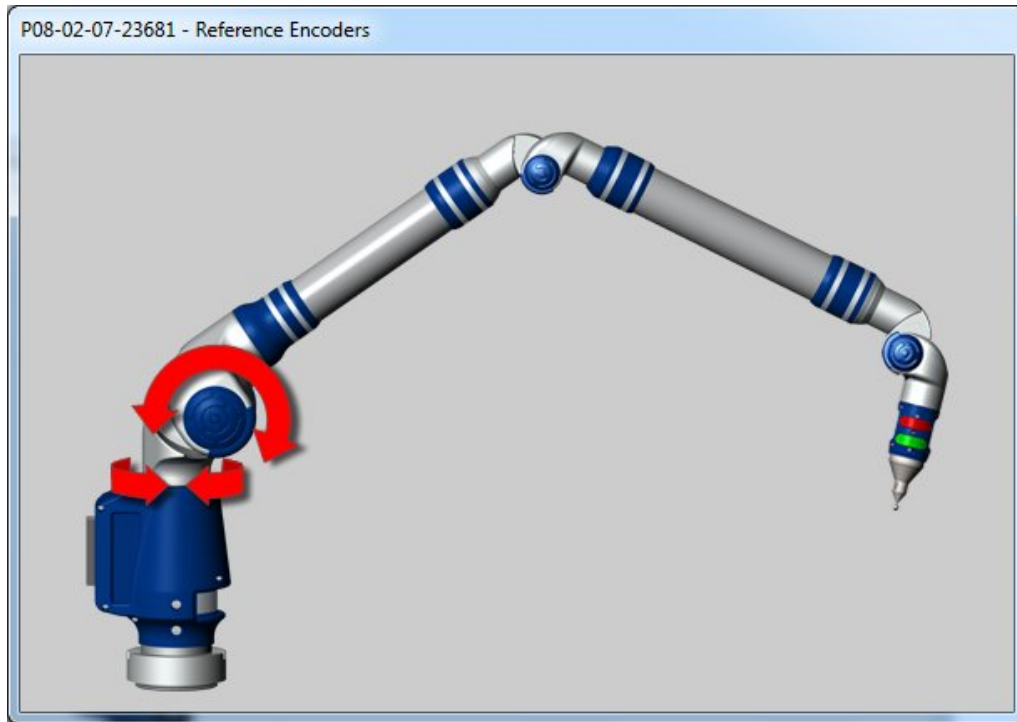
Слика 21. Ресетовање првог зглоба



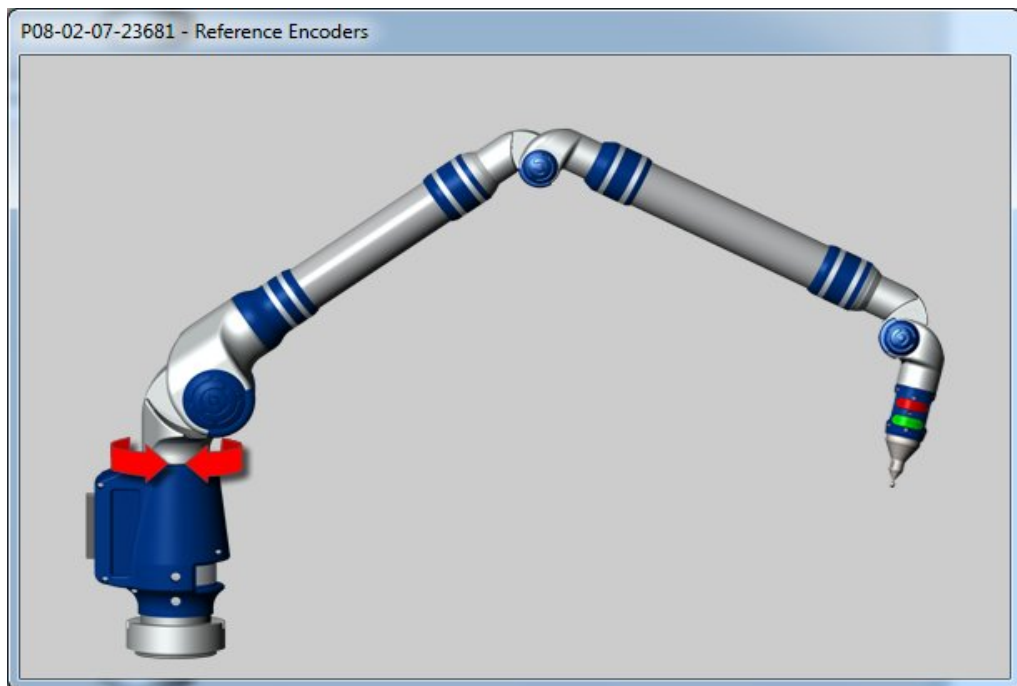
Слика 22. Ресетовање другог зглоба



Слика 23. Ресетовање трећег зглоба



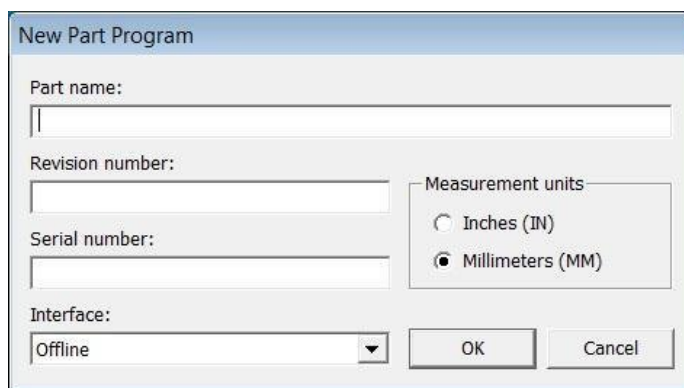
Слика 24. Ресетовање четвртог зглоба



Слика 25. Ресетовање петог зглоба

5.1.2 Креирање новог парт програма

После калибрације аутоматски се отвара прозор за нови парт програм (слика 26). Уколико се тај прозор не отвори, отвара се мени **File**→**New** или се то врши комбинацијом тастера **Ctrl+N**.



Слика 26. Прозор за нови парт програм

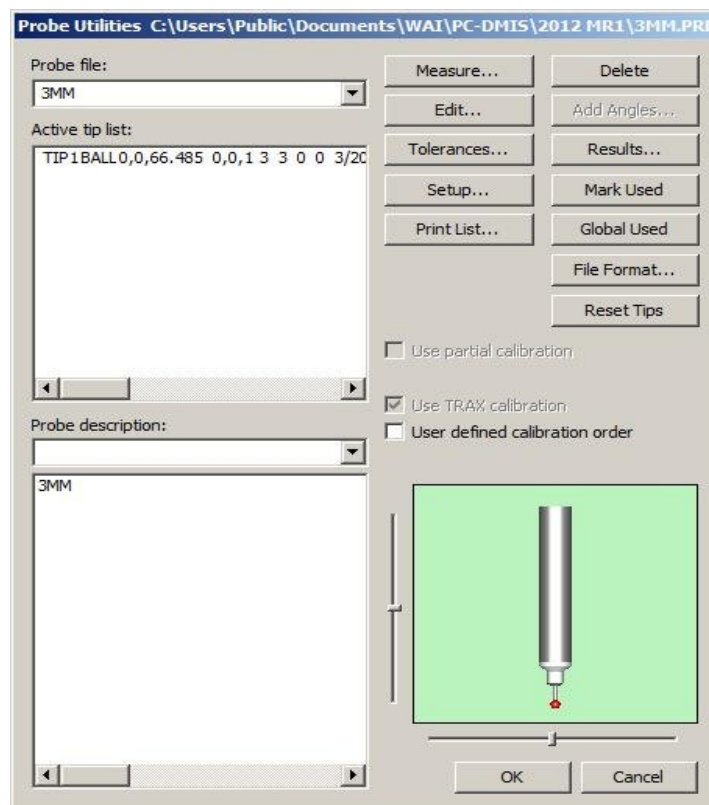
Да би се креирао нови парт програм потребно је:

1. У пољу **Part name** уноси се име програма.
2. Уписује се **Serial nuber** и **Revision number**
3. Одређују се јединице мерења (у овом случају у **мм**)
4. Одабира се **ON-LINE** у падајућем менију за **interface**
5. Избором **OK**, **PC-DMIS** је направио нови парт-програм

По отварању новог парт програма отвара се главни интерфејс **PC-DMIS** програма и након тога се аутоматски отвара прозор са избором сензора за мерење (*Probe Utilities*).

5.1.3 Дефинисање мерног пипка

До активирања дијалога за дефинисање мерног пипка **Probe Utilitis**, (слика 27) долази се тако што се у менију изабере **Incert-Hardware-Probe**, може се изабрати постојећа конфигурација сензора или се може направити нова конфигурација сензора. За дати део који треба измерити користиће се нова конфигурацију сензора неопходних за мерење.



Слика 27. Дијалог за дефинисање сонде (*Probe Utilities*)

Probe Description зона дијалога за дефинисање сензора омогућава да дефинишем прирубнице, зглобове, мерне главе, сензоре, додатке, продужетке и мерне пипке које ћу користити у парт програму. **Probe Description** падајући мени приказује листу доступних опција.

Да би се дефинисао мерни пипак помоћу дијалога за дефинисање потребно је:

1. У пољу **ProbeFile** уноси се назив сензора. При изради следећег парт програма овај сензор ће бити доступан за избор у падајућем менију.
2. У пољу испод **Probe Description** зоне врши се избор "**No probe defined.**"
3. У пољу **Probe Description** бира се падајући мени и бирам компоненту сензора из листе по редоследу по којим је сензор конфигурисан на *CMM*-у.
4. Избором на **OK** по завршетку, дијалог за дефинисање сензора (**ProbeUtilities**) се затвара и *PC-DMIS* се враћа у графички интерфејс.
5. Проверава се да је конфигурисан сензор приказан као активан у **Settings tool baru**-у (слика 28).



Слика 28. Settings toolbar

5.1.4 Подешавање погледа

Подешавање погледа који се приказују у прозору графичког приказа (*Graphics Display Window*) се врши избором иконице **View Setup**  из групе **Graphics Modes toolbar**-а (Слика 29).

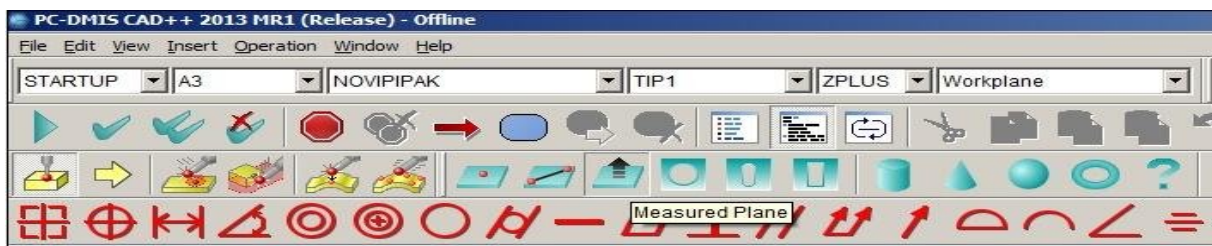


Слика 29. Graphics Modes toolbar

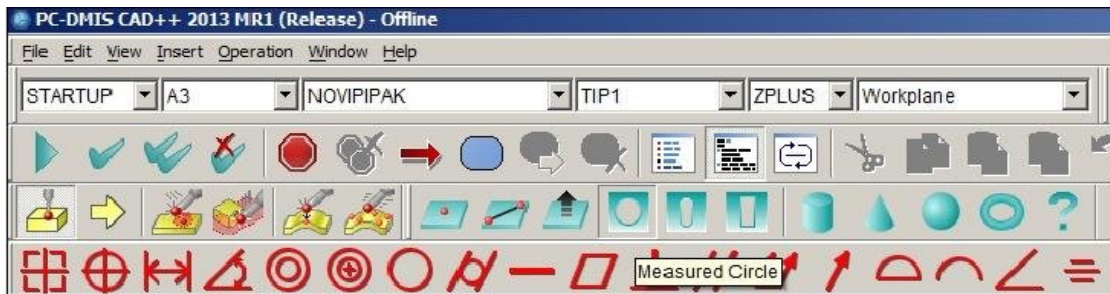
5.2 Провера тачности координатне мерне руке помоћу толеранциског мерног прстена

Када је сензор дефинисан и приказан у графичком прозору, може се вршити процес мерења. На самом почетку прво се врши позиционирање координатног мерног система. А у овом раду смо координатни мерни систем дефинисали уз помоћ равни и круга.

Мерење равни одређује се тако што се из палете алата која је приказана на слици 39, мишом се врши избор иконе  која представља мерни пипак за мерење. По одабиру на самом делу прво се креира раван, нај мање три тачке, а ми смо у овом раду узели четири тачке. Тачке треба да образују троугао и да буду што даље једна од друге. После мерења четири тачке, на мерној руци притиском на црвени тастер, *PC-DIMS* ће приказати ID (ознаку) и троугао, који означава мерење равни у прозору графичког приказа. У истом делу овог програма имамо иконице за мерење тачке, линије, равни, круга итд.

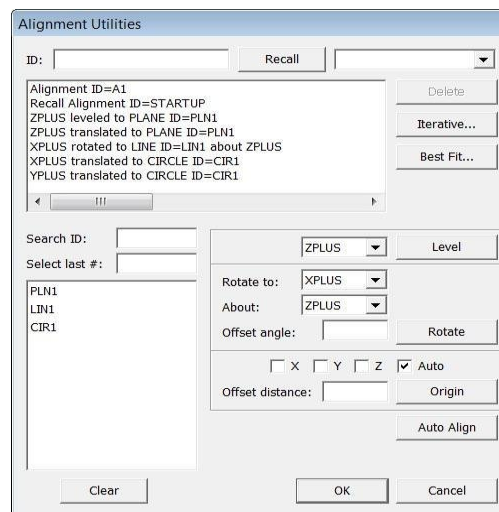
Слика 30. Иконица (*Measured Plane*) која је коришћена за креирање равни

Мерење кружнице се врши померањем сензора до кружнице и узимање најмање три тачке на ободу кружнице (у овом случају седам тачака). После мерења седме тачке, притиском црвеног тастера на мерној руци, PC-DIMS ће приказати ID (ознаку) и кружницу.



Слика 31. Иконица (*Measured Circle*) која је коришћена за креирање кружнице

Креирање референтног координатног система (*Alignment*) је тако да се он позиционира на жељену локацију или је та локација дата самом техничком документацијом (у овом случају смо ми сами изабрали положај референтног координатног система) тако да нам он олакша посао мерења (слика 32).



Слика 32. Прозор *Alignment Utilities*

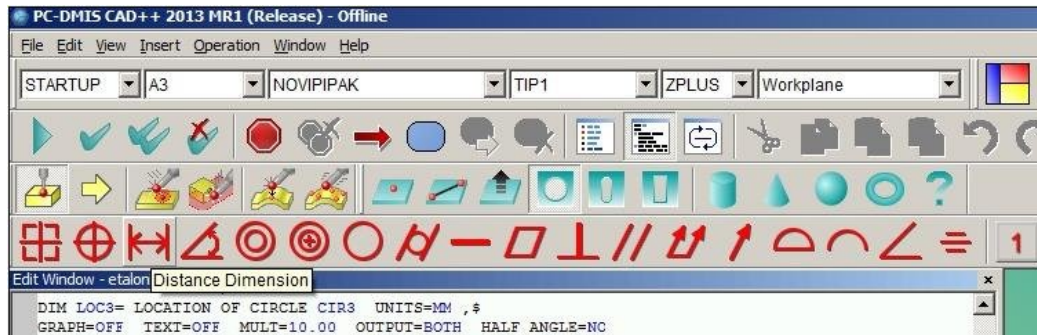
Када је креирање референтног координатног система завршено, врши се избор иконе *OK*. У *Alignment* листи на *Edit* прозору биће исписани параметри креираног референтног координатног система.

Након позиционирања координатног мерног система приступило се мерењу четири толеранцијска мерна прстена.

Да би измерили сваки мерни прстен, и утврдили њихов измерени пречник, дефинисали смо их преко равни и кружнице. Раван на сваком прстену смо

дефинисали са четири тачке, а кружницу са седам тачака. Мора се напоменути да што се више тачака узме за дефинисање то је могућност за грешком мања.

Да би добили измерени пречник, користили смо опцију *Distance Dimension* у нашем програму.



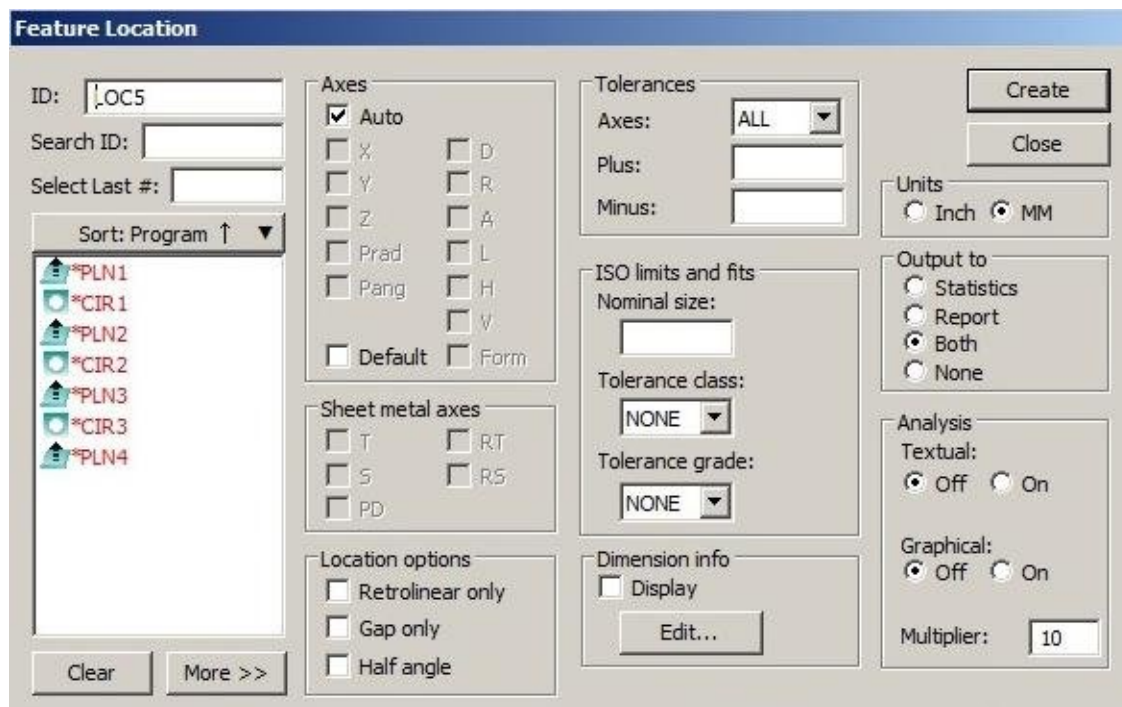
Слика 33. Позиција *Distance Dimension* опције у програму

Када су сви отвори измерени или конструисани, њихове димензије се могу прорачунати. За прорачунавање димензија је потребно:

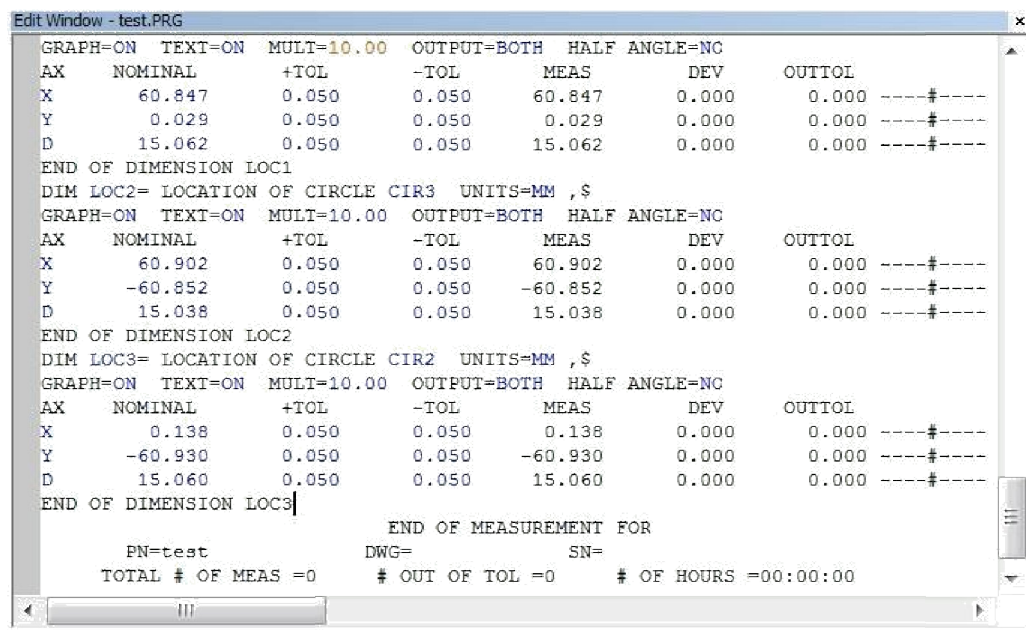
1. У менију ићи на **Insert | Dimension** подмени и проверити да ли је означен **Use Legacy Dimension**.
2. У истом менију иде се на **Location**, или у **Dimension toolbar**-у (слика 34) и избором на икону  отвара се следећи прозор (слика 35).
3. Отвара се **Feature Location** прозор у коме се одабира (ID) ознака са измереним вредностима.
4. Када означимо одређене (ID) вредности и параметре за приказивање оса иде се на **Create** дугме. Сам програм тачније *PC-DMIS* ће у **Edit** прозору (слика 36) приказати вредности.



Слика 34: *Dimension toolbar*



Слика 35. Изглед прозора Feature Location



Слика 36. Edit прозор после прорачунавања неких од димензија

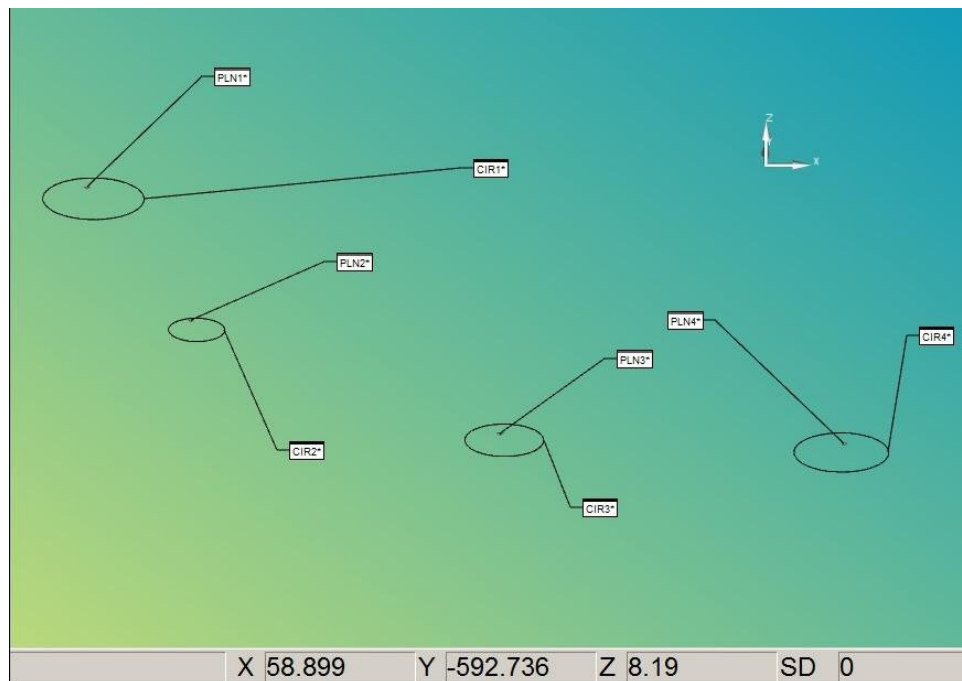
Одређене номиналне вредности прорачунатих димензија које су дате у Edit прозору могу се изменити једноставним избором на исту и укуцавањем нове

вредности. За све остале димензије сходно задатом мерењу користе се и друге иконе дате у *Dimension toolbar*-у.

Прозор *Feature Location* у нашем програму нам је служила да поредимо разлику између измерене и стварне вредности мерене величине и то на следећи начин.

Прво смо измерили пречнике сва четири мерна прстена, на исти начин, а затим смо за сваки од њих унели номиналну прописану вредност за чију тачност нам гарантује произвођач. Пречнике смо измерили тако што смо мерили растојање равни од кружнице и одштикљирали смо *Auto*, и у том пољу смо штикљирали D, да би нам програм мерио пречник. Номинална вредност се уноси у делу прозора *ISO limits and fits* у поље *Nominal Size*. Толеранцијски мерни прстенови које смо ми користили у оквиру овог рада били су пречника:

- Толеранцијски мерни прстен пречника 89.993мм
- Толеранцијски мерни прстен пречника 84.018мм
- Толеранцијски мерни прстен пречника 69.998мм
- Толеранцијски мерни прстен пречника 49.995мм



Слика 37. Четири измерена толеранцијска мерна прстена у PC-DMIS-у
(Изглед радне површине)

Пошто смо одрадили једно мерење на овај начин, урадили смо још једно на исти начин, само са том разликом што смо променили места толеранцијским

мерним прстеновима. Након овако одрађене провере тачности, добили смо следеће резултате:

pocdmis		PART NAME : etaloni 2					October 02, 2014		13:09		
		REV NUMBER :			SER NUMBER :			STATS COUNT : 1			
⊕		MM	LOC1 - CIR1								
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
D		89.993	0.050	0.050	90.035	0.042	0.000				
⊕		MM	LOC2 - CIR2								
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
D		49.995	0.050	0.050	50.051	0.056	0.006				
⊕		MM	LOC3 - CIR3								
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
D		69.998	0.050	0.050	70.047	0.049	0.000				
⊕		MM	LOC4 - CIR4								
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
D		84.018	0.050	0.050	84.092	0.074	0.024				

Слика 38. Табела са добијеним резултатима мерења

Парт програм и подешавање извештаја мерења:

PART NAME : Etaloni 2

REV NUMBER :

SER NUMBER :

STATS COUNT : 1

STARTUP =ALIGNMENT/START,RECALL:USE_PART_SETUP,LIST=YES

ALIGNMENT/END

MODE/MANUAL

FORMAT/TEXT,OPTIONS,,HEADINGS,SYMBOLS,;NOM,TOL,MEAS,DEV,OUTTOL,,
LOADPROBE/NOVIPIPAK

TIP/TIP1, SHANKIJK=0, 0, 1, ANGLE=0

PLN1 =FEAT/PLANE,CARTESIAN,TRIANGLE

THEO/<12.968,36.935,642.31>,<0.0026931,0.9999942,-0.0020741>

ACTL/<-603.555,35.938,60.685>,<0.0022429,0.9999777,-0.0062959>

MEAS/PLANE,4

HIT/BASIC,NORMAL,<59.053,36.811,638.384>,<0.0026931,0.9999942,-0.0020741>,<-
645.654,35.81,26.617>,USE THEO=YES

HIT/BASIC,NORMAL,<-20.519,36.9,583.296>,<0.0026931,0.9999942,-0.0020741>,<-
635.981,36.303,106.036>,USE THEO=YES

HIT/BASIC,NORMAL,<-30.221,37.131,678.928>,<0.0026931,0.9999942,-0.0020741>,<-
557.149,36.038,94.234>,USE THEO=YES

```

      HIT/BASIC,NORMAL,<43.561,36.897,668.632>,<0.0026931,0.9999942,-0.0020741>,<-
575.44,35.6,15.829>,USE THEO=YES
      ENDMEAS/
A1    =ALIGNMENT/START,RECALL:,LIST=YES
      ALIGNMENT/LEVEL,ZPLUS,PLN1
      ALIGNMENT/END
CIR1  =FEAT/CIRCLE,CARTESIAN,IN,LEAST_SQR
      THEO/<5.484,-632.147,25.068>,<0,0,1>,90.048
      ACTL/<-597.736,-61.831,23.56>,<0,0,1>,90.035
      MEAS/CIRCLE,7,ZPLUS
      HIT/BASIC,NORMAL,<39.272,-602.409,26.591>,<-0.7506725,-0.6606746,0>,<-588.117,-
105.806,23.966>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<7.96,-587.186,18.842>,<-0.0549917,-0.9984868,0>,<-561.941,-
89.113,25.076>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-27.162,-601.132,24.052>,<0.72499,-0.6887594,0>,<-557.204,-
42.252,23.658>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-39.127,-638.227,28.393>,<0.9908388,0.1350496,0>,<-594.91,-
16.884,21.765>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-19.273,-669.744,26.867>,<0.5499487,0.8351985,0>,<-638.475,-
42.718,21.938>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<14.857,-676.182,22.992>,<-0.2081968,0.978087,0>,<-641.794,-
71.064,27.024>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<37.352,-663.969,27.742>,<-0.7076087,0.7066045,0>,<-610.931,-
104.893,21.495>,USE THEO=YES
      ENDMEAS/
DIM LOC1= LOCATION OF CIRCLE CIR1 UNITS=MM,$
GRAPH=OFF TEXT=OFF MULT=10.00 OUTPUT=BOTH HALF ANGLE=NO
AX  NOMINAL  +TOL  -TOL  MEAS  DEV  OUTTOL
D   89.993   0.050   0.050   90.035   0.042   0.000 -----#
END OF DIMENSION LOC1
PLN2  =FEAT/PLANE,CARTESIAN,TRIANGLE
      THEO/<-265.308,-499.049,32.208>,<0.0000352,0.0017651,0.9999984>
      ACTL/<-514.73,-335.948,28.576>,<0.0024864,-0.0027856,0.999993>
      MEAS/PLANE,5
      HIT/BASIC,NORMAL,<-250.169,-534.858,32.257>,<0.0000352,0.0017651,0.9999984>,<-
536.131,-317.605,28.681>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-216.992,-479.512,32.184>,<0.0000352,0.0017651,0.9999984>,<-
538.417,-367.82,28.547>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-276.021,-449.645,32.108>,<0.0000352,0.0017651,0.9999984>,<-
486.033,-370.924,28.405>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-301.129,-504.302,32.233>,<0.0000352,0.0017651,0.9999984>,<-
490.342,-313.411,28.581>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-282.227,-526.926,32.258>,<0.0000352,0.0017651,0.9999984>,<-522.73,-
309.983,28.665>,USE THEO=YES
      ENDMEAS/
A2    =ALIGNMENT/START,RECALL:A1,LIST=YES
      ALIGNMENT/LEVEL,ZPLUS,PLN2
      ALIGNMENT/TRANS,ZAXIS,PLN2

```

```

ALIGNMENT/END
CIR2  =FEAT/CIRCLE,CARTESIAN,IN,LEAST_SQR
      THEO/<-260.714,-489.51,-9.344>,<0,0,1>,70.044
      ACTL/<-509.916,-343.582,-5.703>,<0,0,1>,50.051
      MEAS/CIRCLE,10,ZPLUS
      HIT/BASIC,NORMAL,<-281.23,-461.119,-7.82>,<0.5857145,-0.8105174,0>,<-499.753,-366.45,-
4.887>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-295.196,-483.385,-7.799>,<0.9845878,-0.1748909,0>,<-489.64,-
358.243,-6.959>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-289.501,-509.427,-10.246>,<0.8223735,0.5689481,0>,<-486.244,-
335.494,-6.922>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-264.973,-524.279,-8.458>,<0.1215833,0.9925812,0>,<-494.176,-
324.124,-4.541>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-247.349,-521.913,-4.635>,<-0.3812932,0.9244542,0>,<-512.324,-
318.664,-3.301>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-237.515,-463.274,-9.32>,<-0.6624154,-0.7491367,0>,<-528.803,-
327.161,-3.546>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-227.487,-478.427,-11.366>,<-0.9486146,-0.3164338,0>,<-521.201,-
365.929,-5.422>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-225.787,-492.011,-12.973>,<-0.9974465,0.0714177,0>,<-531.364,-
356.464,-7.729>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-230.095,-506.499,-12.106>,<-0.8744198,0.48517,0>,<-534.837,-
345.792,-5.612>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-236.501,-514.789,-8.714>,<-0.6917198,0.7221659,0>,<-490.396,-
359.254,-8.111>,USE THEO=YES
      ENDMEAS/
DIM LOC2= LOCATION OF CIRCLE CIR2 UNITS=MM,$
GRAPH=OFF TEXT=OFF MULT=10.00 OUTPUT=BOTH HALF ANGLE=NO
AX NOMINAL  +TOL  -TOL  MEAS  DEV  OUTTOL
D  49.995  0.050  0.050  50.051  0.056  0.006 ----->
END OF DIMENSION LOC2
PLN3  =FEAT/PLANE,CARTESIAN,TRIANGLE
      THEO/<-544.883,-446.181,-2.118>,<0.0006542,0.0000699,0.9999998>
      ACTL/<-243.768,-584.554,2.925>,<-0.0016648,0.0025141,0.9999955>
      MEAS/PLANE,4
      HIT/BASIC,NORMAL,<-552.958,-487.918,-2.111>,<0.0006542,0.0000699,0.9999998>,<-
230.298,-623.887,3.047>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-504.984,-442.393,-2.144>,<0.0006542,0.0000699,0.9999998>,<-
199.378,-563.658,2.946>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-547.041,-410.257,-2.121>,<0.0006542,0.0000699,0.9999998>,<-
267.972,-547.968,2.793>,USE THEO=YES
      HIT/BASIC,NORMAL,<-574.549,-444.157,-2.097>,<0.0006542,0.0000699,0.9999998>,<-
277.424,-602.702,2.913>,USE THEO=YES
      ENDMEAS/
A3    =ALIGNMENT/START,RECALL:A2,LIST=YES
      ALIGNMENT/LEVEL,ZPLUS,PLN3
      ALIGNMENT/END
CIR3  =FEAT/CIRCLE,CARTESIAN,IN,LEAST_SQR

```

```

THEO/<-541.42,-445.266,-9.298>,<0,0,1>,50.035
ACTL/<-239.902,-577.134,-7.786>,<0,0,1>,70.047
MEAS/CIRCLE,8,ZPLUS
HIT/BASIC,NORMAL,<-531.294,-422.378,-8.97>,<-0.4046075,-0.9144905,0>,<-206.082,-
568.064,-9.962>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-517.531,-437.859,-10.943>,<-0.9551378,-0.2961616,0>,<-217.757,-
550.007,-9.753>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-519.03,-456.404,-9.661>,<-0.8953395,0.4453844,0>,<-242.796,-
542.233,-7.61>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-542.238,-470.256,-8.689>,<0.0327123,0.9994648,0>,<-262.854,-
550.671,-3.218>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-565.284,-437.778,-6.057>,<0.9541315,-0.2993877,0>,<-274.363,-
570.838,-3.558>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-555.35,-466.051,-9.92>,<0.5567152,0.8307034,0>,<-268.036,-597.981,-
10.079>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-538.176,-470.086,-9.572>,<-0.1295991,0.9915665,0>,<-256.382,-
608.031,-7.165>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-531.696,-468.326,-10.574>,<-0.3885643,0.9214216,0>,<-210.385,-
596.015,-10.944>,USE THEO=YES
ENDMEAS/
DIM LOC3= LOCATION OF CIRCLE CIR3 UNITS=MM,$
GRAPH=OFF TEXT=OFF MULT=10.00 OUTPUT=BOTH HALF ANGLE=NO
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL
D 69.998 0.050 0.050 70.047 0.049 0.000 -----#
END OF DIMENSION LOC3
PLN4 =FEAT/PLANE,CARTESIAN,TRIANGLE
THEO/<-565.267,18.752,-7.914>,<-0.0016031,0.000374,0.9999986>
ACTL/<61.862,-590.821,-5.151>,<-0.0002101,-0.0027619,0.9999962>
MEAS/PLANE,4
HIT/BASIC,NORMAL,<-611.07,36.358,-7.995>,<-0.0016031,0.000374,0.9999986>,<47.331,-
635.907,-5.276>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-581.173,-29.505,-7.921>,<-0.0016031,0.000374,0.9999986>,<108.538,-
609.947,-5.197>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-512.945,0.758,-7.824>,<-0.0016031,0.000374,0.9999986>,<80.079,-
540.014,-5.005>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-555.879,67.397,-7.917>,<-0.0016031,0.000374,0.9999986>,<11.501,-
577.414,-5.127>,USE THEO=YES
ENDMEAS/
A4 =ALIGNMENT/START,RECALL:A3,LIST=YES
ALIGNMENT/LEVEL,ZPLUS,PLN4
ALIGNMENT/END
CIR4 =FEAT/CIRCLE,CARTESIAN,IN,LEAST_SQR
THEO/<-559.241,18.149,-17.119>,<0,0,1>,84.077
ACTL/<59.231,-588.447,-12.974>,<0,0,1>,84.092
MEAS/CIRCLE,11,ZPLUS
HIT/BASIC,NORMAL,<-517.547,12.863,-18.007>,<-0.9920575,0.1257855,0>,<75.281,-549.597,-
14.483>,USE THEO=YES

```

```

HIT/BASIC,NORMAL,<-523.831,-4.489,-18.564>,<-0.8425418,0.538631,0>,<52.326,-546.971,-
16.725>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-544.55,-21.243,-18.564>,<-0.3494391,0.9369591,0>,<29.047,-559.166,-
14.426>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-567.418,-23.097,-19.856>,<0.1944458,0.9809133,0>,<18.266,-578.932,-
14.546>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-586.387,-13.95,-20.016>,<0.6457312,0.7635648,0>,<21.95,-607.873,-
9.827>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-599.954,7.653,-17.86>,<0.9683337,0.2496593,0>,<84.499,-554.851,-
12.314>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-600.788,24.52,-13.264>,<0.9884473,-0.1515649,0>,<97.183,-570.336,-
9.737>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-527.575,45.811,-14.941>,<-0.753126,-0.6578763,0>,<100.995,-583.579,-
10.262>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-548.632,58.839,-16.022>,<-0.252297,-0.9676498,0>,<95.717,-609.358,-
13.364>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-577.493,56.017,-15.985>,<0.4341748,-0.9008286,0>,<83.604,-622.715,-
15.077>,USE THEO=YES
HIT/BASIC,NORMAL,<-592.388,43.989,-15.23>,<0.7886673,-0.6148203,0>,<55.47,-630.312,-
11.953>,USE THEO=YES
ENDMEAS/
DIM LOC4= LOCATION OF CIRCLE CIR4 UNITS=MM,$
GRAPH=OFF TEXT=OFF MULT=10.00 OUTPUT=BOTH HALF ANGLE=NO
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL
D 84.018 0.050 0.050 84.092 0.074 0.024 ----->
END OF DIMENSION LOC4

```

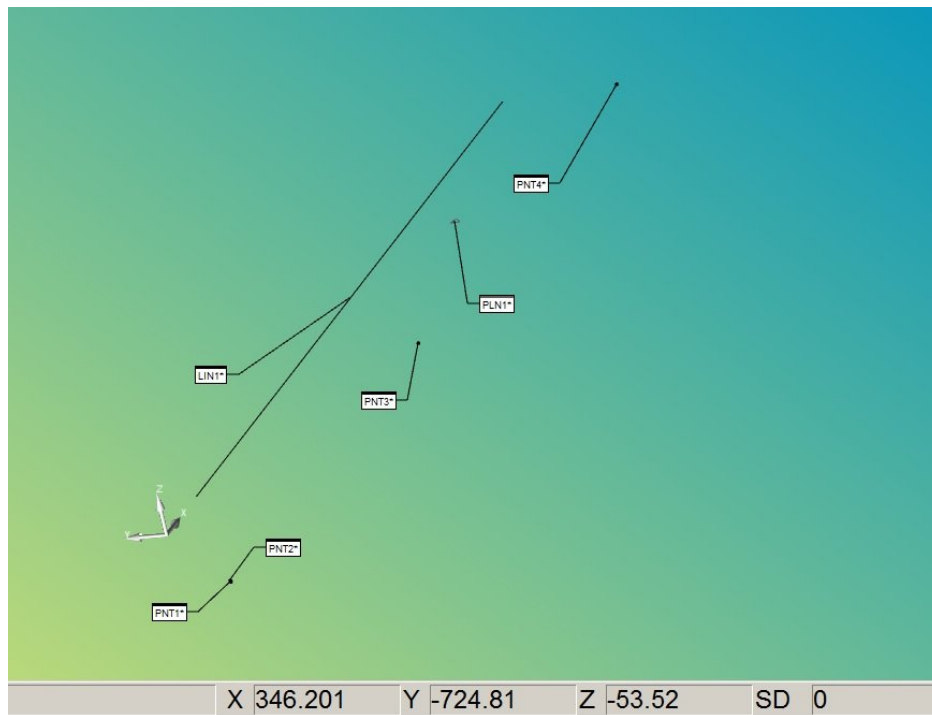
5.3 Провера тачности координатне мерне руке помоћу Koba step gauge-a

Koba step gauge је врста мерног еталона специјално направљена за контролу тачности координатних мерних система, као што су мерне руке. Принцип мерења и испитивања тачности је исти као и са мерним прстеновима само са малом разликом коју ћу описати у овом делу рада. Метод који смо применили на мерењу Koba step-a је метод мерења линија, круг, тачка.

На самом почетку пре него сто се почне са мерењем дела, неопходно је подесити програм као и мерни уређај, у овом случају Faro мерну руку, као што смо учинили приликом мерења еталона.

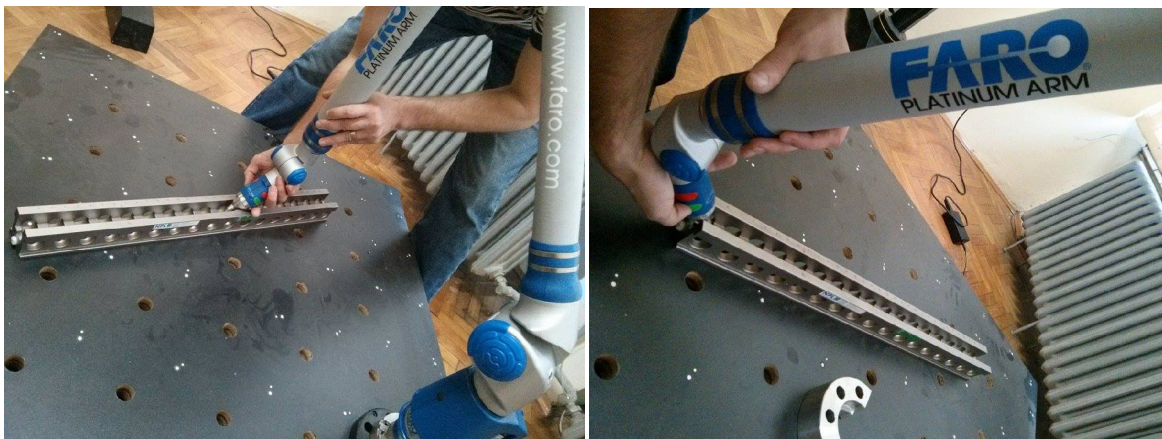
Након подешавања прелазимо на мерење Koba step-a. Прво што треба да урадимо јесте да се дефинише референтни координатни систем. Њега дефинишемо тако сто дефинишемо горњу површину (горњу раван Koba step-a) и ставимо да z оса тог координатног система лежи на тој равни. То радимо преко опције (*Measured Plane* и *Alignment Utilities*). Након што смо дефинисали

координатни систем морали смо да дефинишемо почетну тачку која ће нам служити да преко ње дамо на знање програму са које стране пипком прилазимо.



Слика 39. Изглед мерења Koba step-a у PC-DMIS-у (Изглед радне површине)

Након што смо ово све урадили сада можемо да почнемо са мерењем. Сам поступак је врло једноставан, узећемо три произвољне позиције на Koba step-у, и мерићемо растојање између њих. Ми унапред знамо тачно растојање тих тачака, зато што су она дефинисана сертификатом које издаје произвођач нашег мерног еталона, у овом случају Koba step-a. Тачке које смо ми изабрали и чије ћемо растојање да меримо су на (слици 39) означене као PNT2, PNT3 и PNT4.



Слика 40 и 41. Поступак мерења Koba step-a помоћу мерне руке Faro arm

Растојања смо мерили тако сто смо узели три тачке за сваки од три произвољна положаја на Коба еталону. Тачке које смо узели на еталону су 0, 15 и 31. Растојања смо мерили као:

- Растојање од 0 до 15 (од PNT2 до PNT3) и
- Растојање од 0 до 31 (од PNT2 до PNT4).

pcodmis		PART NAME : igor				October 02, 2014	11:36
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT2 TO PNT3 (XAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	300.009	0.025	0.025	299.926	-0.083	0.058	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PNT4 (XAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	620.052	0.025	0.025	619.947	-0.105	0.080	

Слика 42. Табела са добијеним резултатима мерења Koba step gauge-a

А то растојање меримо исто као и код мерних прстенова, помоћу *Feature Location* прозора, тако сто обележимо између које две тачке тражимо измерено растојање (у овом случају PNT2 до PNT3, као и PNT2 до PNT4), а у *Nominal Size* прозору упишемо вредности за растојања која је произвођач прописао. Пошто смо одрадили један поступак мерења, исти поступак смо поновили само са том разликом да нам је Koba step померен на другу локацију у простору. Након тога програм сам обрађује добијене резултате и ми их добијамо у готовом облику, као што нам је приказано на слици 42.

Парт програм и подешавање извештаја мерења:

PART NAME : igor
 REV NUMBER :
 SER NUMBER :
 STATS COUNT : 1

STARTUP =ALIGNMENT/START,RECALL:USE_PART_SETUP,LIST=YES
 ALIGNMENT/END
 MODE/MANUAL
 FORMAT/TEXT,OPTIONS, ,HEADINGS,SYMBOLS, ;NOM,TOL,MEAS,DEV,OUTTOL, ,
 LOADPROBE/NOVIPIAK
 TIP/TIP1, SHANKIJK=0, 0, 1, ANGLE=0
 PLN1 =FEAT/PLANE,CARTESIAN,TRIANGLE
 THEO/<-329.791,56.589,410.195>,<0.0037653,0.9999789,-0.0052922>

```

        ACTL/<-491.505,57.267,497.458>,<0.0027595,0.9999847,-0.0048032>
        MEAS/PLANE,4
        HIT/BASIC,NORMAL,<-205.702,57.145,605.759>,<0.0037653,0.9999789,-0.0052922>,<-
661.884,56.895,321.654>,USE THEO=YES
        HIT/BASIC,NORMAL,<-184.651,56.872,564.784>,<0.0037653,0.9999789,-0.0052922>,<-
673.82,57.126,364.064>,USE THEO=YES
        HIT/BASIC,NORMAL,<-470.862,56.346,261.745>,<0.0037653,0.9999789,-0.0052922>,<-
330.174,57.64,667.345>,USE THEO=YES
        HIT/BASIC,NORMAL,<-457.949,55.993,208.494>,<0.0037653,0.9999789,-0.0052922>,<-
300.14,57.405,636.766>,USE THEO=YES
        ENDMEAS/
A1      =ALIGNMENT/START,RECALL:STARTUP,LIST=YES
        ALIGNMENT/LEVEL,ZPLUS,PLN1
        ALIGNMENT/END
LIN1    =FEAT/LINE,CARTESIAN,UNBOUNDED
        THEO/<-247.533,-562.394,53.175>,<-0.6101773,0.7922649,0>
        ACTL/<-256.954,-740.299,53.52>,<-0.7491696,0.6623782,0>
        MEAS/LINE,3,FEATURE=PLN1
        HIT/BASIC,NORMAL,<-247.532,-562.393,46.335>,<-0.7922649,-0.6101773,0>,<-256.951,-
740.296,45.694>,USE THEO=YES
        HIT/BASIC,NORMAL,<-391.911,-374.937,48.439>,<-0.7922649,-0.6101773,0>,<-455.964,-
564.357,44.728>,USE THEO=YES
        HIT/BASIC,NORMAL,<-510.076,-221.501,47.35>,<-0.7922649,-0.6101773,0>,<-624.746,-
415.109,46.692>,USE THEO=YES
        ENDMEAS/
A2      =ALIGNMENT/START,RECALL:A1,LIST=YES
        ALIGNMENT/ROTATE,XPLUS,TO,LIN1,ABOUT,ZPLUS
        ALIGNMENT/END
PNT1    =FEAT/POINT,CARTESIAN
        THEO/<-427.242,511.255,23.545>,<-1,0,0>
        ACTL/<-346.201,696.574,25.431>,<-1,0,0>
        MEAS/POINT,1,WORKPLANE
        HIT/BASIC,NORMAL,<-427.242,511.255,23.545>,<-1,0,0>,<-346.201,696.574,25.431>,USE
THEO=YES
        ENDMEAS/
A3      =ALIGNMENT/START,RECALL:A2,LIST=YES
        ALIGNMENT/TRANS,YAXIS,LIN1
        ALIGNMENT/TRANS,XAXIS,PNT1
        ALIGNMENT/TRANS,ZAXIS,PLN1
        ALIGNMENT/END
PNT2    =FEAT/POINT,CARTESIAN
        THEO/<-3.012,-26.928,-32.451>,<-1,0,0>
        ACTL/<0.007,-28.12,-27.321>,<-1,0,0>
        MEAS/POINT,1,WORKPLANE
        HIT/BASIC,NORMAL,<-3.012,-26.928,-32.451>,<0,0,1>,<0.007,-28.12,-27.321>,USE THEO=YES
        ENDMEAS/
PNT3    =FEAT/POINT,CARTESIAN
        THEO/<302.879,-27.251,-31.897>,<1,0,0>

```

```

        ACTL/<299.933,-28.07,-29.516>,<1,0,0>
        MEAS/POINT,1,WORKPLANE
        HIT/BASIC,NORMAL,<302.879,-27.251,-31.897>,<0,0,1>,<299.933,-28.07,-29.516>,USE
THEO=YES
        ENDMEAS/
PNT4    =FEAT/POINT,CARTESIAN
        THEO/<622.878,-27.639,-32.006>,<1,0,0>
        ACTL/<619.955,-27.57,-28.663>,<1,0,0>
        MEAS/POINT,1,WORKPLANE
        HIT/BASIC,NORMAL,<622.878,-27.639,-32.006>,<0,0,1>,<619.955,-27.57,-28.663>,USE
THEO=YES
        ENDMEAS/
DIM DIST1= 2D DISTANCE FROM POINT PNT2 TO POINT PNT3 PAR TO    XAXIS,NO_RADIUS
UNITS=MM,$
GRAPH=OFF TEXT=OFF MULT=10.00 OUTPUT=BOTH
AX  NOMINAL    +TOL    -TOL    MEAS    DEV    OUTTOL
M   300.009    0.025    0.025    299.926    -0.083    0.058 <-----
DIM DIST2= 2D DISTANCE FROM POINT PNT2 TO POINT PNT4 PAR TO    XAXIS,NO_RADIUS
UNITS=MM,$
GRAPH=OFF TEXT=OFF MULT=10.00 OUTPUT=BOTH
AX  NOMINAL    +TOL    -TOL    MEAS    DEV    OUTTOL
M   620.052    0.025    0.025    619.947    -0.105    0.080 <-----
END OF MEASUREMENT FOR
PN=igor        DWG=                SN=
TOTAL # OF MEAS =0  # OUT OF TOL =0          # OF HOURS = 00:00:00

```

5.4 Коментари мерења

На основу добијених резултата мерења на примеру толеранцијских мерних прстенова и Koba step gauge-а који су веома тачно израђени и у задатим микро-климатским условима имају дефинисану дужину. Мерења су извршена мерним системом Faro Arm Platinum у не баш идеалним (не лабораториским) условима, и на основу тога да знамо да наш уређај може да прави толеранцијску (дозвољену) грешку од 25 микрона, из доле наведених резултата можемо закључити да наш уређај прави много већу грешку од дозвољене. Максимално одступање измерене дужине од номиналне вредности у овом раду је одступање од 105 микрона (а мерено је растојање од 621мм), а најмање одступање измерене вредности од номиналне је 42 микрона (а мерено је растојање од 90мм). Из добијених резултата можемо видети да систем прави већу грешку ако је растојање веће и обрнуто.

Табела 6. Одступање измерених од номиналних вредности измерених на *Koba ster gauge-y*

Номинална вредност (мм)	Толеранција (мм)	Толеранција (мм)	Измерена вредност (мм)	Грешка мерења (мм)	Изван толеранције (мм)
300.009	0.025	0.025	299.926	0.083	0.058
620.052	0.025	0.025	619.947	0.105	0.080

Табела 7. Одступање измерених од номиналних вредности измерених на толеранцијско мерним прстеновима

Номинална вредност (мм)	Толеранција (мм)	Толеранција (мм)	Измерена вредност (мм)	Грешка мерења (мм)	Изван толеранције (мм)
89.993	0.050	0.050	90.035	0.042	0.000
49.995	0.050	0.050	50.051	0.056	0.006
69.998	0.050	0.050	70.047	0.049	0.000
84.018	0.050	0.050	84.082	0.074	0.024

Да би објаснили велику грешку на нашем мерном уређају Faro Arm Platinum, морамо нагласити да услови у којима се мерило нису били идеални. Главни недостаци су ти да се мерење вршило у не лабораторијским условима као и да еталони који су коришћени за испитивање тачности нису аклиматизовани (влажност, температура). Тако да можемо закључити да су услови сигурно утицали на тачност наших добијених резултата.

6. Закључак

Координатне мерне машине су у последњој деценији сведене на форму мерних рука, мобилних и веома флексибилних мерних машина погодних за мерење на терену.

Сходно самој заступљености *СММ* координатних мерних машина, контроли мерења и управљања помоћу истих, могуће је мерити и најсложеније делове различитих материјала са веома великом прецизношћу и поновљивошћу. Са координатном мерном машином је омогућено смањење трошкова шкарта, извођења мерења у целисти и повећање саме продуктивности у производњи.

Мерне руке су једне од најпоузданијих мерних машина на тржишту на којима се врше мерења дела различитих површина храпавости, отвора различитих пречника који су дати пропратном техничком документацијом. У поређењу са традиционалним координатним мерним машинама, руке су знатно мање и лакше, и на тај начин, могу се однети до дела уместо да се део доноси до мерне машине. Осим тога, руке су дизајниране да се прилагоде већини температурних услова, тако да могу да раде у широком спектру окружења. Поред тога то су знатно јефтиније од фиксних координатних мерних машина. Такође, једноставније су за коришћење коришћењем тастера на ручици мерног пипка.

У овом раду представљени су извештаји са контроле мерења два еталона (толеранцијски мерни прстен и Koba Step gauge) на основу којих смо испитивали тачност наше мерне машине (Faro Arm Platinum), и дошли смо до закључка да наша мерна машина није дала жељену тачност.

Мерење приказано у овом раду, на жалост, није извршено у лабораторијским као и контролисаним микроклиматским условима (влажност, температура). Тиме се може оправдати што мерна рука Faro Arm Platinum прави нешто већу грешку од дозвољене, међутим, на основу искуства поуздано се зна да овај мерни уређај има тачност која је унутар граница декларисаних од стране произвођача и задовољава индустријске потребе.

Литература:

- [1] М. Лазић Основи метрологије, Универзитет “Светозар Марковић“, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 1987
- [2] PC-DMIS CoreManual, HexagonMetrology, 2012.
- [3] http://melab.wikischolars.columbia.edu/file/view/PC-DMIS_4.3_Reference_Manual.pdf (Приступљено 28.09.2014. у 20:45)
- [4] <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/dokumenti/katedra0155/Merenje%20i%20kvalitet/Pri%20kolokvijum/2%20JEDNOSTRUKA%20MERILA%20BEZ%20TOLERANCIJSKIH.pdf> (Приступљено 28.09.2014. у 21:47)
- [5] <http://markd.ro/old/Catalog/MarkD/PDF%20MarkD/KOBA/koba-step.pdf> (Приступљено 28.09.2014. у 19:35)
- [6] М. Лазић, Б. Недић Обрада метала резањем, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 2007
- [7] <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/dokumenti/katedra0155/Projektovanje%20pribora%20i%20merne%20ma%C5%A1ine/KMM%20kont-senzori.pdf> (Приступљено 29.09.2014. у 13:19)
- [8] http://www2.faro.com/ap/resource/techsheets/in/Platinum_Arm.aspx (Приступљено 29.09.2014. у 14:55)
- [9] http://cent.mas.bg.ac.rs/nastava/teh_mas_obrade/prezentacije/tmoa13.pdf (Приступљено 30.09.2014. у 19:13)
- [10] http://www.leicageosystems.com/downloads123/hxltz/Leitz/general/brochures/ISO_10360_en.pdf (Приступљено 30.09.2014. у 19:35)
- [11] <http://www.hexagonmetrology.com.cn/uploadfiles/file/iso10360-e.pdf> (Приступљено 25.09.2014. у 18:15)
- [12] http://www.retecon.co.za/wp-content/uploads/2012/04/PC-DMIS_EMS_brochure_en.pdf (Приступљено 25.09.2014. у 18:05)
- [12] DMIS_EMS_brochure_en.pdf (Приступљено 22.09.2014. у 17:35)
- [13] <http://www.koba.de/index.php?id=26> (Приступљено 22.09.2014. у 17:59)
- [14] <http://www.teximp.rs/faro.html> (Приступљено 20.09.2014. у 20:06)
- [15] <http://www.hahn-kolb.com> (Приступљено 20.09.2014. у 19:27)
- [16] <http://www.centrotecnica.net/other-services/advanced-measuring/> (Приступљено 20.09.2014. у 17:13)

- [17] Дарко Радисављевић, Поређење тачности тактилних, оптичких и хибридних координатних мерних метода за мерење дужине, Завршни рад, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2013
- [18] Богдановић Бојан, РС-DMIS, Семинарски рад, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2012