

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Индустијски инжењеринг

Предмет: Мерење и управљање

Број индекса: 184/2009

**Дарко М. Радисављевић**  
**Поређење тачности тактилних, оптичких и**  
**хибридних координатних мерних метода за**  
**мерење дужине**  
**завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Петар Тодоровић - ментор

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Датум

одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да изврши поређење тачности тактилних - контактних 3D координатних мерних система, оптичких – бесконтактних и хибридних 3D координатних мерних система за мерење дужине. Кандидат треба укратко да објасни принцип рада тактилних мерних уређаја за мерење дужине, да опис метода, софтвера и уређаја које је користио у свом раду. У делу практичног рада кандидат треба да изабере репрезентативни узорак на коме ће моћи да изврши поређење резултата мерења дужине горе поменутих метода.

Препоручена литература:

[1] PowerINSPECT 2012R2, User Manual – Software, Delcam, 2012

[2] ATOS User Information, ATOS Probe/Adapter Set, GOM mbH, atos\_probe-adapter-kit\_en\_rev-a 18-Dec-2007

Крагујевац,  
01. 06. 2013. године

Ментор:  
Проф. др Петар Тодоровић, дипл. инг.

**Резиме:** Рад показује поређење тачности између тактилних - контактних 3D координатних мерних система, оптичких – бесконтактних и хибридних 3D координатних мерних система и упутства за алате који су потребни за рад са истим. Модули ових мерних система нуде мерења координата и омогућавају: верификацију толеранција облика и положаја (GD&T), CAD поређење и контролу спецификација из konstruktivne dokumentacije.

**Кључне речи:** -Мерење

- Тактилни, оптички и хибридни мерни системи
- Упутства и алати за мерне системе
- Тачност мерних система

**Summary:** This paper shows the accuracy comparison between tactile - contact 3D coordinate measurement systems, optical - contactless and hybrid 3D coordinate measurement systems and instructions for tools needed to work with it. Modules of these measurement systems offer the coordinate measurement and allow: verification of shape and position tolerances (GD&T), CAD comparison and control specifications from the construction documentation.

**Keywords:** -Measurement

- Tactile, optical and hybrid measuring systems
- Manuals and tools for measuring systems
- Accuracy of measuring systems

## Садржај

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 УВОД.....                                                                            | 1  |
| 1.1 Основе метрологије и мерења .....                                                  | 1  |
| 1.2 Тачност и прецизност мерења .....                                                  | 2  |
| 1.3 Координатна мерна техника .....                                                    | 2  |
| 1.4 Конструктивне карактеристике координатно мерних машина .....                       | 3  |
| 1.5 Карактеристике софтвера.....                                                       | 4  |
| 1.6 Изведене конструкције координатно мерних машина .....                              | 5  |
| 1.7 Контактни сензори на координатно мерним машинама .....                             | 5  |
| 1.8 Подела сензора.....                                                                | 5  |
| 1.8.1 Крути сензори.....                                                               | 5  |
| 1.8.2 Контактни сензори за мерење "тачка по тачка".....                                | 7  |
| 1.8.3 Статички контактни сензори .....                                                 | 7  |
| 1.8.4 Пиезоелектрични сензори.....                                                     | 8  |
| 1.8.5 Сензори на принципу мерних трака .....                                           | 8  |
| 1.8.6 Континуални контактни сензори .....                                              | 9  |
| 1.8.7 Активни континуални контактни сензори .....                                      | 9  |
| 1.8.8 Пасивни континуални контактни сензори.....                                       | 9  |
| 1.9 Калибрација и верификација мерног пипка.....                                       | 10 |
| 1.9.1 Мерење "тачка по тачка" .....                                                    | 10 |
| 1.10 Координатни системи.....                                                          | 10 |
| 1.11 Елементарни геометријски облици.....                                              | 11 |
| 1.12 Калибрација и верификација.....                                                   | 11 |
| 1.12.1 Калибрација и верификација мерног пипка .....                                   | 12 |
| 1.13 Методе калибрације.....                                                           | 12 |
| 1.13.1 Метода шест тачака .....                                                        | 12 |
| 1.13.2 Ручна метода .....                                                              | 13 |
| 1.13.3 Геометријски поновљена калибрација.....                                         | 13 |
| 1.14 Програмирање координатно мерних машина .....                                      | 13 |
| 1.14.1 План стезања и позиционирања .....                                              | 14 |
| 1.14.2 План мерних пипака .....                                                        | 14 |
| 1.15 Врсте програмирања координатно мерних машина .....                                | 14 |
| 1.16 Стратегија мерења.....                                                            | 15 |
| 1.16.1 Конструкциона обележја .....                                                    | 17 |
| 2 Мерна рука Faro Arm Platinum .....                                                   | 18 |
| 2.1 Калибрација мерног пипка.....                                                      | 21 |
| 2.2 Преглед и упуство за рад у софтверу PowerINSPECT 2012 R2.....                      | 23 |
| 2.2.1 Контрола дела .....                                                              | 23 |
| 2.2.2 Креирање извештаја.....                                                          | 23 |
| 2.2.3 Иницијално подешавање мерне руке Faro Arm Platinum у софтверу Power Inspect..... | 23 |
| 2.2.4 Креирање нове контролне сесије .....                                             | 29 |
| 2.2.5 Кретање по PowerINSPECT почетном екрану .....                                    | 31 |
| 2.2.6 Манипулисање CAD моделом .....                                                   | 32 |
| 2.2.7 Калибрација мерног пипка .....                                                   | 33 |
| 2.2.8 Аутоматска калибрација сензора .....                                             | 33 |
| 2.2.9 Калибрација мерног пипка пре додира .....                                        | 35 |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.10 Трансформација модела у дефинисани координатни систем .....                  | 36 |
| 2.2.11 Креирање геометријске групе .....                                            | 37 |
| 2.2.12 Креирање измерене равни.....                                                 | 39 |
| 2.2.13 Одложено мерење .....                                                        | 40 |
| 2.2.14 Креирање два измерена круга .....                                            | 41 |
| 2.2.15 Креирање линије.....                                                         | 43 |
| 2.2.16 Креирајте тачке за неизмерене карактеристике.....                            | 45 |
| 2.2.17 Креирање поравнања .....                                                     | 45 |
| 2.2.18 Мерење дела .....                                                            | 47 |
| 2.2.18.1 Мерење конуса .....                                                        | 47 |
| 2.2.18.2 Мерење слота-жлеба .....                                                   | 48 |
| 2.2.18.3 Мерење површине .....                                                      | 51 |
| 2.2.18.4 Мерење неизмерених ставки .....                                            | 52 |
| 2.2.19 Оптимизација - прилагођавање поравнања .....                                 | 54 |
| 2.2.20 Преглед измерених резултата .....                                            | 57 |
| 2.2.20.1 Приказ мерења у CAD прегледу .....                                         | 57 |
| 2.2.20.2 Приказ детаљних информација карактеристика .....                           | 60 |
| 2.2.20.3 Преглед извештаја.....                                                     | 61 |
| 2.2.20.4 Контролисање информација укључених у извештај .....                        | 63 |
| 2.2.20.5 Искључивање карактеристика које су садржане у геометријског<br>групи ..... | 64 |
| 2.2.20.6 Искључивање мера које су садржане у функцији .....                         | 64 |
| 3 Мерни систем GOM Touch Probe .....                                                | 66 |
| 3.1 Калибрација мерног пипка .....                                                  | 68 |
| 3.2 Принцип мерења мерним пипком .....                                              | 70 |
| 3.2.1 Мерење равни.....                                                             | 70 |
| 3.2.2 Мерење тачке на површини .....                                                | 71 |
| 3.2.3 Мерење Best-Fit кружног отвора.....                                           | 71 |
| 3.2.4 Мерење отвора једном тачком .....                                             | 71 |
| 3.2.5 Мерење сфере, конуса и цилиндра.....                                          | 71 |
| 3.2.6 Мерење граничних сегмената.....                                               | 72 |
| 3.2.7 Мерење одступања од референтног елемента (CAD).....                           | 72 |
| 3.3 Даљински управљач .....                                                         | 72 |
| 4 Развој мерног окружења.....                                                       | 73 |
| 5 Поређење резултата мерења .....                                                   | 80 |
| 6 Закључак .....                                                                    | 82 |
| Литература .....                                                                    | 84 |

# 1 УВОД

## 1.1 Основе метрологије и мерења

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, температура, 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.

Овде се наводи кратак историјски преглед производно - метролошких система који је урађен према [Kamp86, Wern81, Wern 82]. До сада се могу издвојити пет развојних етапа:

Прва етапа је узета закључно са 1920. годином. Основна карактеристика овог периода је да се у индустријску производњу и примену уводе једнострука мерила, а отворене су прве фабрике и произвођачи метролошке опреме.

Друга етапа обухвата период од 1920.-1940. у овом периоду развијено је неколико типова метролошких система као што су: оптиметар, ултра оптиметар, АBBE-ова мерна машина, интерферометар, Schmalz-ов микроскоп за мерење хрпавости и други. Овај период се посебно карактерише по томе што је у мерно контролне системе уведена оптика. Сви најзначајнији развијени метролошки системи базирани су на законима оптике.

Трећи период је од 1940-1960. године. У њему је развијен и примењен интерферентни микроскоп и индуктивни мерни системи. Отпочела је и

производња метролошких система за храпавост чији принцип рада није био заснован на оптици. Овај период се посебно карактерише отпочињањем индустријске производње метролошких система на бази пнеуматике.

Четврта етапа обухвата период од 1960.-1980. године. Овај период се карактерише тиме што се у метролошким системима примењује електроника: транзистори, интегрална кола, почеци примене микропроцесора и микрорачунара.

Последња етапа је од 1980. године. Њена основна карактеристика је: Интеграција метролошких процеса са другим процесима (обрада, манипулација, транспорт, контрола) у технолошким системима на бази рачунарске подршке. Развијене су NUMM четвртог и петог технолошког нивоа са машинским програмирањем. Развијају се метролошки системи на бази дигиталне обраде слике. Врше се интензивна истраживања у области интелигентних метролошких система.

## **1.2 Тачност и прецизност мерења**

Са појмом грешке мерења неке величине, директно је повезана тачност (Т) и прецизност (Р) 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 узаостопним, 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.

## **1.3 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, NU-машина (нумерички управљаних) 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.

Програм и поступак мерења на CMM се, при томе, може да направи посебно од NU-машине, на одговарајућем месту за програмирање, слично као и за NU технику. Подаци обраде и мерење могу тада да се доставе једном скупном

информацијском систему, како би се, ако је потребно, процес мерења могао кориговати док је у току обраде. Могући системи програмирања, ако је за обраду, рецимо, EXAPT за мерење ће бити NCMES, а гледајући на укупне податке могући је концепт CAD/CAM.

CMM 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 CMM 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.

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

## **1.4 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 представљају прецизне машине за дужинска мерења (спољња и унутрашња)
- двокоординатна, за мерење равни и
- троокоординатна, за просторна мерења.

Неке конструкције координатно мерних машина снабдеване су и обртним столом. Према методи мерења може бити:

- тачка по тачка
- scanning-поступак (претраживање).

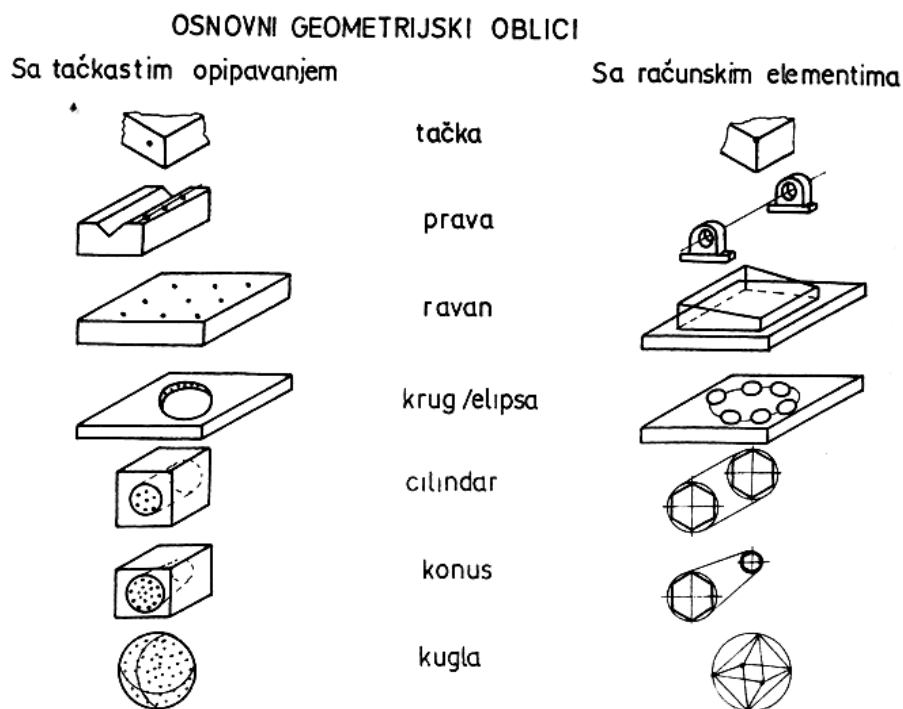
## 1.5 Карактеристике софтвера

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 основе које овакви програми треба да испуњавају су:

- Аутоматски се подешава смер кретања мерног пипка и мерна раван.
- 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 (subroutine) , чијом се комбинацијом тада слаже комплетан стандардни програм за мерење.



Слика 1.5.1: Основни геометријски облици

Први језик који је развијен за потребе програмирања на СММ 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.

## **1.6 Изведене конструкције координатно мерних машина**

Мерење код трокоординатних мерних машина се може изводити на више начина.

Тако може бити:

- Мерење са механичким додиром, пипком, смештеног у електронској мерној глави без превођења са мерном силом од (0.5-2.5) N.
- Мерење са механичким додиром са превођењем, што представља мерење без дејства мерне силе.
- Оптичко мерење мерних предмета.

## **1.7 Контактни сензори на координатно мерним машинама**

Функција СММ је аквизиција информација са мереног дела, углавном у форми Декартових координата. Уређаји намењени за обезбеђивање ове врсте информација називају се СЕНЗОРИ.

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

## **1.8 Подела сензора**

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.

### **1.8.1 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 објекта.



(a)



(б)

Слика 1.8.1.1: Примери мерних рука: (a) Faro Arm Platinum мерна рука, (б) Romer мерна рука

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.

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.

### **1.8.2 Контактни сензори за мерење "тачка по тачка"**

Ови сензори се називају и “окидачки” (енг. trigger probes) зато што генеришу електрични сигнал када дођу у физички контакт са мерним предметом. Овај сигнал се користи за заустављање свих кретања машине и снимање координата центра пипка од стране мерног система СММ. Најраспрострањенији контактни сензори за мерење на принципу “тачка по тачка” могу се поделити у три главне категорије и то:

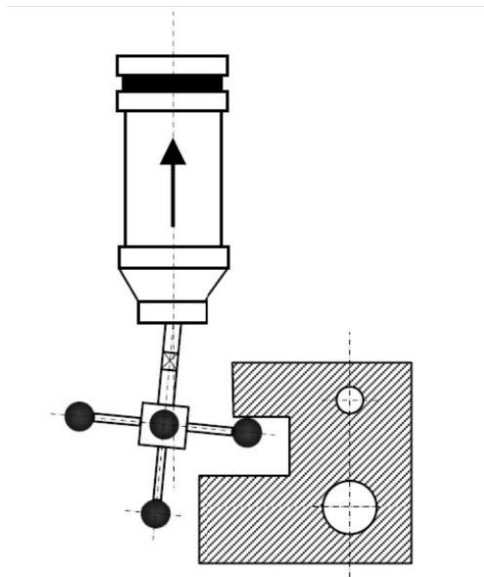
- засновани на концепту статичког носача,
- засновани на концепту пиезоелектричног статичког носача и
- засновани на концепту мерних трака.

### **1.8.3 Статички контактни сензори**

Ова врста сензора је најједноставнија и најзаступљенија код мерења на принципу “тачка по тачка”. Често се користе за одређивање нулте тачке на обрадним центрима. Уређаји ове врсте су много година били једини електрични сензори на координатним мерним машинама. Ови сензори су засновани на механизму где су три пара контаката затворена силом опруге. Та три контакта образују статички носач, веома поновљив у позиционирању. Контакти су састављени од три цилиндра која се налазе у истој равни под међусобном углом од  $120^\circ$ . У стању мировања цилиндри заједно са сферама затварају електрично коло.

Ови сензори могу бити:

- 5-смерни, односно способни за мерење у било ком правцу, али не у правцу осе мерног пипка, или
- 6-смерни којима се мери у свим правцима.



Слика 1.8.3.1: Пример изменљивог пипка

Пипак сензора је изменљив за случај оштећења и хабања, али и што је веома важно, како би се омогућио избор најбоље конфигурације (димензионо и морфолшки) за дати метролошки захват.

Тело пипка је у општем случају направљено од нерђајућег челика, али неретко се срећу тела пипка од керамике или угљеничних влакана, како би се смањила маса, обезбедила добра реакција на температурне услове околине итд.

Врх пипка, често у облику сфере се производи од вештачког рубина или керамике. Дужина пипка је критични параметар који може утицати на поузданост мерних резултата. Као и сваки предмет на који се врши механичко дејство, када сензор додирне предмет, он подлеже еластичним деформацијама, савијању и извијању. Амплитуда осцилација може варирати у зависности од дужине пипка, материјала пипка, брзине мерења итд.

#### 1.8.4 Пиезоелектрични сензори

Пиезоелектрични сензор детектује осцилације настале приликом контакта врха пипка и мерног предмета. Главне карактеристике ове врсте сензора су: (а) веома добре метролошке особине чак и са пипцима са повећаном дужином, (б) могућност мерења тачака у свим правцима (6-смерно), (в) могућност директног постављања у главну осу координатне мерне машине и (г) висока тачност.

Без обзира на корисна својства, овај тип сензора није распрострањен као претходни, али се мора нагласити да су сензори са електро-механичким статичким носачем конципирани и пласирани на тржиште током раних 70-тих година XX века, док су пиезоелектрични сензори конципирани много касније.

#### 1.8.5 Сензори на принципу мерних трака

Ови сензори имају могућност мерења силе контакта пипка и предмета у три правца. Излазне информације се затим процесирају електронским интерфејсом сензора који прати када резултирајући вектор силе прелази дату границу. Када се постигне гранични ниво, аутоматски се остварује сигнал о мерењу тачке. У односу на електро-механичке сензоре од тачке до тачке, сензори са мерним тракама стварају сигнал при знатно мањој сили додиром са предметом, што

дозвољава незнатно савијање пипка и знатно смањен отклон. Из претходног произилази добра особина сензора са мерним тракама - могућност употребе пипака већих дужина. Недостатак је велика осетљивости ових уређаја, излазни подаци се морају пречистити како би се избегле тачке шума, које нису настале додиром са делом, него услед вибрација покретних елемената машине. Због тога се препоручује коришћење пипака од материјала са dobrим карактеристикама пригушења осцилација и што мање масе.

#### **1.8.6 Континуални контактни сензори**

Континуални контактни сензори су много година представљали најсофистициранији облик сензора коришћених на координатним мерним машинама. Као што је већ наведено, сензор дискретних тачака долази у додир са предметом само у тренутку мерења тачке, док код континуалног скенирања сензор остаје у додиру са предметом пратећи његов профил и сакупљајући тачке према претходно дефинисаним правилима. Овај тип сензора се користи за мерење и за дигитализацију.

Ове врсте уређаја се могу поделити у две категорије:

- активне
- пасивне.

#### **1.8.7 Активни континуални контактни сензори**

Активни сензор практично представља CMM унутар CMM. Садржи мерни систем, погонски систем и носећу структуру. Ови уређаји користе активно генерисање силе, тј. за време мерења по путањи скенирања сензор сам контролише силу контакта са делом и на тај начин се избегавају утицаји изазвани деформацијама пипка при мерењу. Савремени сензори ове врсте су опремљени системом аутоматског уравнотежења масе система пипака.

#### **1.8.8 Пасивни континуални контактни сензори**

Пасивни сензори су једноставнији механизми. Имају могућност читавања отклона пипка помоћу механизма опруге. Мерење тачака се остварује кретањем оса CMM који узрокују померање пипка из положаја мировања. Најчешћи механизам је заснован на три пара опруга, постављених у виду паралелограма. Сила мерења зависи од отклона мерног пипка приликом мерења. Напретком управљачког система CMM, пасивни континуални сензори су почели да замењују активне због своје цене. Пасивни сензор је могуће причврстити на зглобни држач, тако да је могуће постићи било који положај у простору уз изузетну поновљивост. Ова врста сензора, који се могу користити и за мерење дискретних тачака.

## **1.9 Калибрација и верификација мерног пипка**

### **1.9.1 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.

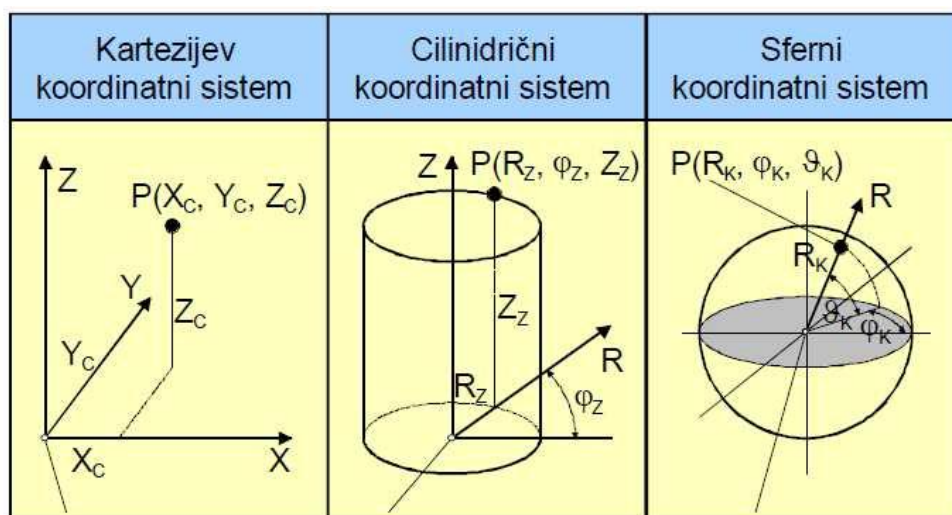
Методологија координатне метрологије се може дефинисати као:

- геометријске особине предмета се мере у одређеним мерним тачкама коришћењем координатног мерног уређаја,
- координате мерних тачака се користе за добијање математичког модела предмета који се назива супститутивна геометрија,
- номинална геометрија се пореди са супститутивном и долази се до информација о одступањима.

## **1.10 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.



Слика 1.10.1: Координатни системи у употреби

## 1.11 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 1.11.1 : Потребан број тачака за креирање геометријских облика

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

## 1.12 Калибрација и верификација

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 најваљиднији. За верификацију би најједноставније могли рећи да је потврда о ваљаности предходно извршене калибрације.

### 1.12.1 Калибрација и верификација менрог пипка

Калибрација и верификација су две фундаменталне 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.

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.

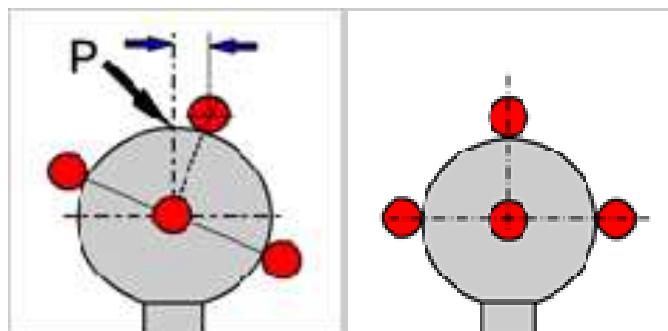
Линије и равне површине су померене у правцу нормале на радијус врха мерног пипка:

- 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.

## 1.13 Методе калибрације

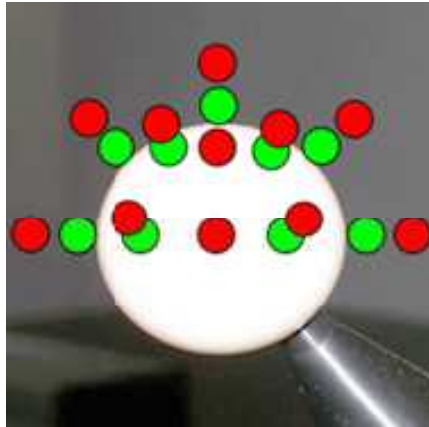
### 1.13.1 Метода шест тачака

Ова метода је стандардна за пребацивање мерних глава. Користи се за почетно одређивање геометрије мерног сензора. Може да се користи за све мерне главе са сферно обликованим крајевима мерног пипка. Није погодно за веома кратке мерне пипке и посебне комбинације мерних пипака (нпр. искошене конструкције). За одређивање позиције се користе четири тачке, а затим шест тачака за процес калибрације.



Слика 1.13.1.1: Правилно одређивање позиције

Ова метода је стандардна метода за мерење мерним сензорима. Код ове методе се одређује један статички вектор. Вектор указује савијање мерног пипка у односу на примењену снагу. Врши се укупно 30 опипавања на 15 тачака сфере. Овде, свака тачка се мери два пута и то сваки пут са различито примењеном силом. Статички вектор произилази из те разлике између обављених мерења.



Слика 1.13.1.2: Мерење тачке различитим силама

### 1.13.2 Ручна метода

Користи се само ако аутоматска калибрација ( нпр. због геометрије осовине ) није могућа. Такође се користи за калибрацију температуре мерног пипка или за почетну калибрацију цилиндра мерног пипка. Код ове методе тачке које су потребне за калибрацију узима произвољно оператер на машини. Овде, прва узета тачка одређује правац кретања мерног пипка. Накнадно узимање тачака се користи за израчунавање геометрије мерног пипка. ( резултати су стога могући после петог узимања тачака ).

### 1.13.3 Геометријски поновљена калибрација

Користи се за накнадно дефинисање геометрије мерног пипка ако је било промена нежељених промена у току рада саме NUMM. Предходно дефинисани статички тензор остаје јер то се обично не мења. Принцип калибрације овом методом је сличан методи 6 тачака.

Поновљена ручна калибрација се користи ако аутоматски поновљена калибрација није могућа. Користи се исти принцип као код ручне методе.

## 1.14 Програмирање координатно мерних машина

Програмирање СММ 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 СММ, потребни су додатни подаци:

- подаци у вези са припремом прибора,
- положаја и оријентације координатног система и

- подаци о систему мерних пипака.

#### **1.14.1 План стезања и позиционирања**

Информације о координатном систему радног предмета и прибору су садржане у плану стезања и позиционирања.

- План мора садржати опис прибора који ће бити коришћени у поступку мерења и начин на који ће мерни предмет бити постављен у прибор.
- При неким мерењима није неопходна употреба прибора ( уколико геометрија мерног предмета дозвољава, он се може поставити директно на сто CMM ).
- У плану мора бити јасно наведен положај и однос мерног предмета и координатног система машине.

#### **1.14.2 План мерних пипака**

Опис система пипака који ће се користити у поступку мерења је садржан у плану мерних пипака.

Овај план мора садржати:

- тип система пипака и идентификациони број,
- тип пипка и идентификациони број,
- све положаје мерног сензора,
- податке о продужецима (на пипцима),
- све релевантне димензије пипака, укључујући димензије са продужецима и радијус врха пипка.

При избору система пипака и формирању плана система пипака мора се водити рачуна о следећем:

- пипци морају бити постављени тако да се може извести цео поступак мерења
- мерење мора бити обављено без колизије (удара)
- конфигурација система пипака треба да тежи ка минималном броју елемената и максималном броју комбинација
- мора се узети у обзир максимална маса и максимална дужина конфигурације система пипака (као ограничења мерног сензора).

### **1.15 Врсте програмирања координатно мерних машина**

Разликују се два начина програмирања CMM, који се данас деле према употреби CAD модела

- 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.

## 1.16 Стратегија мерења

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

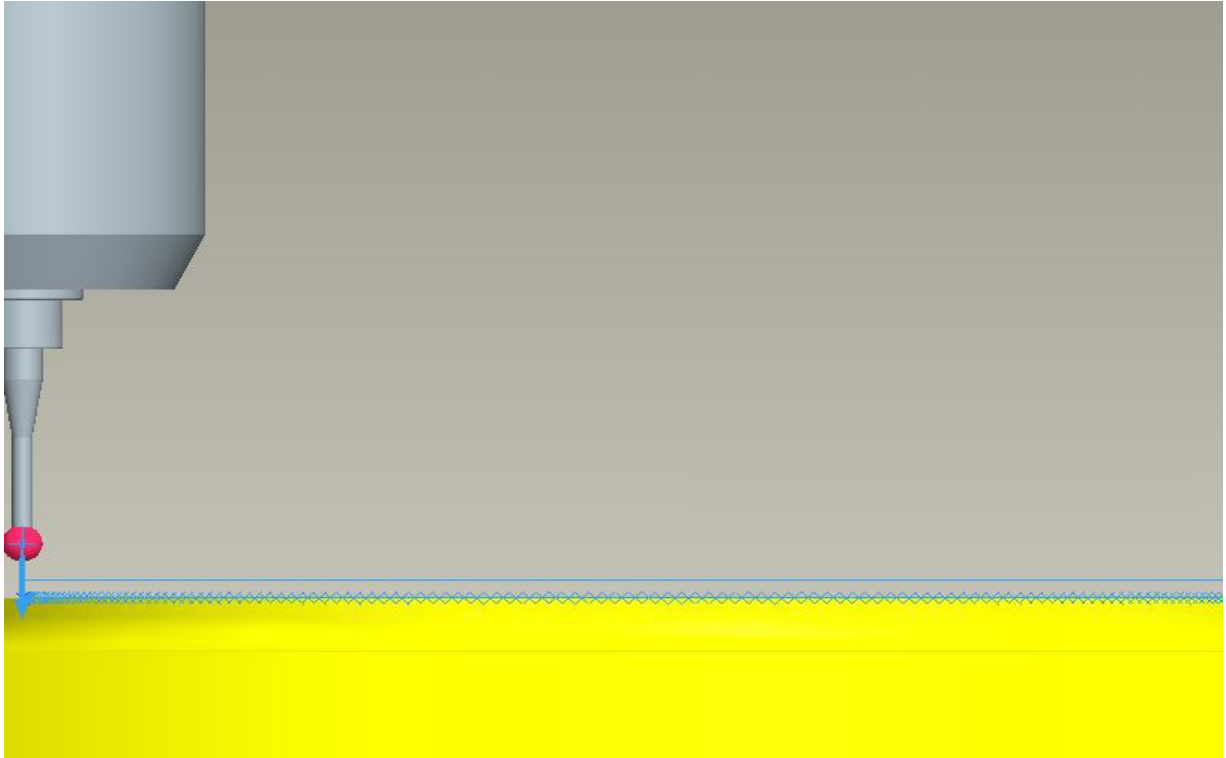
- стратегија мерења „тачка по тачка“ и
- стратегија мерења скенирањем.

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.



Слика 1.16.1: Стратегија мерења "тачка по тачка"

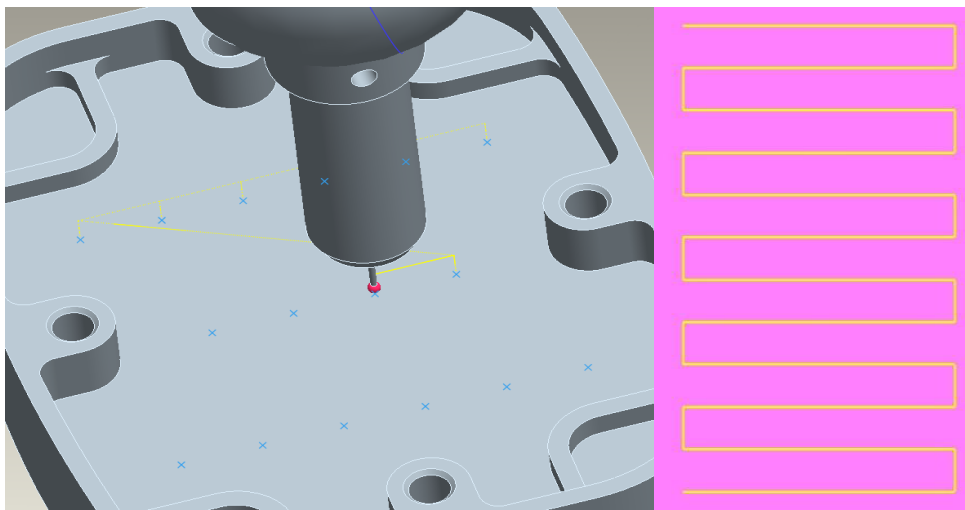
Стратегија мерења скенирањем подразумева коришћење путање за скенирање. Пошто је пипак у сталном контакту са површином, путања прилаза и путања повлачења нормална на површину се додаје на почетку и на крају путање. Насупрот стратегији „тачка по тачка“, стратегијом скенирања се добија много више узоркованих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



Слика 1.16.2: Стратегија мерења скенирањем

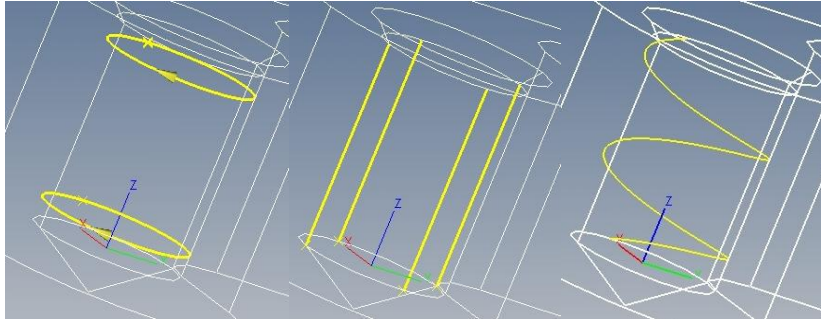
Избор једне од ове две основне стратегије врши се у зависности од врсте толеранције за чију процену ће се користити мерне тачке.

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.



Слика 1.16.3: Пример дефинисане стратегије мерења за равну површину

Пример мерних стратегија за цилиндричне облике.



Слика 1.16.4: Стратегија "два круга", "стратегија 4 линије", "путања по хеликоиди"

### 1.16.1 Конструкциона обележја

Неке типске 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.

## 2 Мерна рука Faro Arm Platinum

Као и све координатне мерне машине, мерне руке прикупљају детаљне податке о димензијама померањем сферног врха сензорског уређаја-мерног пипка дуж површине дела који се мери. Да би се утврдио положај мерног пипка, руке у сваком зглобу садрже стаклени диск – енкодер, који рачуна положај док се рука слободно креће по радном простору. Уграђени енкодери прате релативно кретање по свакој оси са великом прецизношћу.

Име потиче од самог изгледа уређаја – хардвера који подсећа на људску руку са раменима, лактом, подлактицом и зглобом.

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.

Дршка мерног пипка треба да обезбеди што већу крутост. При узимању 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.

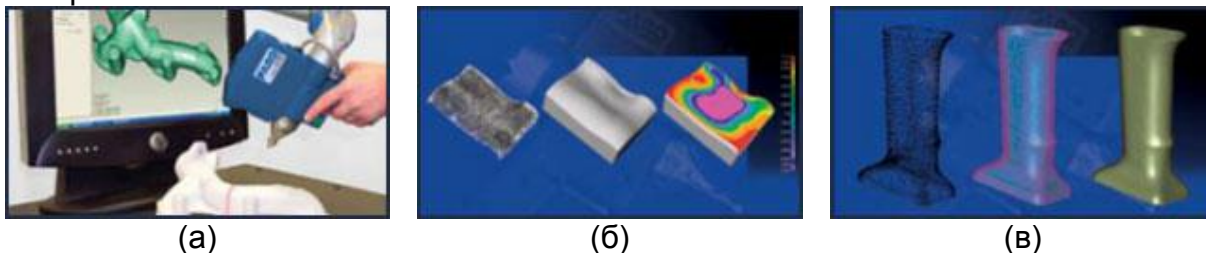
Постоје два преовлађавајућа материјала када су у питању сфере мерног пипка: керамика и силицијум. Обично се добијају од поликристалних материјала, синтетичких рубина или циркона. Поликристални материјали су трајни, лагани (4 грама/см<sup>3</sup>). Поликристални материјали су материјали сачињени од много мањих кристалита 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 сфере мерног пипка, јер имају добре карактеристике на хабање. Изузетак је скенирање делова од алуминујума и ливеног гвожђа. Циркон, је јако једињење цирконијума и диоксида ZrO<sub>2</sub> са великом отпорношћу на хабање као и рубин. Има већу густину од 5.89 грама/см<sup>3</sup> али није подложен проблемима мерења алиминујумских и делова од ливеног гвожђа. Ове особине чине циркон једним од најбољих материјала за преносне мерне уређаје.

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 правог мерног пипка смањује могућност грешке и брзо добијање потребних резултата. На тај начин се штеди време и новац у односу на уобичајене мерне методе.

Један од највећих хитова у свету метрологије данас је FARO. Настао је 1982. године у Монреалу (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, реверзни инжењеринг и генерисање 2D-3D модела ласерском (безконтактном) методом (слика 2.1).

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



Слика 2.1: Скенирање (а), Инспекција (б), Реверзни инжењеринг (в)

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  $\pm 0.005$  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 2.2: Мерна рука Faro Gage

Ултимативна мерна рука FARO Platinum рука, са тачношћу до  $\pm 0,005$  mm, је једна од најпрецизнијих преносних мерних рука. FARO Arm 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.



Слика 2.3: Магнетно постоље - учвршћивач

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. потреба), разликујемо 3 типа FARO мерних руку: Faro fusion arm, Faro platinum arm и Faro quantum arm.



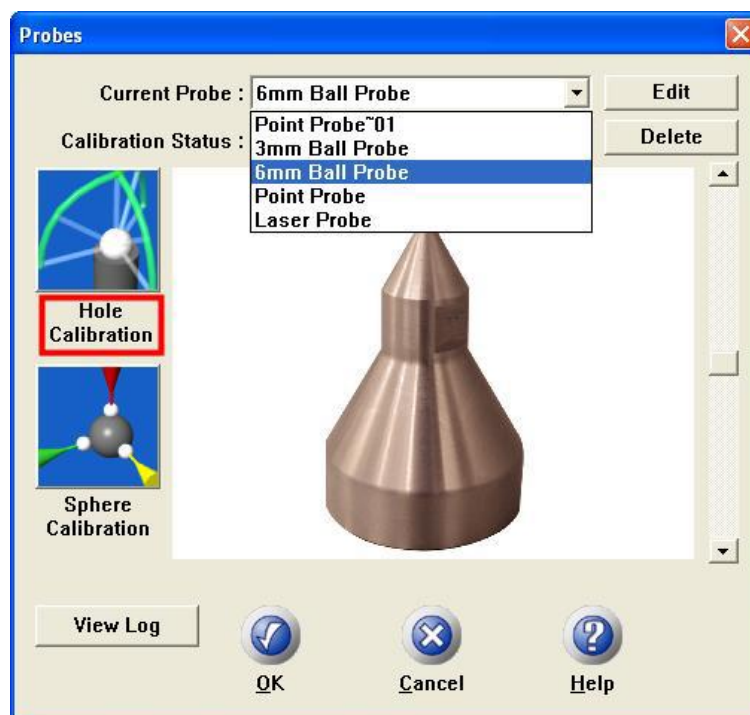
Слика 2.4: Мерне руке "Quantum", "Platinum" и "Fusion"

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, упоређивање комада са CAD цртежом, брза израда прототипова (rapid prototyping), реверзни инжењеринг (reverse engineering), 3D моделирање. Отворена архитектура FARO скенера даје корисницима велике могућности у избору одговарајућег софтвера.

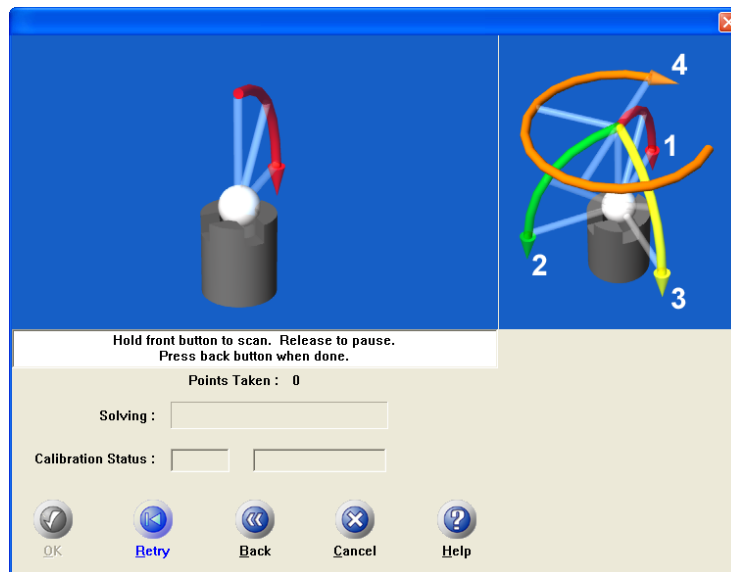
## 2.1 Калибрација мерног пипка

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 (слика 2.1.1).



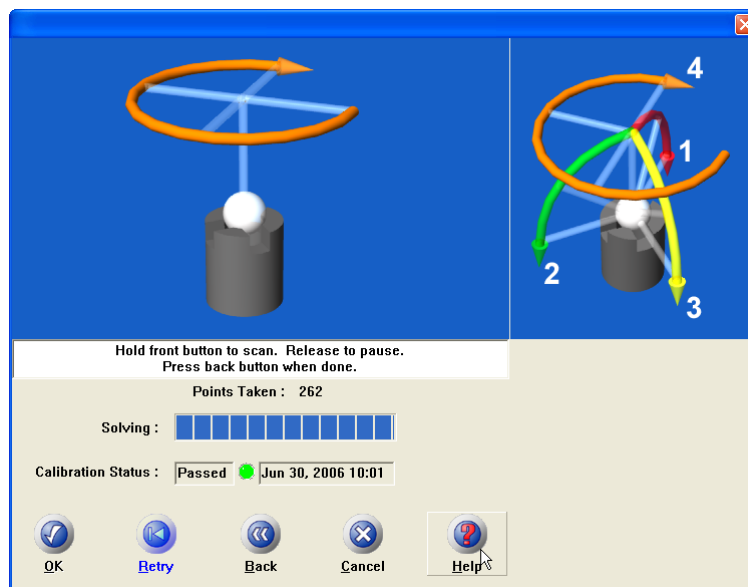
Слика 2.1.1: Одабир одговарајуће екстензије и начина калибрације

Сферу мерног пипка треба поставити унутар калибрационог конуса и држећи зелено дугме померати мерни пипак као што је приказано на левој страни дијалога на слици 2.1.2.



Слика 2.1.2: Први корак калибрације

Када рука дође у положај од око 90 степени у односу на почетни треба пустити зелено дугме, а софтвер ће затражити да се отпочне следећа фаза калибрације, пратећи даља упутства приказана у дијалогу. Након извршене калибрације, притисак на црвено дугме омогућава завршетак калибрације и чување податка о калибрацији (слика 2.1.3).



Слика 2.1.3: Последњи корак калибрације

Уколико је калибрација неуспешна (статус калибрације Failed), калибрацију треба поовити док мерни пипак не буде правилно калибрисан.

## 2.2 Преглед и упуство за рад у софтверу PowerINSPECT 2012 R2

PowerINSPECT Вам омогућава извођење брзе контроле делова и алата поређењем индустријског предмета са CAD моделом. Он обухвата комплетан геометријски пакет који може да се користи за инспекцију делова са или без CAD модела.

### 2.2.1 Контрола дела

Када проверите део PowerINSPECT приказује тачке које су коришћене приликом провере и ознаке на CAD делу где Вам се помоћу прилагодљивих боја омогућава да идентификујете које површине и делови су у толеранцији, изнад или испод толеранције. Поред тога, картице са подацима садрже све детаље тренутно изабране ставке, укључујући положај, величину, форму, вредност и одступања од номиналних вредности.

Ако креирате неколико делова из истог модела, а желите да их мерите истим редоследом, можете да сачувате све резултате у једном документу.

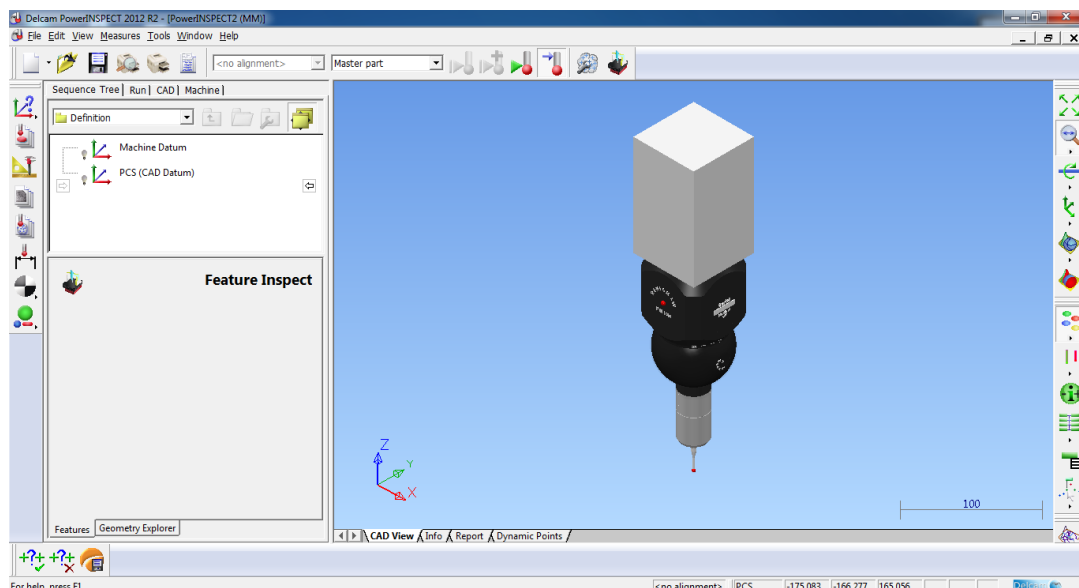
### 2.2.2 Креирање извештаја

PowerINSPECT аутоматски производи прилагодљив HTML извештај помоћу Report Tab-a.

Можете да изаберете које мере ће бити укључене, или можете приказати све мере за сваку функцију која је коришћења у прегледу. Такође можете генерисати и извештај за штампање користећи PDF генератор или Microsoft Excel.

### 2.2.3 Иницијално подешавање мерне руке Faro Arm Platinum у софтверу Power Inspect

Повежите Faro руку путем USB интерфејса, укључите уређај и покрените PowerINSPECT.

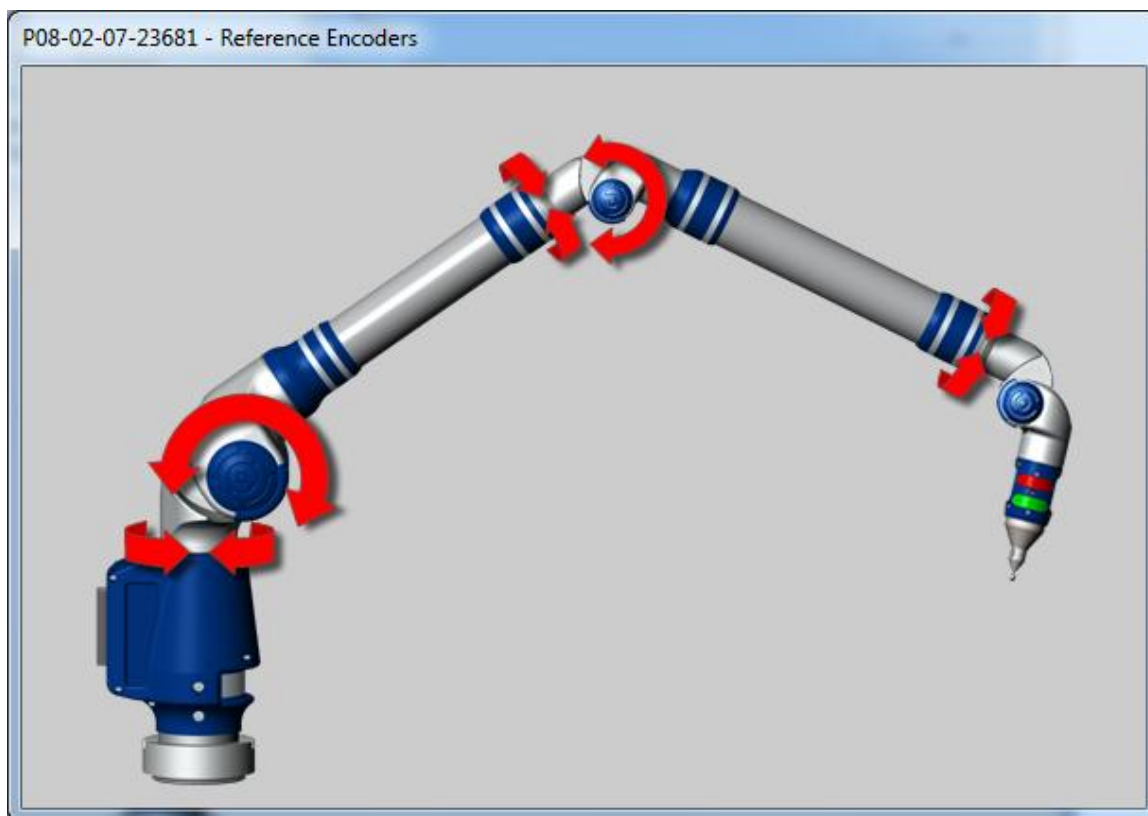


Слика 2.2.3.1: Изглед почетног екрана

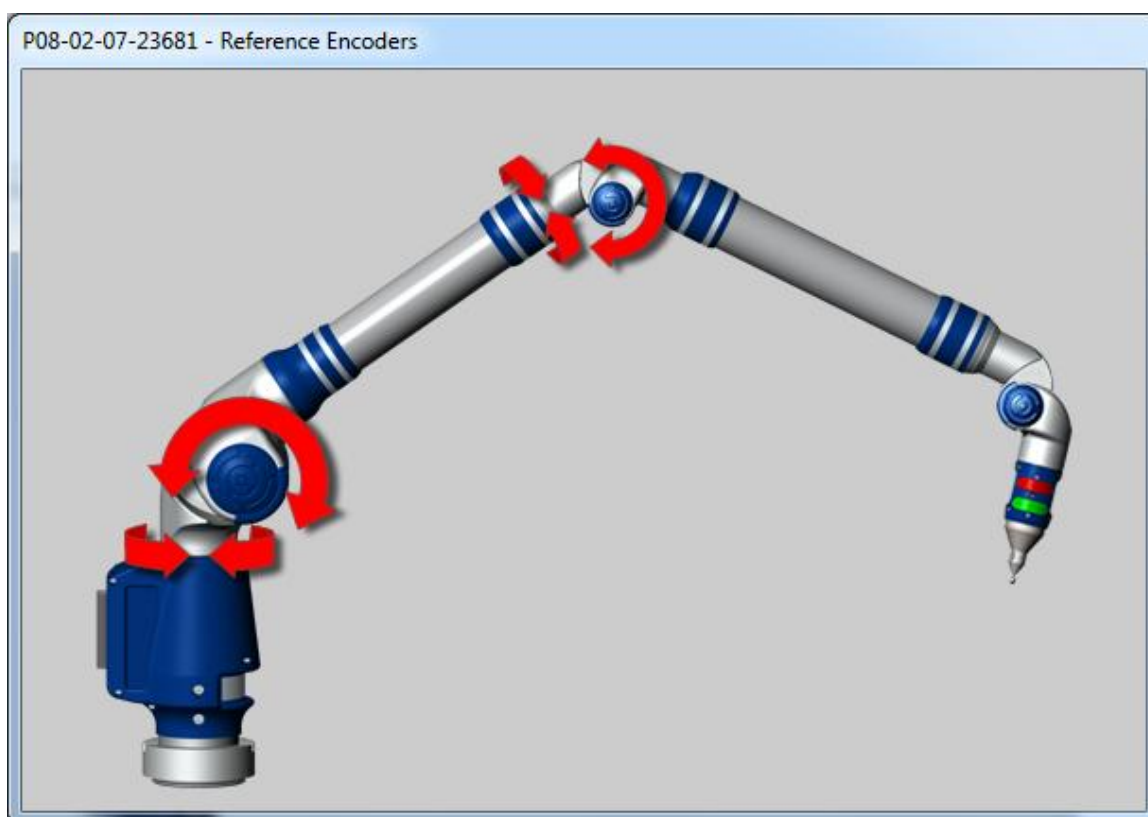
Отвара се Reference Encoders дијалог. Црвене стрелице показују да треба извршити ротацију сваког зглоба око своје осе како би ресетовали енкодере. Окрећите руку док се све црвене стрелице не избришу.

Следећи кораци описују како правилно треба ресетовати енкодере.

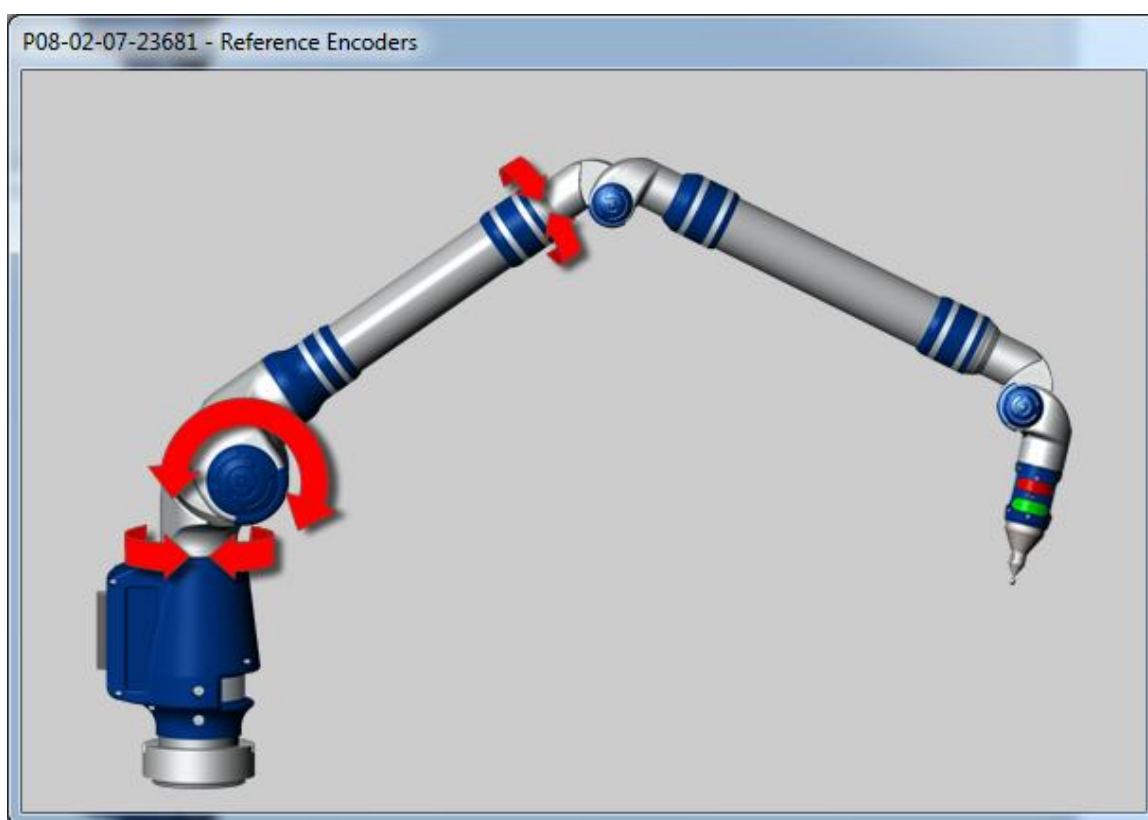
Десном руком прихватите саму Touch Probe-у, мало изнад зеленог и црвеног тастера, а левом руком први део Faro Arm Platinum руке, одмах после другог зглоба. Левом руком ротирајте Фаро арм у смеру супротном од казаљке, тако да сваки од зглобова изврши потребну ротацију.



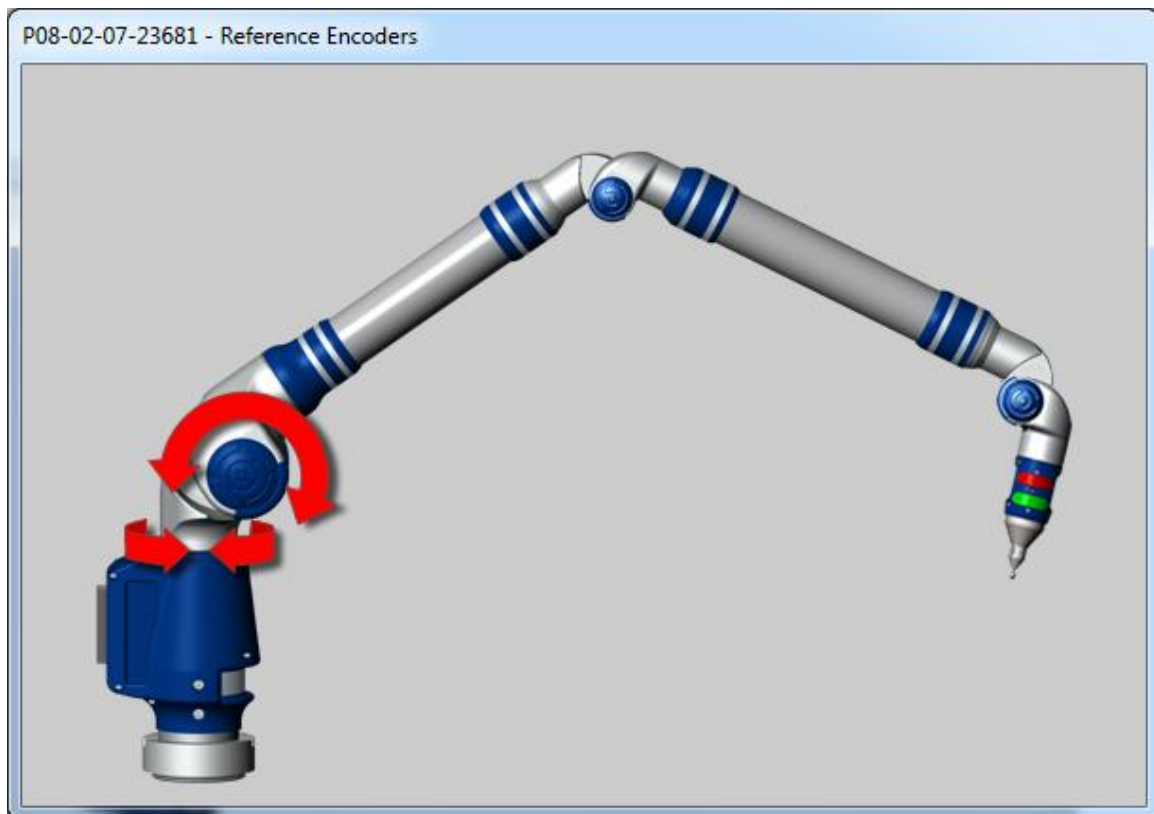
Слика 2.2.3.2: Ресетовање првог зглоба



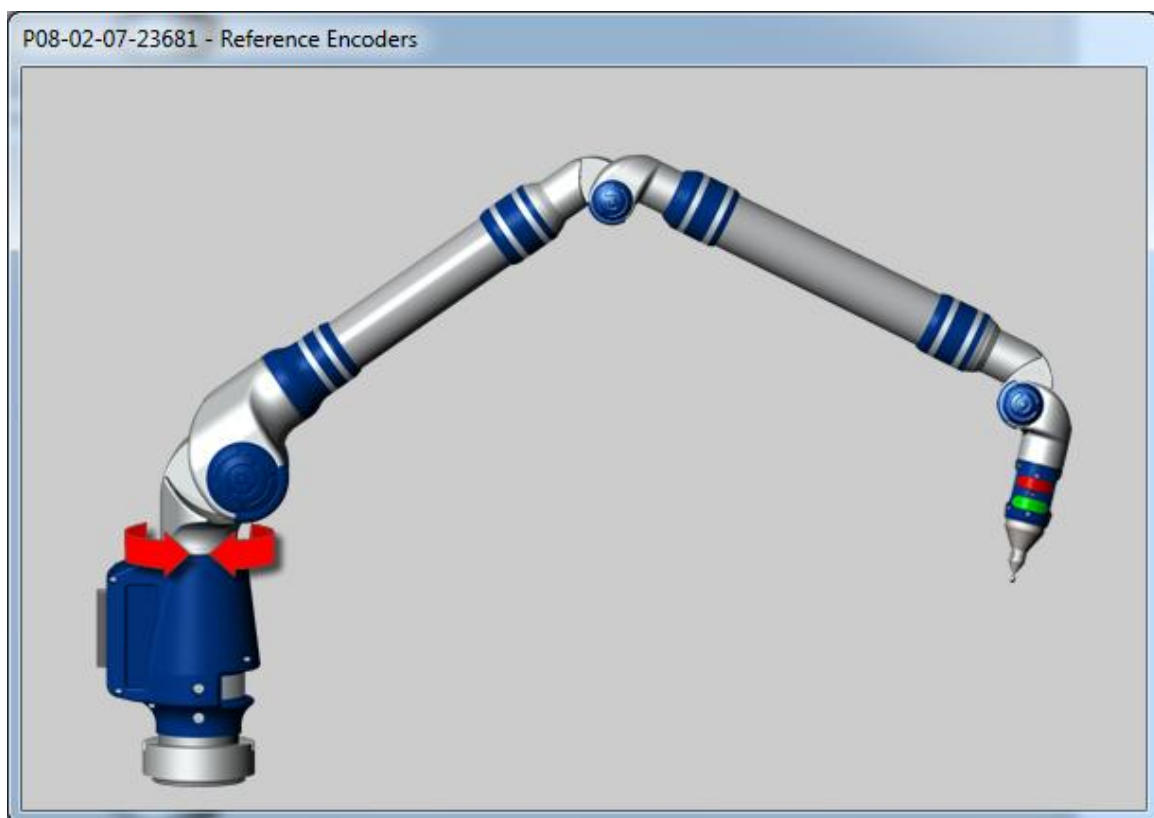
Слика 2.2.3.3: Ресетовање другог зглоба



Слика 2.2.3.4: Ресетовање трећег зглоба

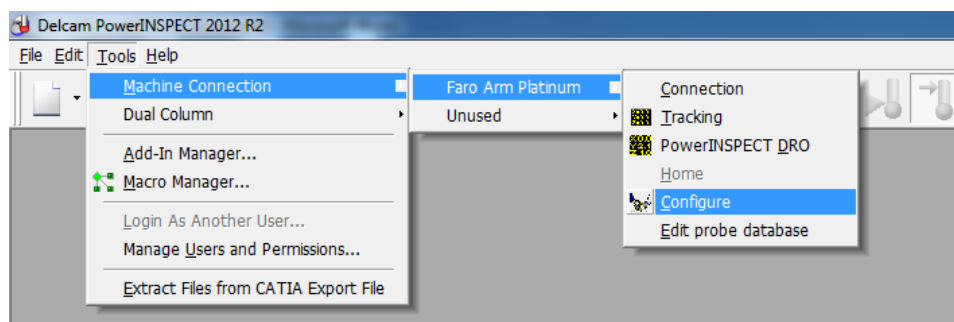


Слика 2.2.3.5: Ресетовање четвртог зглоба



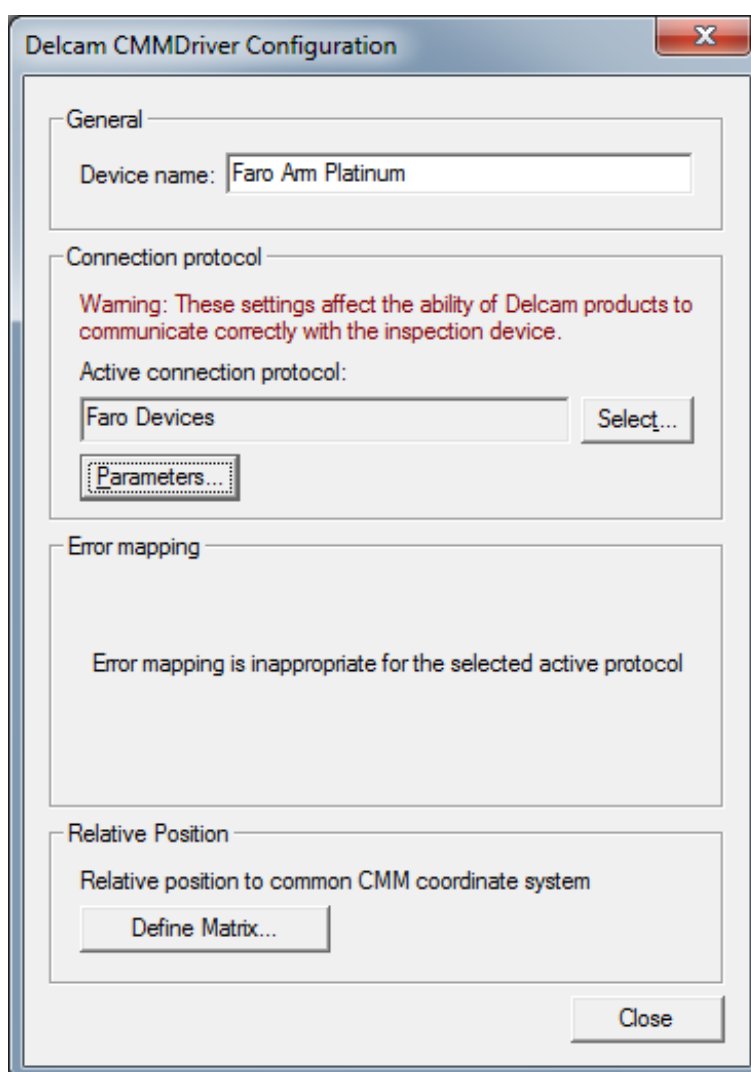
Слика 2.2.3.6: Ресетовање петог зглоба

Након што су енкодери ресетовани може се извршити конфигурација уређаја са софтвером, у овом случају Faro Arm Platinum са PowerINSPECT-ом. Кликните Tools<Machine Connection<Faro Arm Platinum<Configure.



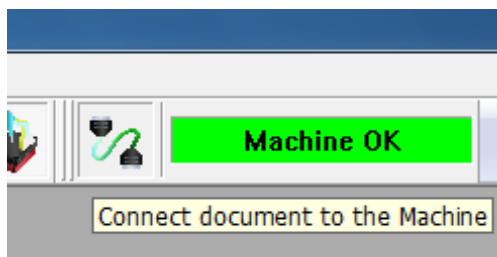
Слика 2.2.3.7: Конфигурација уређаја

Отвара се дијалог за конфигурацију драјвера. Име уређаја је из Column 1 промењено у Faro Arm Platinum, а за Connection protocol се узима Faro Devices уколико се користе драјвери верзије 5.4 или изнад. Кликните Close да сачувате подешавања.



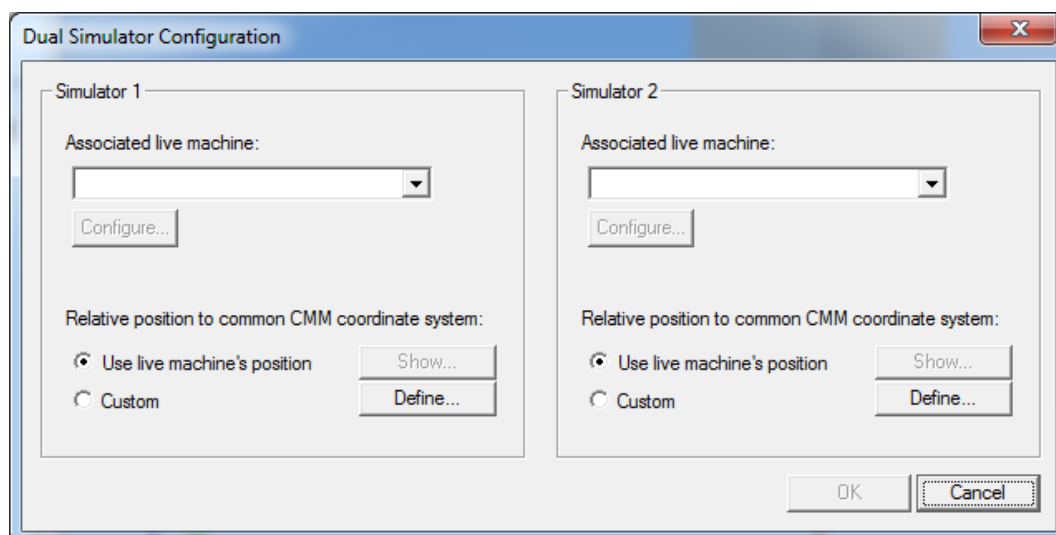
Слика 2.2.3.8: Конфигурација драјвера

Када једном правилно конфигуришете уређај, сваки следећи пут једноставно га активирате из менија Tools<Machine Connection<Faro Arm Platinum<Connection, или кликом на икону Connect из Machine палете са алаткама.



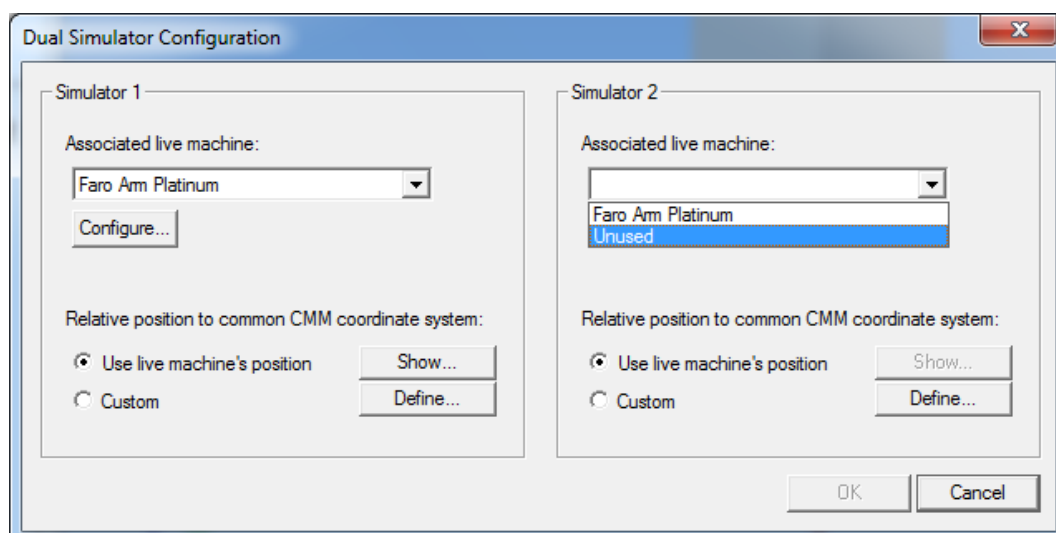
Слика 2.2.3.9: Статус уређаја

Статус из Not Connected прелази у Machine OK, као и поље из црвене у зелену боју. Када се успостави веза између уређаја и софтвера отвара се прозор за конфигурацију симулатора, који омогућује интеракцију мерне главе са софтвером.



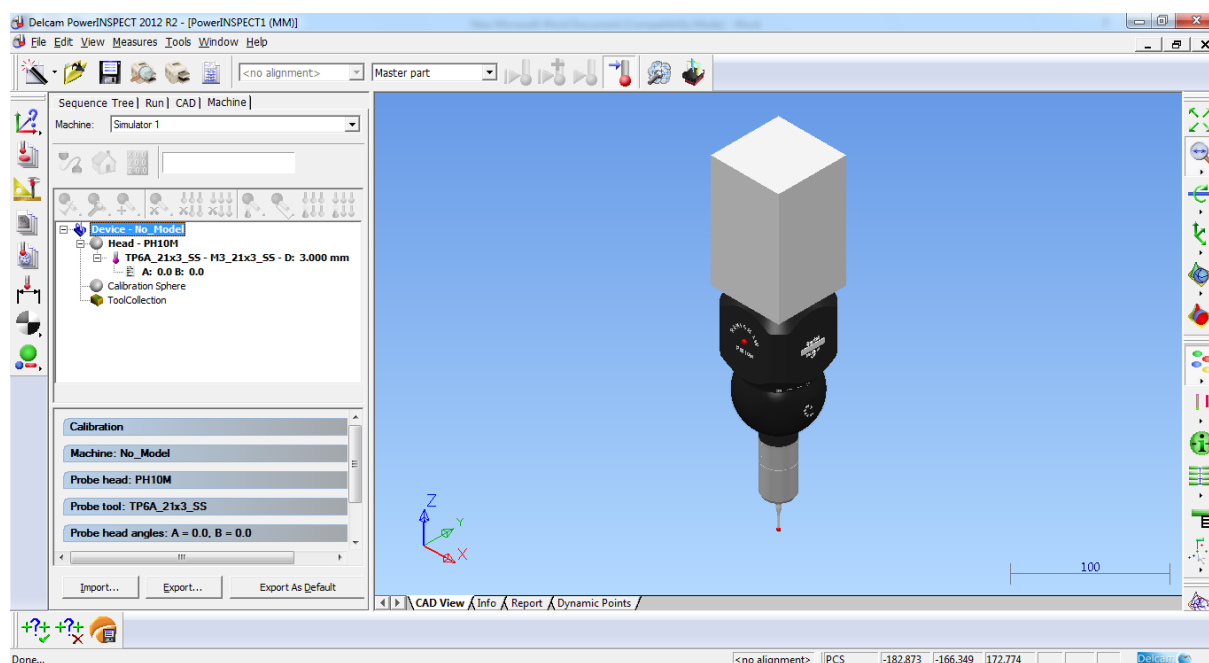
Слика 2.2.3.10: Конфигурација симулатора

Као симулатор 1 одаберите предходно конфигурисан Faro Arm Platinum уређај, а за Симулатор 2 користите Unused или ако имате више уређаја такође можете конфигурирати и повезати са симулатором.



Слика 2.2.3.11: Одабир уређаја и повезивање са симулатором

Мерна глава се приказује у CAD прегледу, изглед држача и модел мерне главе можете променити у Machine таб-у.



Слика 2.2.3.12: Промена изгледа мерне главе

Након извршене калибрације, конфигурације и подешавања свих потребних параметара може се кренути са мерењем.

## 2.2.4 Креирање нове контролне сесије

У PowerINSPECT-у за сваки део који се прегледа се користи инспекцијска сесија.

Сесија дефинише CAD модел дела који се мери: карактеристике које се користе за поравнање дела са CAD-ом.

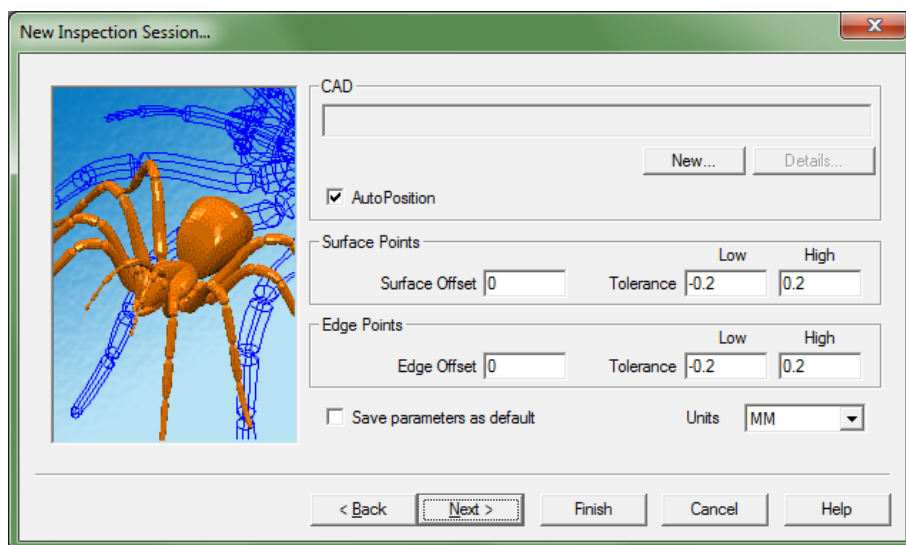
Модел: тип усклађености који ће се користити и карактеристике које ће се мерити на делу.

Да креирате нову инспекцијску сесију за део:

Изаберите File > New Session Wizard опцију или кликните  у главној траци са алаткама.

Изаберите мерења са једним CAD делом да креирате преглед помоћу CAD модела.

Кликните на дугме Next.



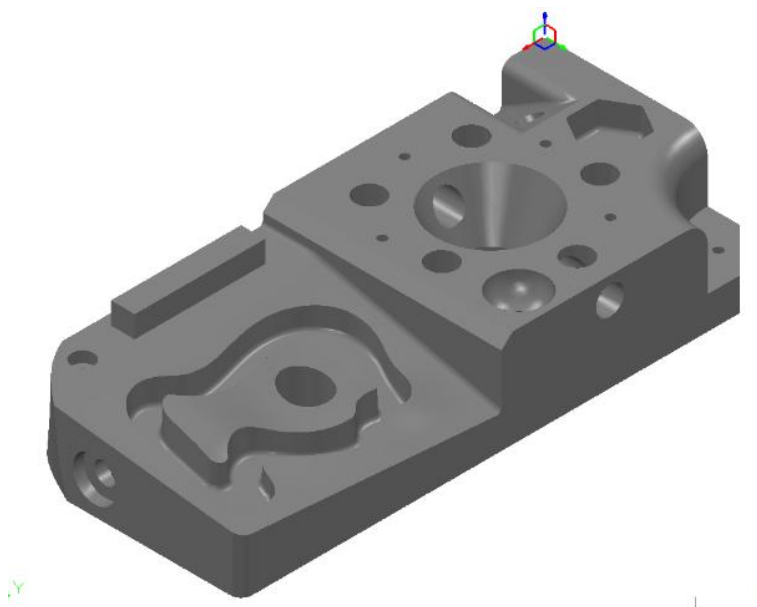
Слика 2.2.4.1: Креирање нове сесије

Кликните на дугме New.

У отвореном дијалогу изаберите модел дела који желите да прегледате и кликните Open.

На пример, да користите модел узорка обезбеђен од стране PowerINSPECT-а, изаберите DemoBlock2008(CMM+Arm).ddz из фолдера са узорцима.

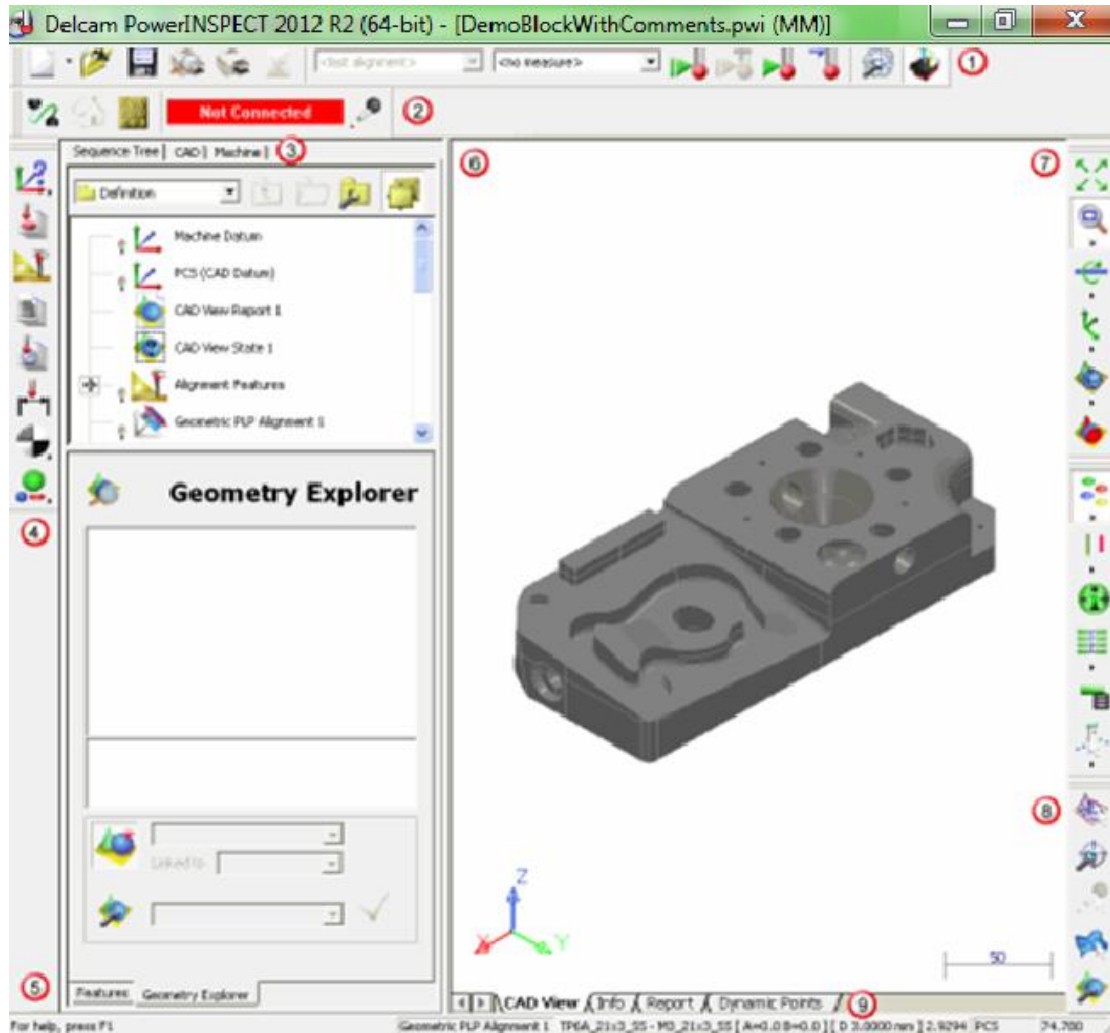
Кликните Finish да отворите нову сесију и прикажете модел у CAD картици за приказ.



Слика 2.2.4.2: Изглед 3D модела

## 2.2.5 Кретање по PowerINSPECT почетном екрану

Када сте изабрали CAD модел са којим желите да радите, он се приказује на PowerINSPECT екрану заједно са палетама и картицама које су потребне да креирате, покренете и управљате прегледом.



Слика 2.2.5.1: Изглед радне површине

1.MAIN toolbar - Главна трака са алаткама Вам омогућава да креирате и сачувате сесију, изаберете поравнање које желите да користите као и редослед ставки које се мере.

2.MACHINE toolbar трака Вам омогућава да се повежете и радите са мерним уређајем. Ако ова трака није приказана кликните на  у главној траци са алаткама.

3.Sequence Tree tab - Стабло са приказаним активностима садржи целокупан инспекцијски редослед. Оно прецизира ставке и редослед којим се нешто мери или је већ измерено.

CAD картица садржи податке о уčitаном CAD моделу.

Machine картица Вам омогућава да видите и калибришете мерни уређај на који је PowerINSPECT повезан.

4.Item toolbar - Ова трака са алаткама Вам омогућава да додате ставке у инспекцијски редослед. Ове ставке прецизирају поравнања која се користе, карактеристике које се мере, прилагођене радње које треба извршити и друге операције као што су ставке које аутоматски мењају CAD преглед или приказују информације током инспекције.

5.Features tab Вам омогућава да видите и промените детаље одређених ставки у инспекцијском редоследу.

Geometry Explorer таб приказује детаље одабраних карактеристика CAD модела.

6.CAD преглед приказује модел (ако га има) који ће се користити у инспекцији.

7.CAD View трака са алаткама Вам омогућава да манипулишете моделом. View Options приказује информације о измереним особинама.

8.Mouse Context трака са алаткама контролише начин на који миш интерактује са CAD прегледом. Она укључује и Wireframe Checker који омогућава да изаберете геометријске особине које желите да буду измерене директно са модела.

9.CAD View картица приказује моделе који су учитани.

Info картица приказује детаље тренутно изабране ставке у инспекцијском редоследу.

Report картица служи за приказ и креирање HTML извештаја свих ставки из инспекцијског редоследа.

Остале картице, као што су Dynamic Points tab, Point Cloud tab, и

Section tab приказују детаље за поједине врсте ставки које могу бити додате у инспекцијски редослед.

## 2.2.6 Манипулисање CAD моделом

PowerINSPECT обезбеђује неколико алатки које Вам омогућавају да померате, ротирате и контролишете величину модела приказаног у CAD прегледу. Они се налазе у CAD View траци са алаткама са десне стране главног PowerINSPECT прозора.

Изаберите:



да промените величину модела, тако да одговара CAD приказу.



да манипулишете CAD моделом помоћу левог тастера миша.

Кликните  и изаберите да ли желите да користите миш да зумирате модел, да зумирате изабрану област, да померите модел или да ротирате модел око одређене тачке.



да ротирате CAD модел помоћу левог тастера миша.

Кликните  и изаберите правац и смер ротације.



да изаберете правац из којег ће модел бити приказан.

Кликните  и изаберите правац за приказ.

Такође можете променити CAD преглед користећи миш и тастатуру:

Табела 2.2.6.1: Основне пречице за контролу прегледа

| Акција                                                                                                  | Пречица                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Да увећате и умањите CAD модел                                                                          |  и                                                                                           |
| Да увећате површину одабрану оквиром                                                                    |  или  или  |
| Да померите ЦАД модел                                                                                   |  или                                                                                       |
| Да ротирате ЦАД модел у било ком правцу-појављује се трансформациони глобус који показује смер ротације |  или                                                                                      |

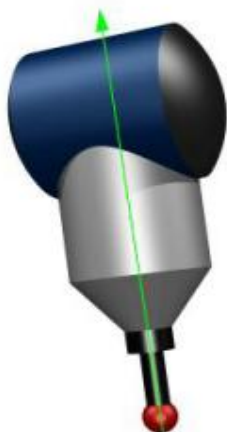
## 2.2.7 Калибрација мерног пипка

PowerINSPECT обезбеђује две методе за одређивање правца калибрације мерног пипка:

- Аутомарска калибрација мерног пипка израчунава правац калибрације преко оријентације самог мерног пипка када се прва тачка забележи. Овај метод се користи као подразумевано подешавање.
- Pre-touch, калибрација мерног пипка пре додиром израчунава правац калибрације мерног пипка узимајући “празну” - fresh-air тачку пре прве измерене тачке.

## 2.2.8 Аутоматска калибрација сензора

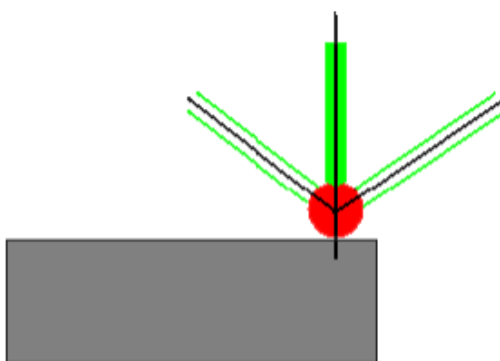
Подразумевано, PowerINSPECT аутоматски калибрише сензор у правцу вектора који иде од врха “оловке” до последњег зглоба у руци.



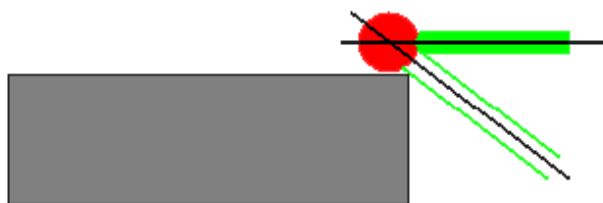
Слика 2.2.8.1: Правац вектора

Да бисте користили овај метод, морате обезбедити да мерни пипак буде усмерена ка површини која се мери када узимате тачку.

Следећи дијаграми показују како да поставите мерни пипак :



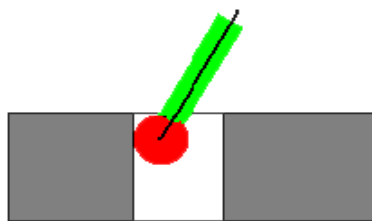
Слика 2.2.8.2: Правилна оријентација мерног пипка у односу на површину



Слика 2.2.8.3: Неправилна оријентација мерног пипка у односу на површину

Када мерите унутрашње карактеристике, мерни пипак треба да гледа према површини отвора ближе нормали површине што је више могуће.

На пример:



Слика 2.2.8.4: Правилна оријентација мерног пипка при мерењу рупе

## 2.2.9 Калибрација мерног пипка пре додира

Калибрација пре додира Вам омогућава да одредите правац калибрације мерног пипка узимајући “празну” тачку пре прве измерене тачке на делу. Ову врсту калибрације користите када сте у могућности да усмерите мерни пипак према површини коју желите да измерите.

Начин на који користите ову методу калибрације зависи од предмета и ставке коју треба измерити:

- За геометријске карактеристике, морате узети “празну” тачку пре прве измерене тачке на делу.
- За инспекцијске групе, морате узети “празну” тачку пре сваке измерене тачке у групи.

У оба случаја, PowerINSPECT одређује правац калибрације мерног пипка тако што израчунава вектор између додирне тачке на делу и претходно узете “празне” тачке.

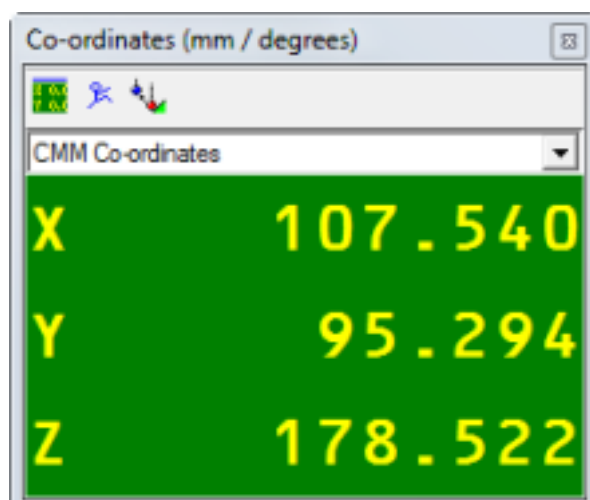
Да бисте користили унапред узету додирну тачку за калибрацију правца мерног пипка :



Кликните да бисте приказали Machine траку са алаткама.



Кликните да бисте приказали прозор са координатама, или Tools>Machine Connection>Column 1>Tracking.



Слика 2.2.9.1: Координате положаја мерног пипка



Изаберите да бисте активирали pre-touch функцију.  
Узмите “празну” тачку непосредно поред прве додирне тачке.  
Измерите део нормално, узимајући потребан број тачака на површини дела.



Када завршите, деселекујте да деактивирате pre-touch функцију.

### **2.2.10 Трансформација модела у дефинисани координатни систем**

PowerINSPECT обезбедјује следеће методе усклађивања дела са CAD моделом:

#### **Free Form alignment-Слободно усклађивање**

Поравнава део са CAD моделом помоћу измерених динамичких тачака. Ово Вам омогућава мерење делова који немају јасно дефинисане особине са познатим номиналним координатама.

#### **Geometric PLP alignment- Геометријско ПЛП усклађивање**

Геометријско ПЛП усклађивање Вам омогућава да ускладите део са CAD моделом користећи раван, линију и тачку за које знате номиналне координате. Помоћу ове методе можете да користите мешавину измерених и конструисаних ставки да одредите усклађивање оса као и да ажурирате или поновно измерите исте појединачно.

#### **Three Spheres alignment-усклађивање помоћу три сфере**

Креира ПЛП усклађивање мерењем мерних кугли којима су познате номиналне координате.

#### **From File alignment-Усклађивање из датотеке**

Учитава претходно сачувана усклађивања из датотеке. Можете да користите ову опцију приликом вишеструке инспекције истог дела. Када користите ово усклађивање, сваки примерак мора бити идентично постављен.

#### **Best Fit From Points**

Поравнава део користећи три или више тачака којима су познате номиналне координате.

#### **Reference Point System (RPS) alignment-усклађивање преко референтне тачке**

РПС усклађивање Вам омогућава да ограничите translацију и ротацију дела користећи XYZ вредности одабраних карактеристика.

#### **User Defined alignment-Кориснички дефинисано усклађивање**

Поравнава део тако сто се креира веза између референтног система машине и PCS(датума CAD модела).

#### **Offset alignment-Офсет усклађивање**

Креира усклађивање мерењем одређене позиције дела.

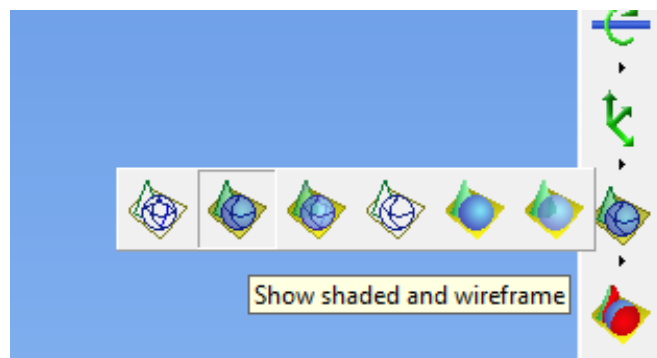
Ако желите да упоредите мерења дела са његовим номиналним вредностима, прво морате да га ускладите са CAD моделом. Ово поравнава део у три димензије, и омогућава PowerINSPECT-у да упореди и направи извештај и прикаже да ли су измерене вредности у или ван толеранције.

Можете да направите неколико различитих врста поравнања у PowerINSPECT-у, прави избор зависи од дела и захтева.

Овај одељак описује како се креира геометријско PLP (plane, line, point) поравнање, које користи три геометријске карактеристике, раван, линију и тачку да фиксира положај дела у X, Y и Z осама.

Следећи одељци описују како се креирају ове ставке и како да их користите за краирање поравнања.

Пре него што почнете, кликните  испод дугмета за одабир начина приказа и сенчења у CAD View траци са алаткама (десно у главном PowerINSPECT прозору) и изаберите Show shaded and wireframe опцију.



Слика 2.2.10.1: Начини приказа CAD модела

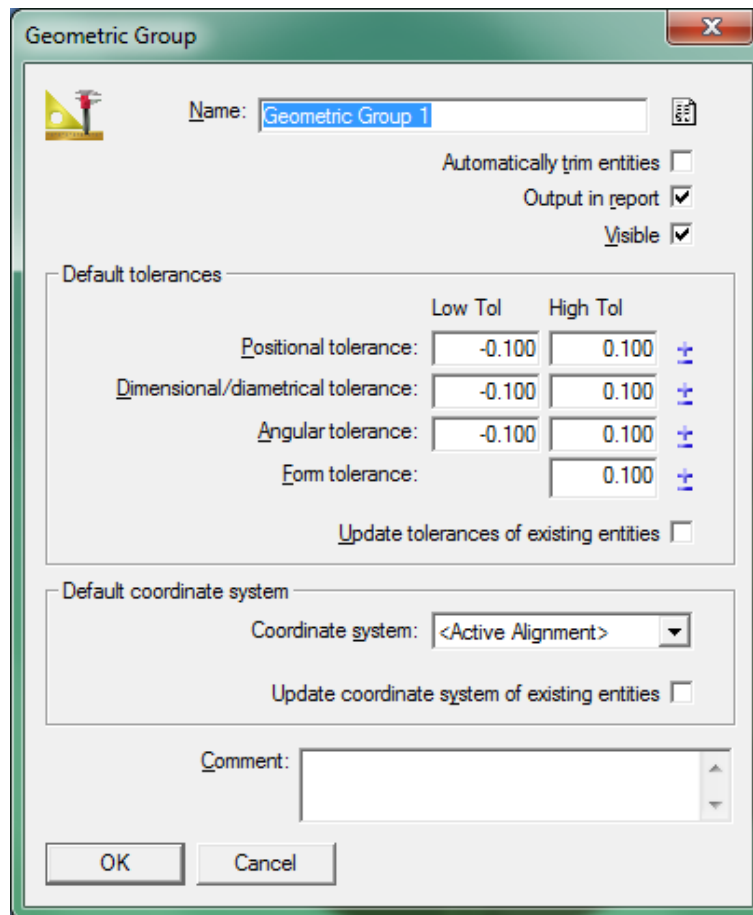
Ово осенчи CAD модел и олакшава начин на који се виде површине и карактеристике са којима радите.

### 2.2.11 Креирање геометријске групе

У PowerINSPECT-у, геометријске ставке су ускладиштене у геометријским групама. Ово ће вам омогућити да организујете редослед мерења, и да сродне ставке држите заједно. Први корак у усклађивању дела са моделом је да се створи геометријска група за ставке које се користе у поравнању.

За прављење геометријске групе:

У Item палети, кликните на дугме Geometric Group , приказује се прозор:



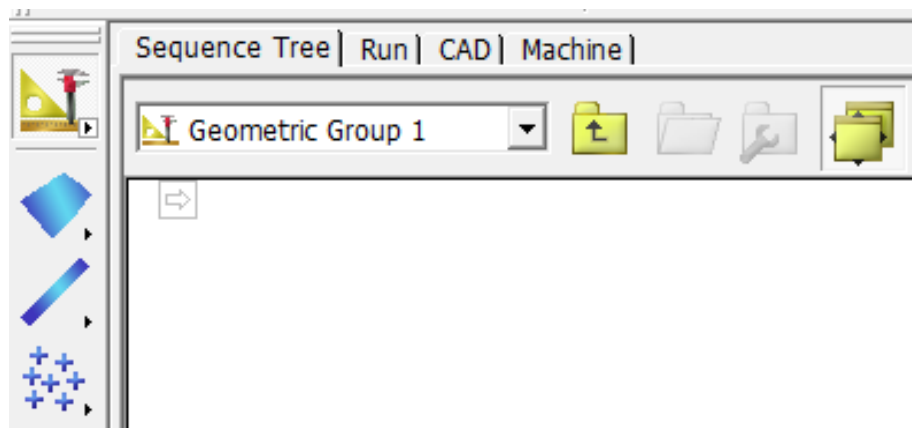
Слика 2.2.11.1: Креирање геометријске групе

У овом прозору дефинишете име групе. Такође наводи се да ли мерења ставки треба да буду приказана у CAD приказу, подразумевана дозвољена одступања за ставке креиране у групи, и координатни систем у односу на који се мери и ствара извештај.

Кликните на дугме ОК да прихватите подразумевана подешавања за групу.

Група је додата у редослед мерења и аутоматски се отвара.

Листа активних група на врху стабла се мења како би приказали име групе, а Item трака са алаткама замењује Geometry траку са алаткама, која вам омогућава да додате геометријске ставке у редослед мерења.



Слика 2.2.11.2: Листа активних група

## 2.2.12 Креирање измерене равни

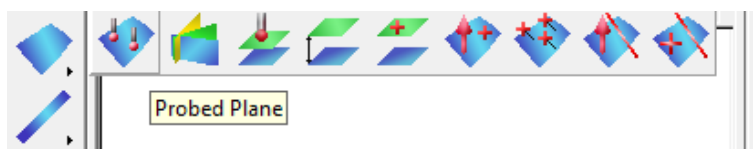
Прва ставка која се мери у геометријском ПЛП поравнању је раван. У овом примеру се користи да прецизира оријентацију Z равни модела.

Да креирате измерену раван:



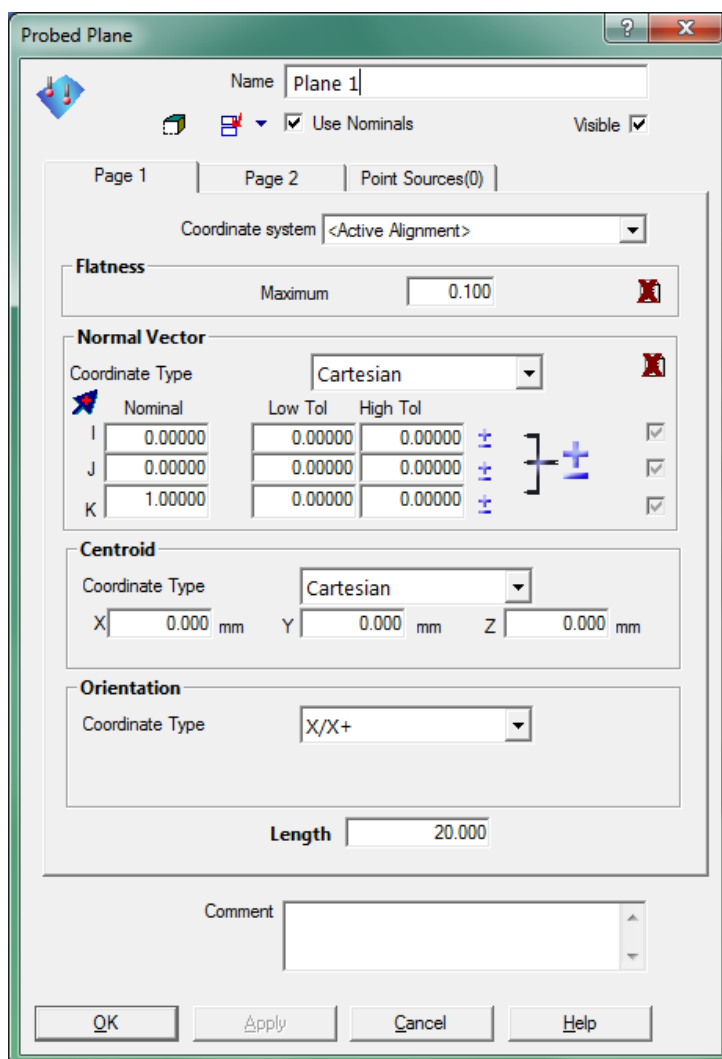
У Item траци са алаткама, кликните за креирање и приказ различитих типова равни које можете креирати.

У новој траци са алаткама изаберите Probed Plane.



Слика 2.2.12.1: Креирање измерене равни (одабир опције)

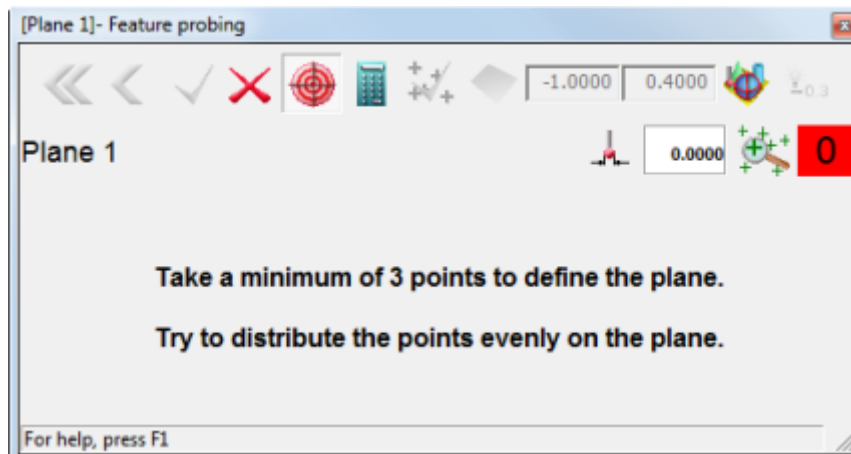
Прозор за креирање измерене равни је отворен. Као и код геометријских група, доступан је назив ставке, координатни систем на основу ког се ради извештај мерења као и толеранције ставке.



Слика 2.2.12.2: Креирање измерене равни

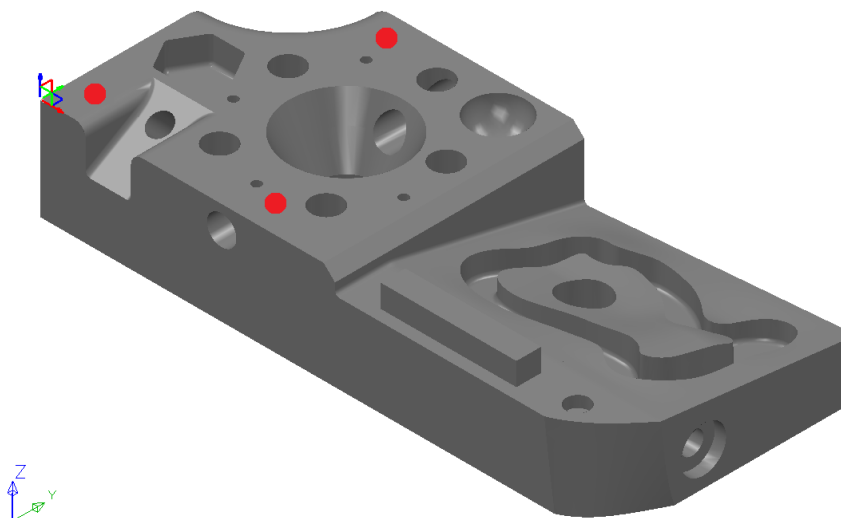
Кликните ОК да прихватите стандардна подешавања.

Отвара се Feature Probing прозор. Показује име геометријске ставке која се мери, пречник сфере мерног пипка, број тачака који сте измерили као и минималан број тачака који је потребан за коришћење ове опције.



Слика 2.2.12.3: Feature Probing прозор за мерење равни

Измерите три тачке на делу, као што је приказано:



Слика 2.2.12.4: Потребне тачке за креирање равни

Када измерите трећу тачку, позадина бројача тачака се мења из црвене у зелену, означавајући да имате довољан број тачака за креирање равни.

Кликните на  како би прихватили тачке.

### 2.2.13 Одложено мерење

Уместо мерења сваке ставке по редоследу, можете одложити мерење док не креирате ставку за сваку карактеристику коју желите да измерите.

Да одложите мерење ставке, кликните на  дугме на главној траци са алаткама.

Сада можете да додате неколико ставки у низу без заустављања. PowerINSPECT ће затражити да измерите тачке само када идете редоследом.

#### 2.2.14 Креирање два измерена круга

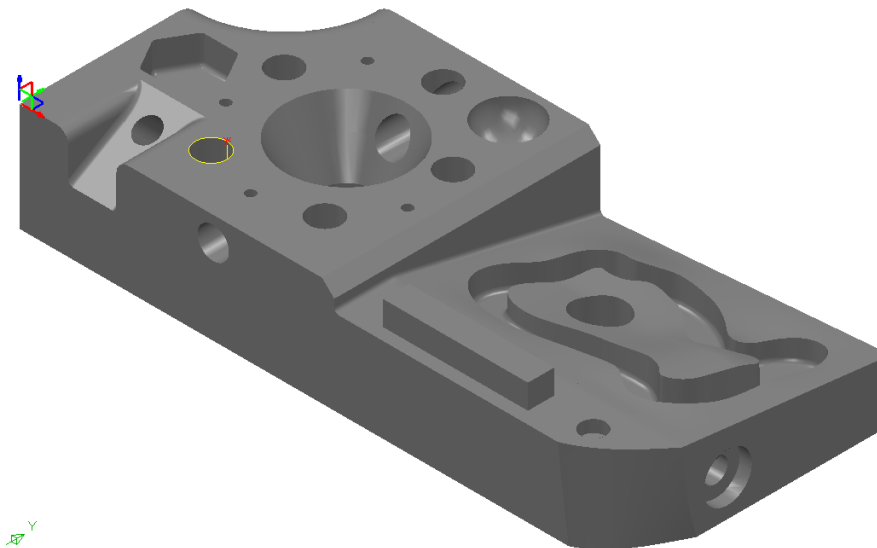
Као што прецизирате ставке које желите да проверите - измерите користећи Item траку са алаткама, такође можете их креирати и одабиром карактеристике директно са CAD модела. У овом примеру ће бити показано како да креирате ставку за два измерена круга која ће се користити у поравнању.

Центар првог круга се користи за утврђивање почетка поравнања, док ће центар другог круга служити за креирање линије.

Да креирате два измерена круга:

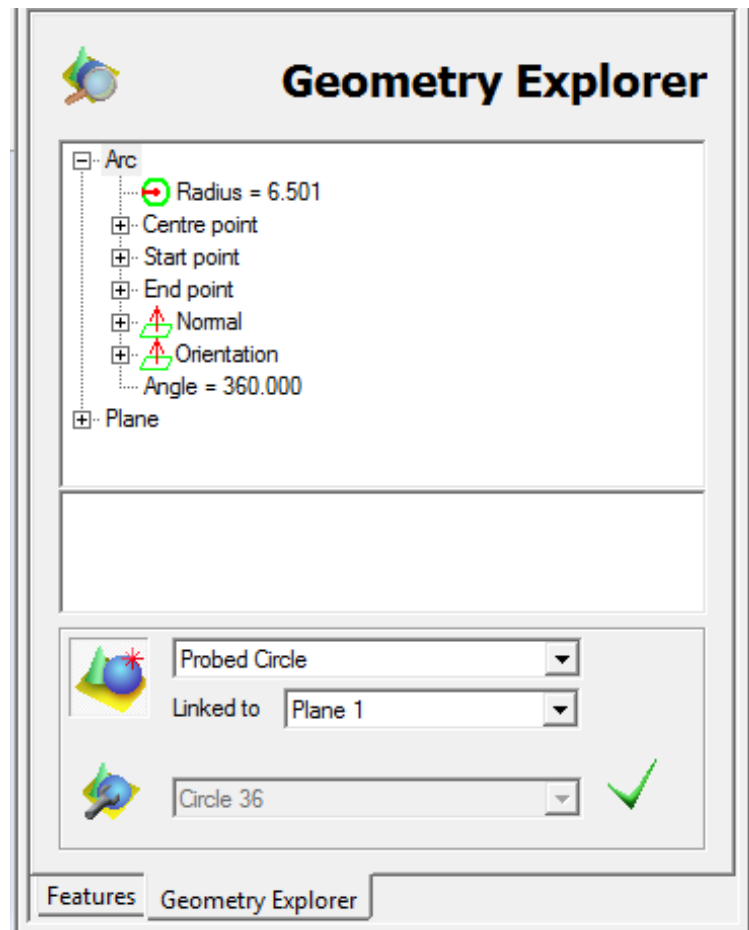
Изаберите Wireframe Checker дугме  у Mouse Context траци са алаткама у доњем десном углу PowerINSPECT прозора.

Померите показивач миша на ивицу круга као што је приказано.



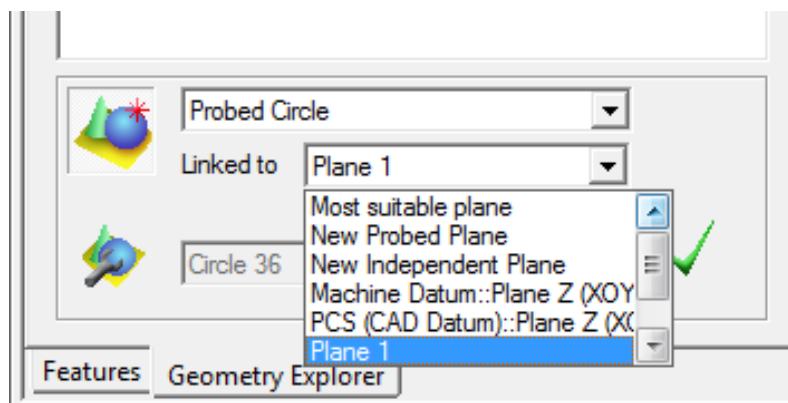
Слика 2.2.14.1: Селектовање ивице круга 1

Када је круг означен жутом бојом, кликните левим тастером миша. Номиналне вредности круга се приказују у Geometry Explorer прозору.



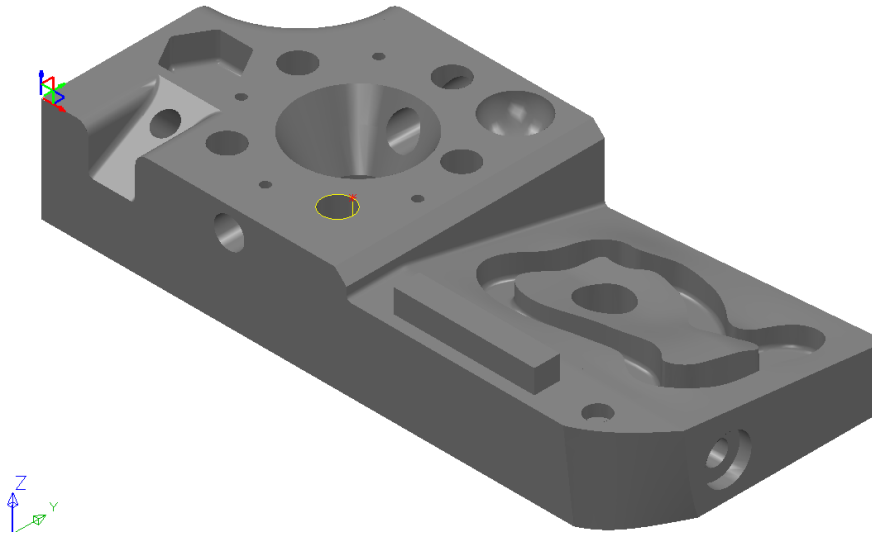
Слика 2.2.14.2: Geometry Explorer прозор

У Linked to листи, селекујте Plane 1 (прву равн) да повезете круг са претходно креираном равни из Фазе 2.



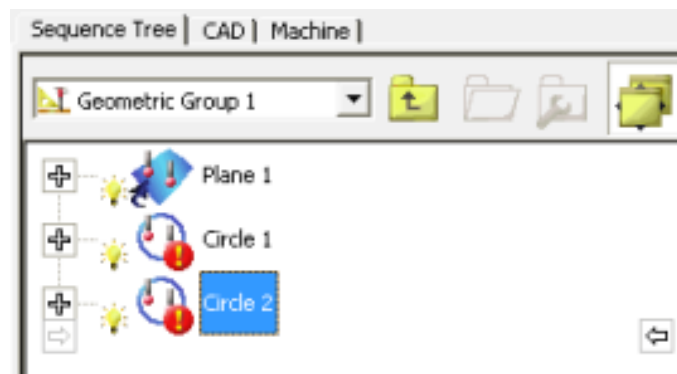
Слика 2.2.14.3: Повезивање круга са равни

Кликните  да додате круг у редослед мерења. Померите показивач миша на ивицу другог круга, као што је приказано, и поновите претходне кораке да креирате други круг.



Слика 2.2.14.4: Селектовање ивице круга 2

Приметићете симболе приказане заједно са ставкама које сте додали у редослед мерења.



Слика 2.2.14.5: Изглед симбола пре мерења

Црвени узвичник означава да ставка није измерена.

Жута сијалица означава да је ставка видљива на CAD моделу.

Плава стрелица означава да ставку користи друга ставка, не можете избрисати референтну ставку док не избришете ону која је користи.

### 2.2.15 Креирање линије

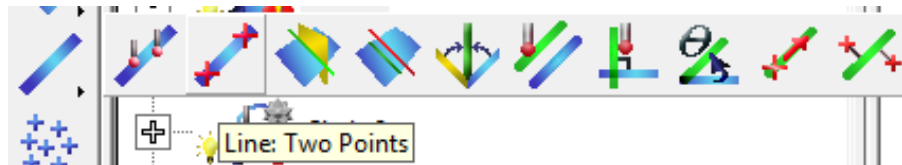
У PowerINSPECT-у можете да изведете мерења из других ставки, то се зове конструисање објекта.

Овај одељак описује како да креирате линију помоћу центра кругова који су претходно направљени у Фази 4. Линија се користи да одреди позитиван смер поравнања по X оси.

Да креирате линију за поравнање:

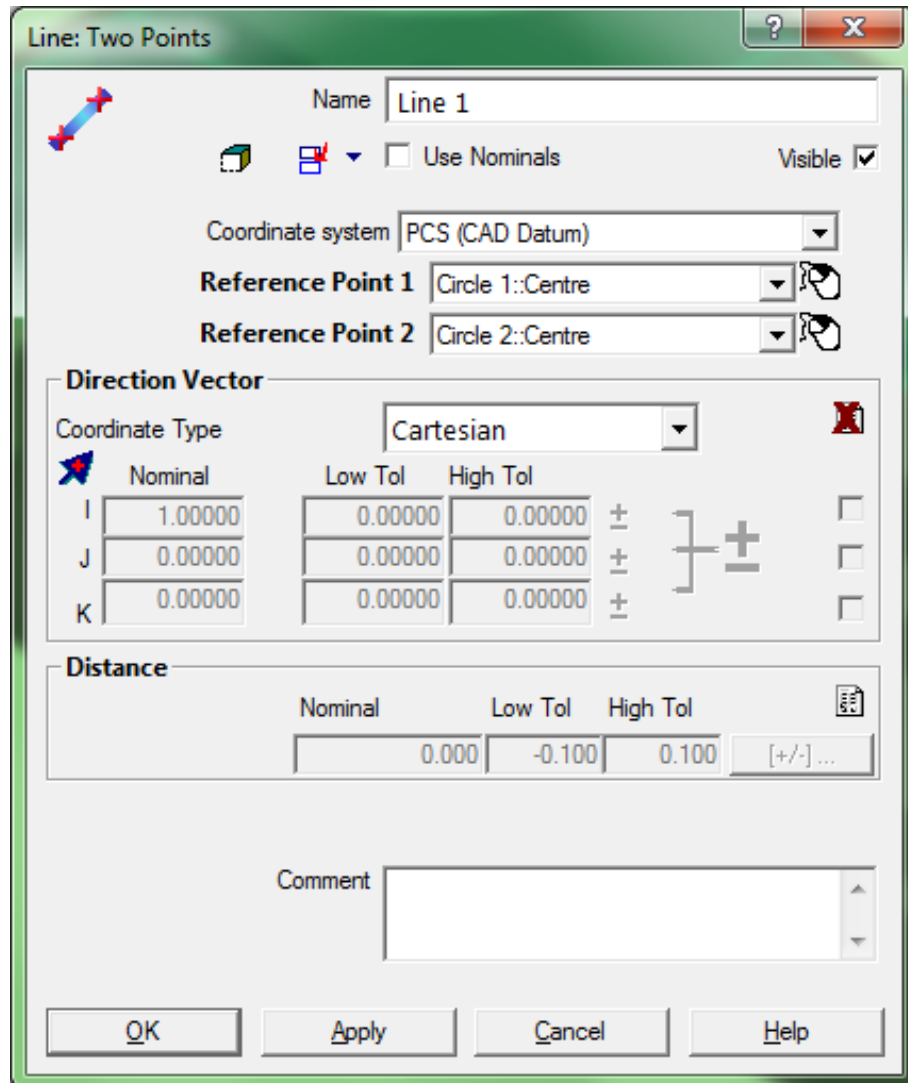


У Item траци са алаткама, кликните  за креирање и приказ различитих типова линија. Изаберите Line: Two Point за креирање линије помоћу две тачке.



Слика 2.2.15.1: Креирање линије (одабир опције)

Прозор за креирање линије помоћу две тачке се отвара.



Слика 2.2.15.2: Креирање линије

Линија се креира помоћу изабраних ставки из Reference point 1 и Reference point 2 листе. У овом случају, центри кругова се користе као почетна и крајња тачка линије, а позитиван смер поравнања по X оси иде од референтне тачке 1 до референтне тачке 2.

Можете променити смер X осе заменом референтних тачака.

Кликните OK да додате линију у редослед мерења.

### 2.2.16 Креирајте тачке за неизмерене карактеристике

Када сте изабрали опцију за касније - одложено мерење, PowerINSPECT не форсира мерење сваке креиране карактеристике. Уместо тога, када сте спремни за мерење ставке коју сте претходно креирали, морате одабрати једну од play опција у главној траци са алаткама.

Можете изабрати:



за мерење изабране ставке из редоследа.



за мерење свих неизмерених ставки.

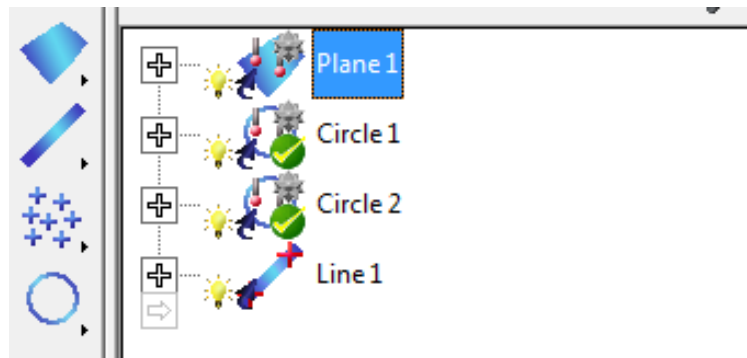


за додавање тачака у изабрану ставку.

За мерење свих неизмерених ставки из редоследа:



Кликните Play All  дугме у главној траци са алаткама. PowerINSPECT тражи од Вас да узмете тачку за сваку неизмерену ставку (круг 1 и круг 2) по редоследу којим се појављују у низу. Када сте завршили мерење, симболи приказани поред ставки се мењају.



Слика 2.2.16.1: Изглед симбола после мерења



.Показује да је ставка измерена и да су резултати у толеранцији.



Показује да је ставка измерена и да је један или више резултата ван толеранције.

Ако желите да поновно измерите ставке које су ван дозвољене толеранције,

кликните десним кликом миша на ту ставку и изаберите Play Item  дугме у главној траци са алаткама.

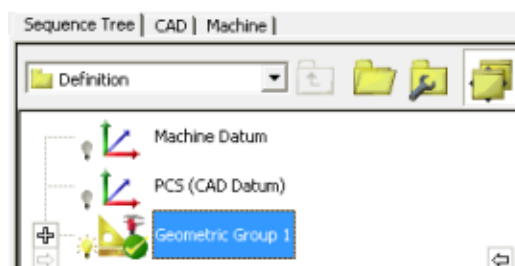
### 2.2.17 Креирање поравнања

Геометријско ПЛП поравнање Вам омогућава да поравнате део са моделом користећи раван, линију и тачку за које знате номиналне координате. Ова врста поравнања Вам дозвољава користите било који метод стварања саставних ставки. Такође Вам омогућава да измените поравнање кроз измене детаља геометријских карактеристика ставки или поновним мерењем сваке појединачно.

Да креирате поравнање:



Кликните на врху стабла да затворите геометријску групу. Active Group листа се мења у Definition показујући да је група затворена и да радите са мерним редоследом. Показивач измерене групе  показује статус мерења ставки које садржи.



Слика 2.2.17.1: Статус ставке

У Item траци са алаткама, кликните  да одаберете врсту поравнања, а

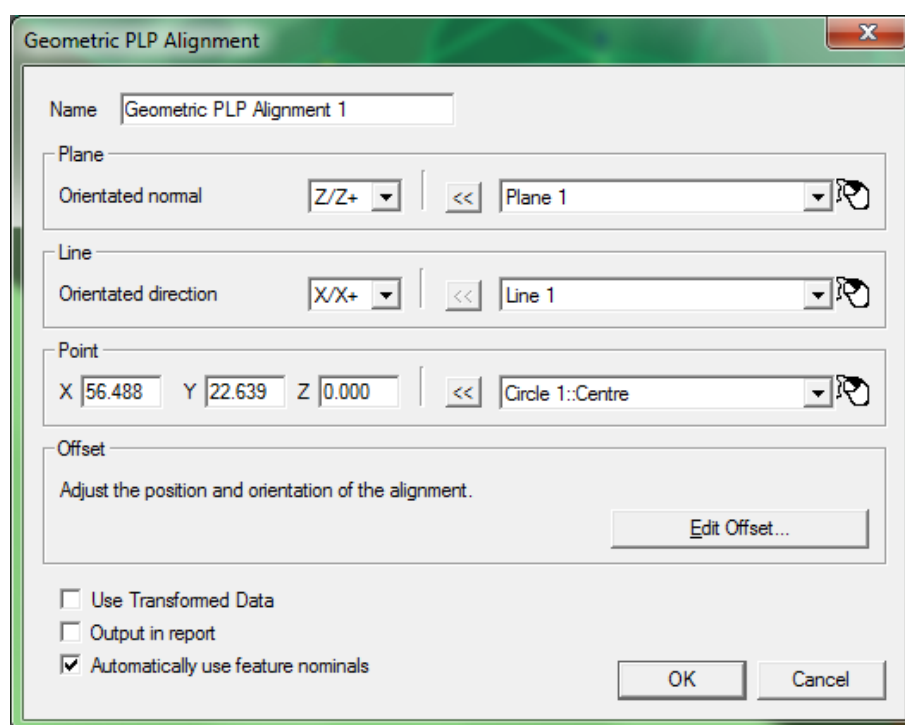
затим кликните  за геометријско ПЛП поравнање.

Прозор за геометријско ПЛП поравнање је приказан:

У одељку Plane, Oriented normal (оријентисана нормала) је Z/Z+ која указује да је позитиван смер Z осе исти као и правац вектора нормале равни (изнад дела).

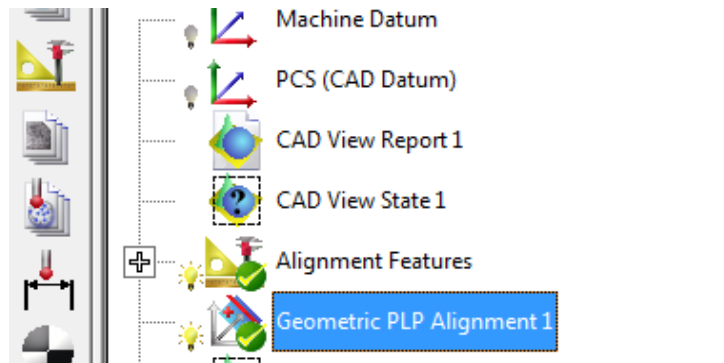
У одељку Line, Orientated direction (оријентисан правац) је X/X+ који указује да је позитиван смер X осе у правцу наведене линије (од круга 2 ка кругу 1).

У одељку Point, X, Y и Z вредности су подешене на локацију селектоване тачке (центар круга 1).



Слика 2.2.17.2: Креирање поравнања

Кликните ОК да прихватите подразумеван одабир. Ово креира поравнање и додаје се у редослед мерења.



Слика 2.2.17.3: Додавање поравнања

## 2.2.18 Мерење дела

PowerINSPECT може да мери 2D и 3D геометрију, као и 3D површине неправилне геометрије.

### 2.2.18.1 Мерење конуса

Можете измерити конус мерењем најмање седам тачака равномерно распоређених преко површине конуса.

Важно је да оса мерног пипка буде што нормалнија у односу на површину конуса.

За мерење конуса:

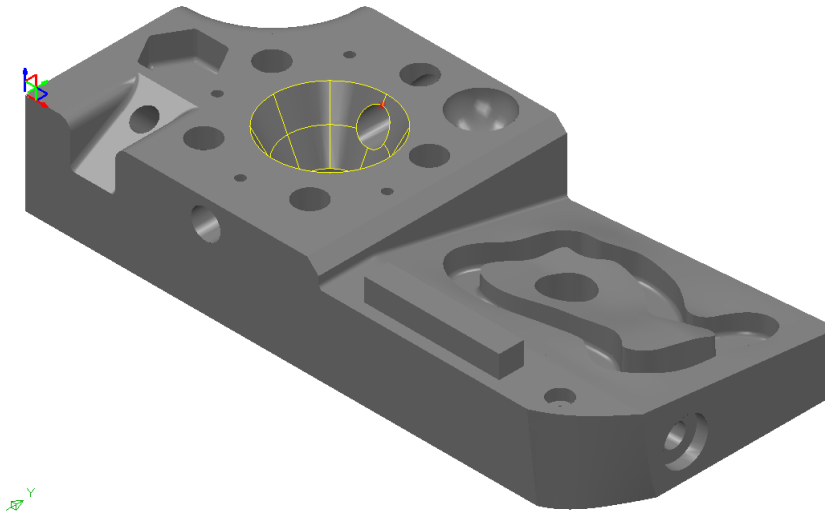
Проверите да ли је укључено “одложено” мерење  које се налази у главној траци са алаткама.

Направите геометријску групу како би додали нове ставке у редослед мерења.

Изаберите Wireframe Checker  дугме и прикажите карактеристике CAD модела.

Да креирате 3D карактеристику помоћу Wireframe Checker-а, морате променити режим одабира. Да бисте то урадили, кликните десним тастером миша на CAD приказ и изаберите Surface из менија, а затим левим кликом миша на CAD приказ да затворите мени.

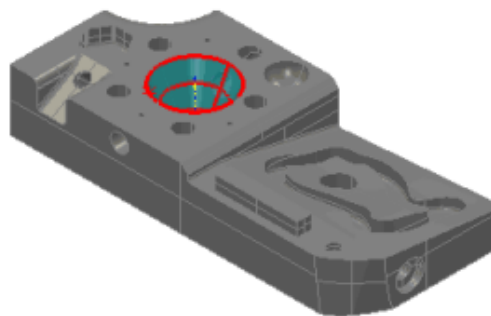
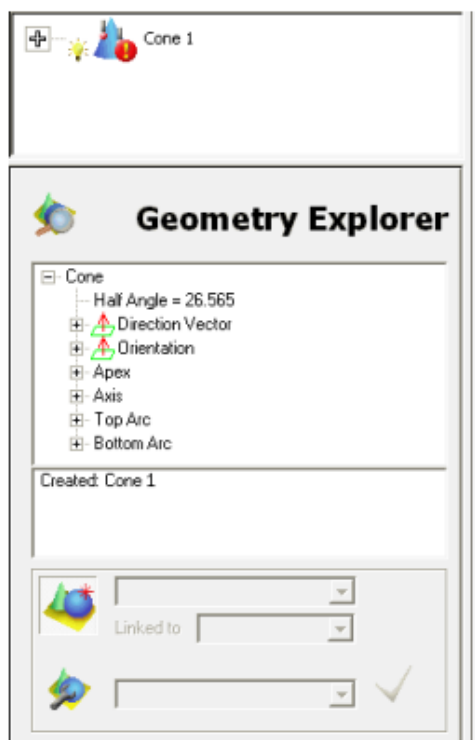
У CAD приказу, померите курсор миша преко конуса како би га селектовали. Када се ивице обоје жутом бојом кликните левим тастером миша за одабир.



#### 2.2.18.1.1: Селектовање конуса

Конус из жуте пралази у црвену боју, а његови детаљи се приказују у Geometry Explorer картици.

Кликните  да додате конус у редослед мерења.



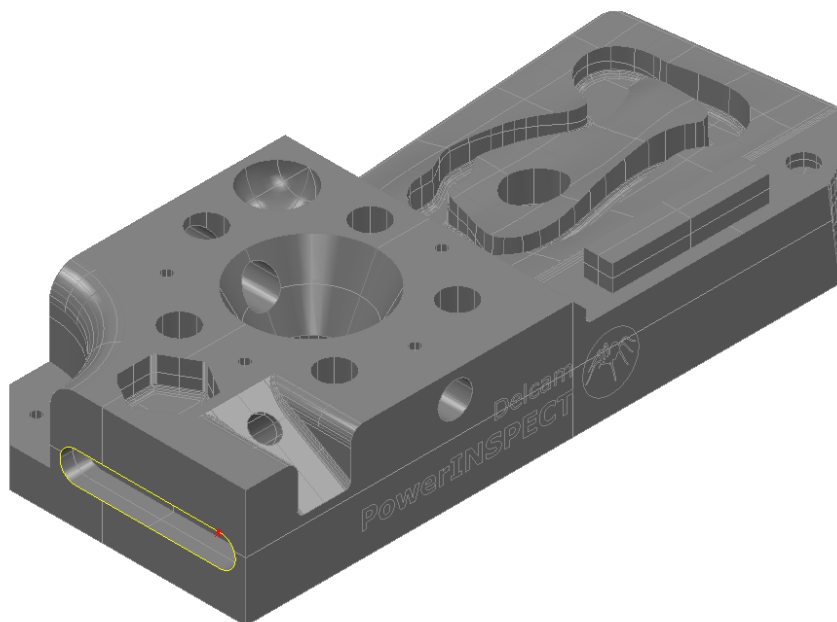
Слика 2.2.18.1.2: Карактеристике конуса

#### 2.2.18.2 Мерење слота-жлеба

За мерење слотова потребо је најмање шест тачака.  
Да бисте измерили слот:

Кликните десним тастером миша на CAD приказ и одаберите Wireframe из контекст менија како би омогућили 2D селекцију. Кликните левим тастером миша на CAD приказ да затворите мени.

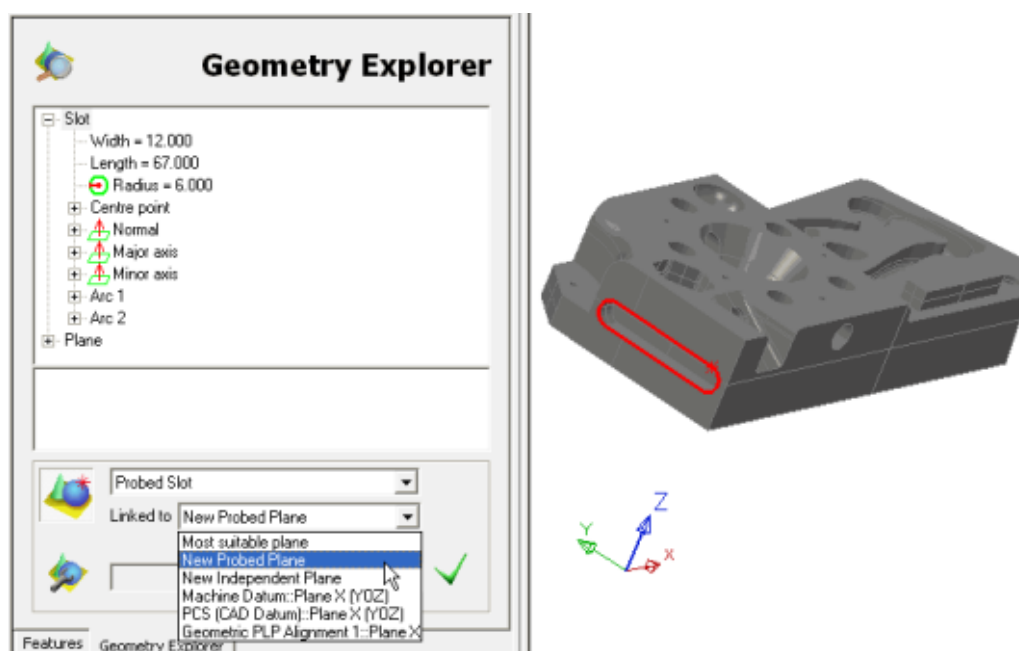
У CAD приказу, померите курсор миша преко слота који се мери (Слика 2.2.18.2.1).



Слика 2.2.18.2.1: Селектовање слота

Када је слот означен, кликните левим тастером миша да га селекујете. Детаљи слота су приказани у Geometry Explorer картици.

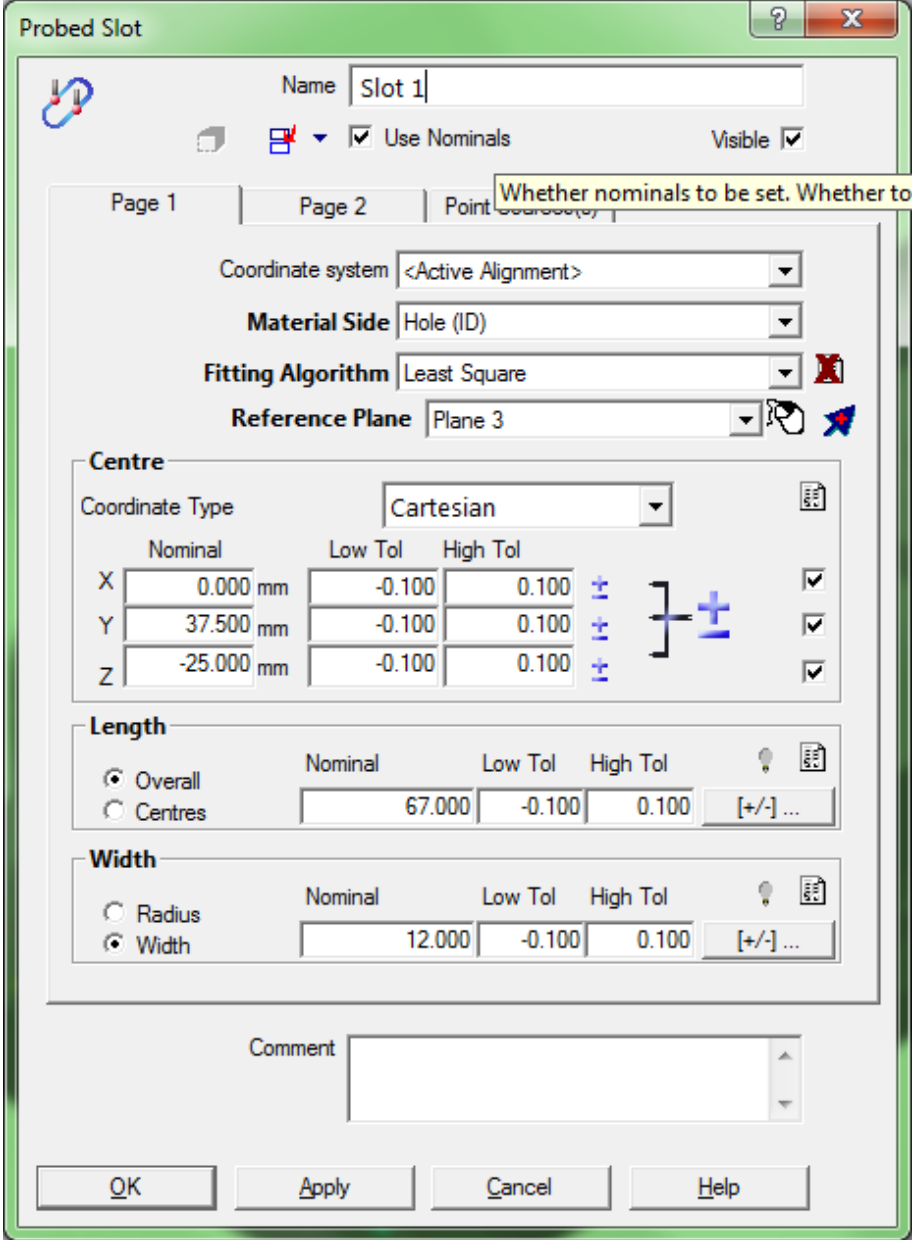
У Linked to листи Geometry Explorer картице, изаберите New Probed Plane (нова измерена раван). То креира нову референтну раван за слот.



Слика 2.2.18.2.2: Креирање референтне равни за слот

Кликните  да бисте креирали ставку. Слот и раван се додају у редослед мерења.

Двапут кликните на Slot 1 иконицу из редоследа мерења за приказ детаља ставке и проверите да ли је нова раван приказана у Reference Plane листи.



**Probed Slot**

Name: Slot 1

☒ Use Nominals Visible ☒

Page 1 | Page 2 | Point Whether nominals to be set. Whether to...

Coordinate system: <Active Alignment>

Material Side: Hole (ID)

Fitting Algorithm: Least Square

Reference Plane: Plane 3

**Centre**

Coordinate Type: Cartesian

|   | Nominal    | Low Tol | High Tol |   |                                     |
|---|------------|---------|----------|---|-------------------------------------|
| X | 0.000 mm   | -0.100  | 0.100    | ± | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Y | 37.500 mm  | -0.100  | 0.100    | ± | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Z | -25.000 mm | -0.100  | 0.100    | ± | <input checked="" type="checkbox"/> |

**Length**

☒ Overall ☐ Centres

|  | Nominal | Low Tol | High Tol |           |
|--|---------|---------|----------|-----------|
|  | 67.000  | -0.100  | 0.100    | [+/-] ... |

**Width**

☐ Radius ☒ Width

|  | Nominal | Low Tol | High Tol |           |
|--|---------|---------|----------|-----------|
|  | 12.000  | -0.100  | 0.100    | [+/-] ... |

Comment:

OK Apply Cancel Help

Слика 2.2.18.2.3: Приказ детаља слота

Кликните Close да затворите прозор.

У редоследу мерења симбол  означава да се раван 2 користи као референтна за друге ставке.

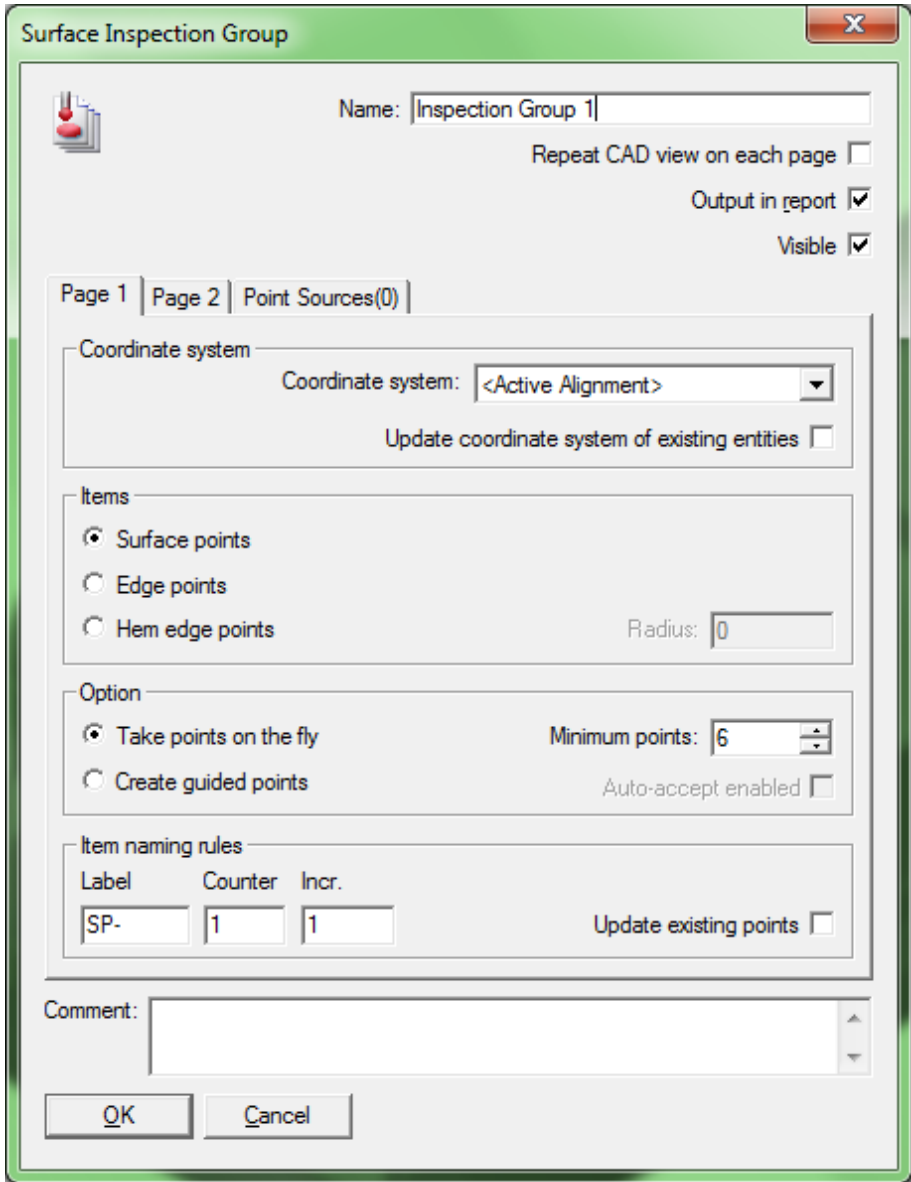
### 2.2.18.3 Мерење површине

Групе за мерење - контролу површина Вам омогућавају да проверите не геометријске површине на делу, и да упоредите резултате са CAD моделом. Можете приказати резултате у CAD прегледу користећи Inspection Point Display опцију у View траци са алаткама, или видети детаљне информације о свакој тачки појединачно користећи Report и Info картице.

Да направите групу за мерење - преглед површине:

Кликните  да затворите геометријску групу.

У Item траци са алаткама, кликните на Surface Inspection Group  дугме. Surface Inspection Group прозор се отвара. То Вам омогућава да наведете које врсте тачака узимате, метод који користите, правила за именовање тачке, толеранције итд.



Слика 2.2.18.3.1: Креирање групе за мерење површине

Штиклирајте Output in report поље како би омогућили приказ резултата мерења у CAD приказу као и у извештају.

По стандардним подешавањима, морате измерити најмање шест тачака, али можете променити ову вредност тако да одговара површини коју желите да измерите. Унесите 8 у Minimum points поље да одредите минималан број тачака потребан за мерење површине.

Кликните ОК да додате групу у редослед мерења.

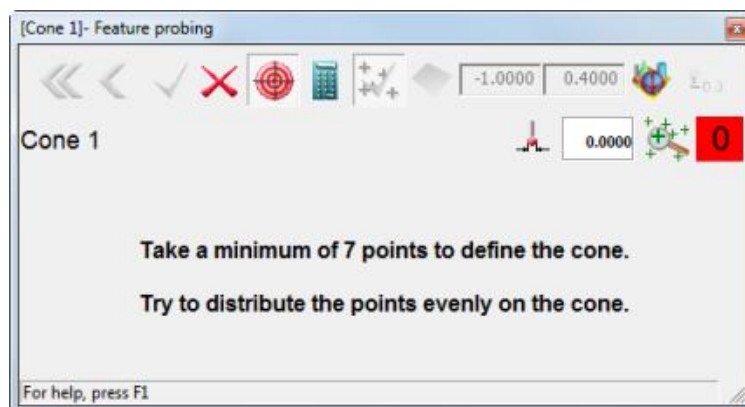
#### 2.2.18.4 Мерење неизмерених ставки

Сада постоји неколико неизмерених ставки у редоследу мерења.

За мерење ових ставки:

Кликните  Play All дугме у главној траци са алаткама. То покреће редослед мерења свих неизмерених ставки.

Отвара се прозор за прву неизмерену ставку из редоследа.

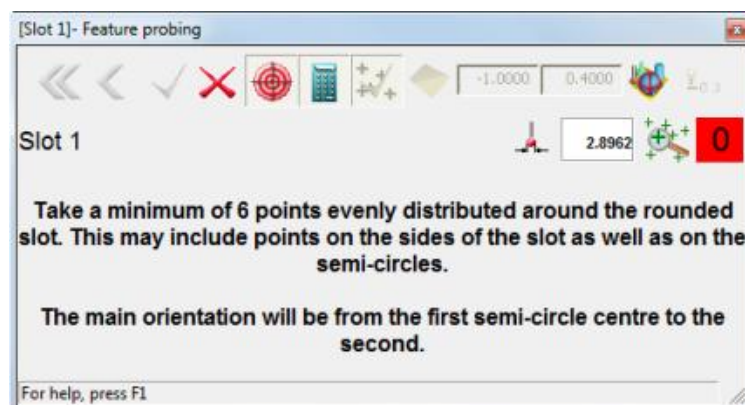


Слика 2.2.18.4.1: Feature probing прозор за мерење конуса

Измерите најмање седам тачака са површине конуса. Кликните  да прихватите тачке.

Од вас се тражи да измерите референтну раван коју сте креирали за слот.

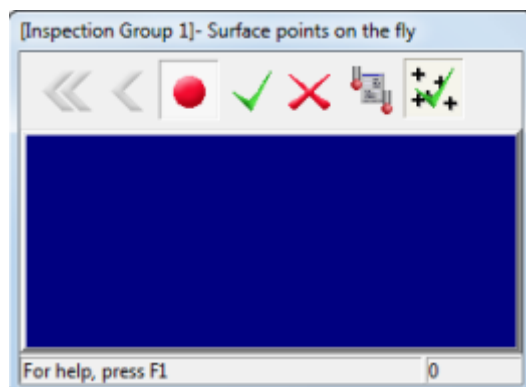
Измерите три тачке на равни и кликните  да их прихватите. Следеће се тражи да измерите слот.



Слика 2.2.18.4.2: Feature probing прозор за мерење слота

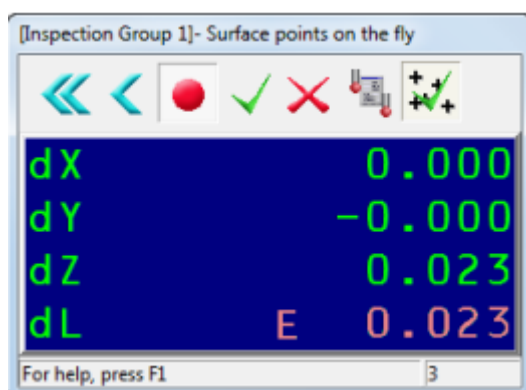
Измерите најмање шест тачка из слота - злеба, а затим их прихватите.

Surface Points on the Fly прозор је приказан за мерење површине.



Слика 2.2.18.4.3: Мерење површине

Измерите тачку на неправилно косој површини која се налази на врху дела. PowerINSPECT то пореди са CAD моделом и ажурира дијалог, на пример:

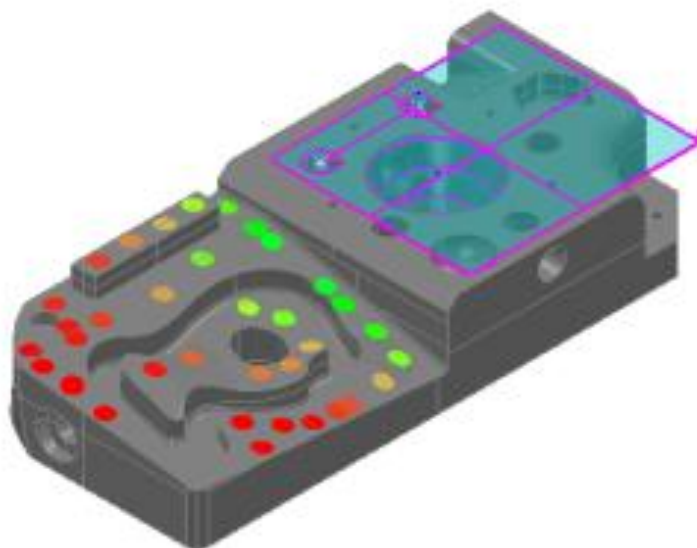


Слика 2.2.18.4.4: Мерење површине (растојања тачке од номиналне површине)

dL вредност показује растојање од тачке до номиналне површине. dx, dy и dz вредности показују одступање измерене локације од номиналних вредности X, Y и Z оса.

Измерите најмање осам тачака, а затим кликните  или притисните црвено дугме на мерној руци да их прихватите.

PowerINSPECT се враћа у CAD приказ, и приказује обојена места за сваку тачку у групи за мерење површине. На пример:



Слика 2.2.18.4.5: Приказ одступања

Свако обојено место показује да ли је у толеранцији за наведену групу.

Црвене тачке означавају да је место високо изнад толеранције.

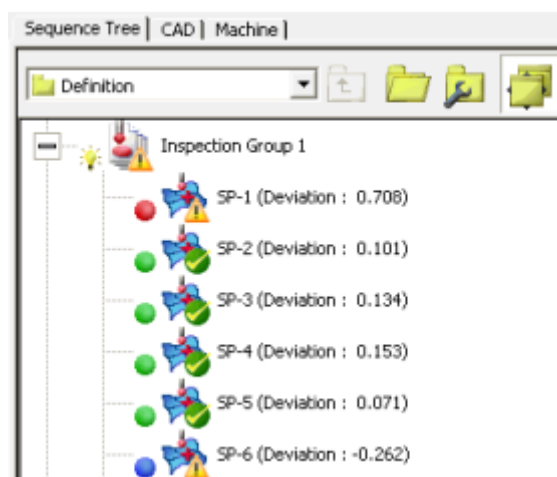
Плаве тачке означавају да је место испод толеранције

Зелене тачке означавају да је место у толеранцији.

Да видите детаље мерења за сваку тачку из групе, кликните .

Листа наводи сваку тачку, одступања и индикатор толеранције.

На пример:



Слика 2.2.18.4.6: Детаљи измерених тачки

Ако су тачке ван дозвољене толеранције, можете да покушате да побољшате поравнање додавањем најбоље одговарајуће ставке (best fit).

## 2.2.19 Оптимизација - прилагођавање поравнања

Када сте измерили једну или више група, можете да користите Best Fit опцију да прилагодите поравнање дела са CAD моделом. PowerINSPECT упоређује тачке изабраних група са номиналним вредностима и подешава поравнање тако да створи једно од пет уклапања.

Best Fit - игнорише одступање

MinMax Fit - поравнава у дозвољеном одступању

LMC - поравнава у горњој толеранцији

MMC - поравнава у доњој толеранцији

MaxMin - поравнава са максимално најмањим одступањем

Да прилагодите поравнање:



У Item траци са алаткама кликните на BestFit дугме.

Edit Bestfit Definition прозор се отвара.

**Edit BestFit definition**

Name:  
Name: BestFit 1  
Alignment: Geometric PLP Alignment  
Optimized alignment: Geometric PLP Alignment 1

Fitting type: Best Fit - ignore tolerance band

Tolerances used  
☐ Individual points ☒ Inspection groups  
☐ Specify tolerances  
 Lower tol: -0.1 Upper tol: 0.1

Max. iterations: 50 Threshold: 5e-006

Method: Translation and Rotation

| Available items    | > | < | >>> | <<< | Selected items | Weights |
|--------------------|---|---|-----|-----|----------------|---------|
| Inspection Group 1 |   |   |     |     |                |         |
| Inspection Group 2 |   |   |     |     |                |         |
| Section Group 1    |   |   |     |     |                |         |
| Inspection Group 3 |   |   |     |     |                |         |
|                    |   |   |     |     |                |         |
|                    |   |   |     |     |                |         |
|                    |   |   |     |     |                |         |

☐ Output in report

OK Cancel Apply

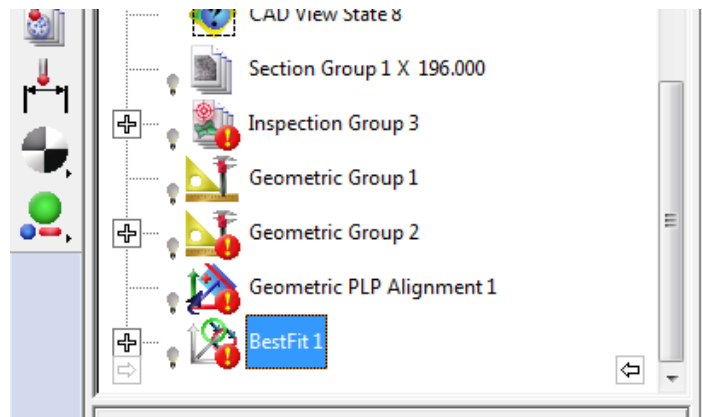
Слика 2.2.19.1: Креирање best fit поравнања

Да бисте користили групу коју сте креирали за оптимизацију поравнања, изаберите ставку из Available items листе, и кликните на  да га преместите на листу изабраних ставки.

У Fitting type листи, изаберите Best Fit - ignore tolerance band. Ово подешава оригинално поравнање тако да се минимизира одступање групних тачака.

У Method листи, изаберите Translation and Rotation.

Кликните OK да додате Best Fit ставку у редослед мерења.

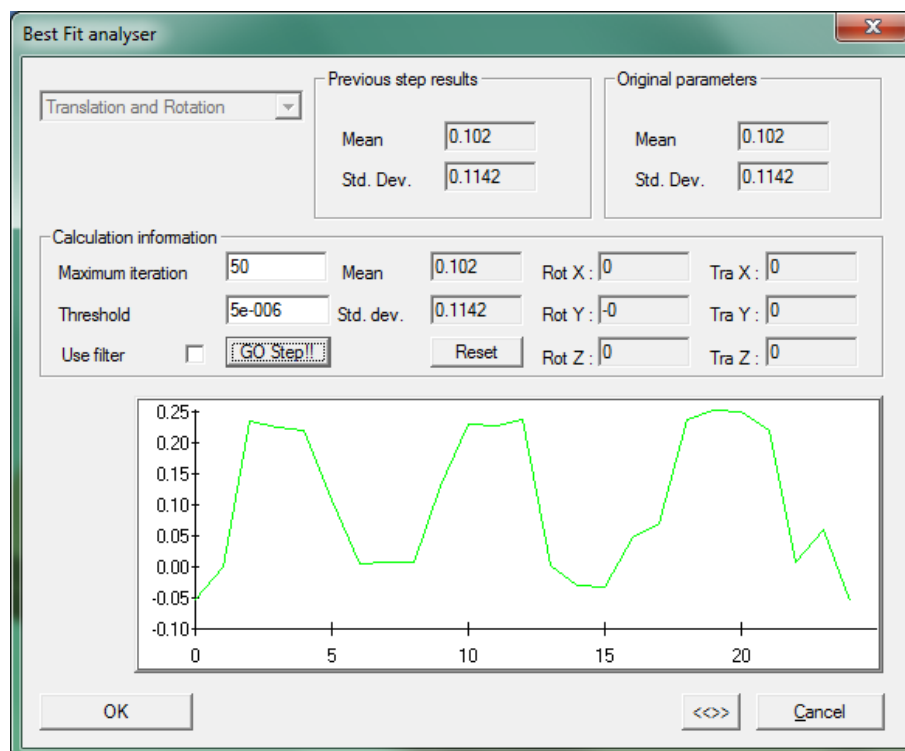


Слика 2.2.19.2: Додавање поравнања

Кликните десним тастером миша на BestFit ставку у редоследу мерења, а затим изаберите Play Item из контекст менија.

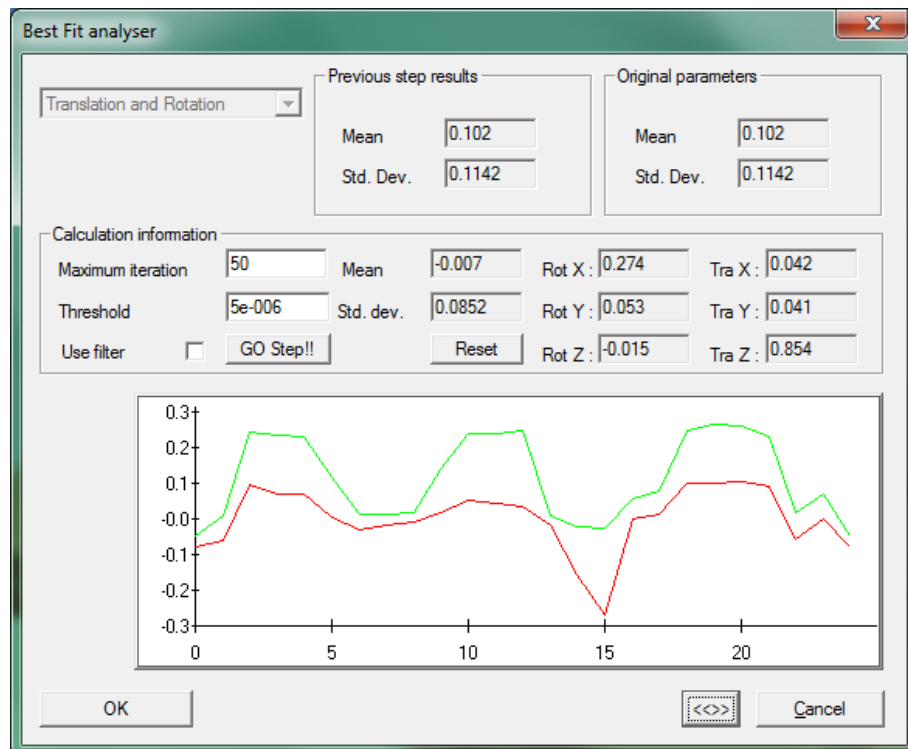
Best Fit Analyser прозор се отвара. За сваки корак, средње и стандардно одступање тачака се користи у обрачуна. Анализатор такође наводи максимални број пута за понављање рачунања.

На пример:



Слика 2.2.19.3: Анализатор поравнања

Кликните Go Step за израчунавање најбоље одговарајућег поравнања. Графички приказ одступања тачака је урађен. Зелена линија показује резултате мерења пре рачунања за најбоље одговарајуће поравнање, док црвена линија показује резултате након што је Best Fit опција примењена.



Слика 2.2.19.4: Графички приказ резултата после прорачуна

Ако желите да промените размеру графикона, кликните на . Кликните дугме поново да вратите графикон у првобитно стање.

Када будете задовољни резултатима оптимизације, кликните ОК да затворите прозор и преимените BestFit подешавања.

PowerINSPECT аутоматски користи ово оптимизовано - прилагођено поравнање, уместо првобитног оригиналног поравнања на којем се заснивају резултати и извештај мерења.

## 2.2.20 Преглед измерених резултата

Када сте прегледали - измерили део, PowerINSPECT обезбеђује неколико начина да видите резултате.

Овај одељак описује како да: прикажете мерења у CAD прегледу, видите детаље информације за измерену ставку, прегледате и штампате извештај.

### 2.2.20.1 Приказ мерења у CAD прегледу

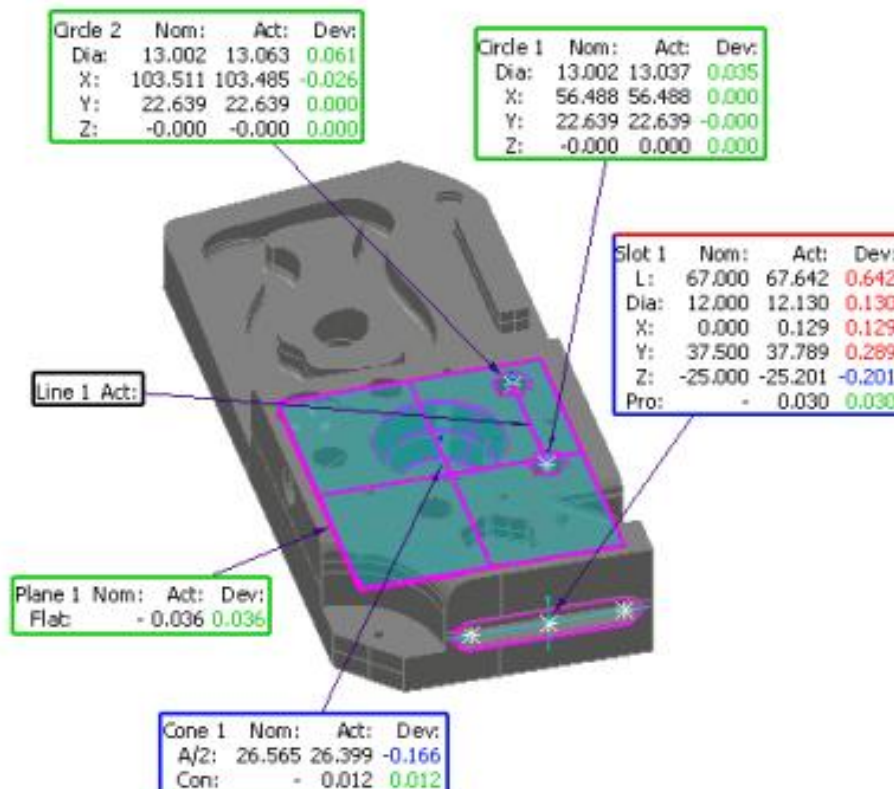
Show/Hide Labels дугме на View Options траци са алткама Вам омогућава да прикажете детаље мерења геометријских предмета у CAD прегледу. Ознаке које су приказане зависе од подешавања у стаблу. Ако је одабрано Definition из листе, све мерне ставке су приказане у CAD прегледу. Ако је отворена одређена група из стабла, само ознаке ставки из те групе су приказане.

Да прикажете ознаке за геометријске ставке :  
Одаберите Definition из редоследа мерења.



У View Options траци са алаткама изаберите Show/Hide Labels дугме. Ознаке - етикете су приказане за све ставке које се могу видети у CAD прегледу.

На пример:



Слика 2.2.20.1.1: Постављање етикета

Мерења у вези са сваком ставком се приказују у етикети, заједно са стрелицом која идентификује на коју карактеристику се резултати односе.

Ако сте одабрали да упоредите мерења ставки са њиховим номиналним вредностима, у етикетама се такође могу приказати и те вредности, и оне су различито обојене за индикацију статуса сваког мерења:

- Зелена означава да је вредност унутар толеранције.
- Црвена означава да је вредност изнад толеранције.
- Плава означава да је вредност испод толеранције.
- Црна означава да вредност није измерена, или вредност није упоређена са својом номиналном.

Оквири етикета су такође обојени. Када су неке од измерених ставки изнад толеранције и неке испод толеранције, оквир етикете је обојен мешавином боја. По стандардним подешавањима PowerINSPECT аутоматски позиционира ознаке око CAD прегледа. Да поставите ознаке ручно:

Кликните  испод Show/Hide Labels дугмета, а затим изаберите  да поставите ознаке ручно.

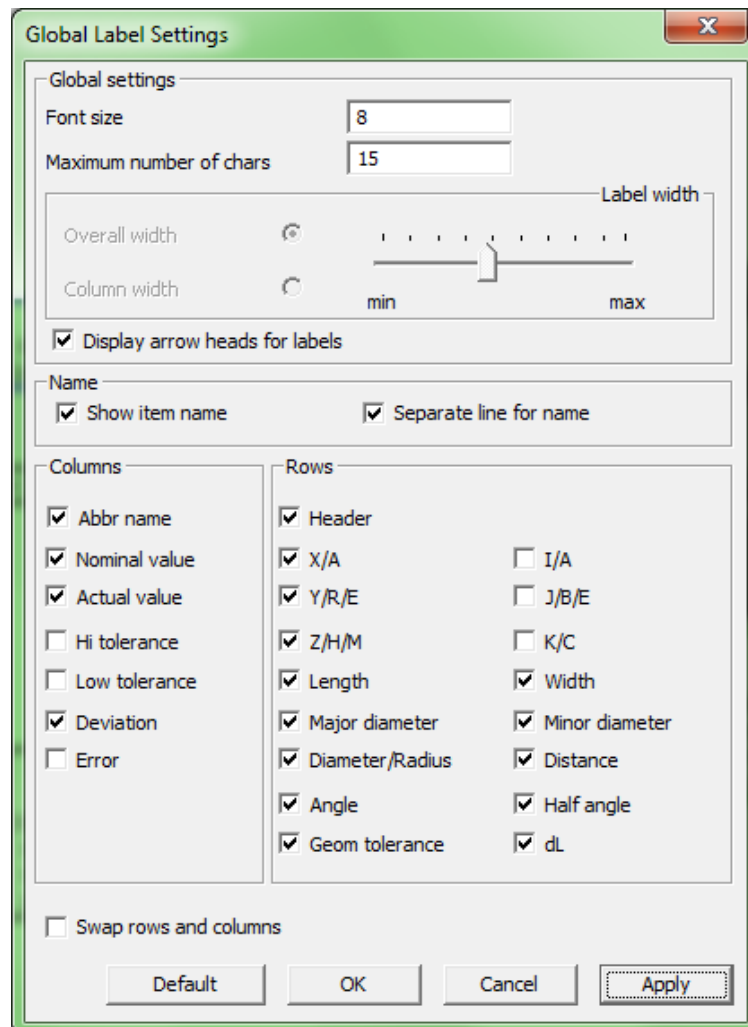
Други начин је тако сто кликнете левим тастером миша на ознаку и држећи превучете на другу позицију.

У Show manual labels резиму, такође можете променити величину ознаке и изабрати колоне и редове који су приказани. Да бисте то урадили, кликните



у View Options траци са алаткама, или десним кликом тастера миша на ознаку, и изаберите Label Settings из менија.

Global Label Settings прозор је приказан.



Слика 2.2.20.1.2: Подешавање етикета

Прозор за подешавања ознака Вам омогућава да изаберете податке који се приказују у ознакама и да примените ограничено форматирање. Експериментишите са променом ставки у овом прозору да видите ефекат на етикетама.

Када завршите, кликните Default да све вратите оригиналном подешавању, а затим кликните ОК да затворите прозор.

## 2.2.20.2 Приказ детаљних информација карактеристика

Осим прегледа информација мерења у CAD прегледу, можете видети мерења свих ставки помоћу Info таб-а. Картица садржи следеће делове:

Табела 2.2.20.2.1: Објашњење инфо картице

| Селекција      | Опис                                                                                |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Information    | Поравнање у односу на које се ради известај мерења.                                 |
| Links          | Карактеристике на које су повезане ставке. У примеру раван је повезана са слотом.   |
| Parameters     | Параметри који контролишу мерење ставке                                             |
| Properties     | Детаљи о положају и величини ставке, вредности толеранције, одступањима и грешкама. |
| Exported Items | Назив ставке која је повезана са изабраном карактеристиком.                         |

Да користите Инфо картицу, изаберите Info на дну PowerINSPECT прозора. У редоследу мерења, изаберите ставку за коју желите да прикажете детаље.

На пример:

**Circle 1**

Information

Datum <Active Alignment>

CNC Probe

| Entity   | Column      | Instruction                                   | Status        | Probe       | Sensor     | Orientation                                 |
|----------|-------------|-----------------------------------------------|---------------|-------------|------------|---------------------------------------------|
| Circle 1 | Simulator 1 | Sensor definition<br>Probe orientation change | Tip undefined | ManualProbe | M2_20x4_SS | A=0, B=0<br>I=0.00000, J=0.00000, K=1.00000 |

Tip undefined The sequence item cannot be probed because the expected probe is not defined in the probe database. The probe may have been deleted after defining the sequence item. Use the machine tab to create the required probe assembly.

Probe Path Faults

Verification Status Undefined probe

Links

| Name            | Link    |
|-----------------|---------|
| Reference Plane | Plane 1 |

Parameters

| Name           | Start Angle | End Angle |
|----------------|-------------|-----------|
| Angle Quadrant | -270.005°   | 89.995°   |

| Name          | Value                    |
|---------------|--------------------------|
| Material Side | Hole (ID) - Only for CNC |

| Name           | Used | Offset |
|----------------|------|--------|
| Guided Measure | No   | -1.000 |

| Name              | Value        |
|-------------------|--------------|
| Fitting Algorithm | Least Square |

| Name               | Used | Value |
|--------------------|------|-------|
| Auto accept points | No   | 3     |

Properties

|        | Nominal | Lo-Tol | Hi-Tol | Actual | Deviation | Error |
|--------|---------|--------|--------|--------|-----------|-------|
| Centre | X       | 56.488 | -0.100 | 0.100  | 56.488    | 0.000 |
|        | Y       | 22.639 | -0.100 | 0.100  | 22.639    | 0.000 |
|        | Z       | 0.000  | -0.100 | 0.100  | 0.000     | 0.000 |

4 | CAD View | Info | Report | Dynamic Points | Section Group 1 X 196.000

Geometric PLP Alignment 1 | NUM

Слика 2.2.20.2.1: Детаљи измереног круга

Као и код етикета, када су мерења упоређена са својим номиналним вредностима, различите боје се користе да укажу да ли су мерења изнад (црвени текст), испод (плави текст) или у оквиру толеранције (зелени текст). Да прикажете детаље измерених тачака које су коришћене за мерење ове карактеристике, штиклирајте List of the probed points.

На пример:

☒ List of probed points (probe centre) CAD coordinates ▼

|                          | X     | Y      | Z       | I      | J      | K     | Deviation | Used |
|--------------------------|-------|--------|---------|--------|--------|-------|-----------|------|
| Probe diameter: 6.000 mm |       |        |         |        |        |       |           |      |
| Point 1                  | 2.025 | 68.596 | -25.521 | -0.508 | -0.768 | 0.389 | 0.000     | Yes  |
| Point 2                  | 1.462 | 6.983  | -24.880 | -0.903 | -0.129 | 0.409 | 0.000     | Yes  |
| Point 3                  | 1.547 | 20.826 | -22.109 | -0.901 | -0.227 | 0.369 | -0.015    | Yes  |
| Point 4                  | 1.421 | 53.304 | -22.166 | -0.859 | -0.392 | 0.328 | 0.015     | Yes  |
| Point 5                  | 1.735 | 53.720 | -28.267 | -0.828 | -0.419 | 0.372 | 0.015     | Yes  |
| Point 6                  | 3.048 | 20.775 | -28.270 | -0.838 | -0.329 | 0.436 | -0.015    | Yes  |

Слика 2.2.20.2.2: Детаљи измерених тачака

Табела садржи позицију, векторе и одступања за сваку узету тачку појединачно. Used колона показује да ли је тачка коришћена за израчунавање мерења. Да бисте одредили локацију у односу на вредности мерења, изаберите унос на листи.

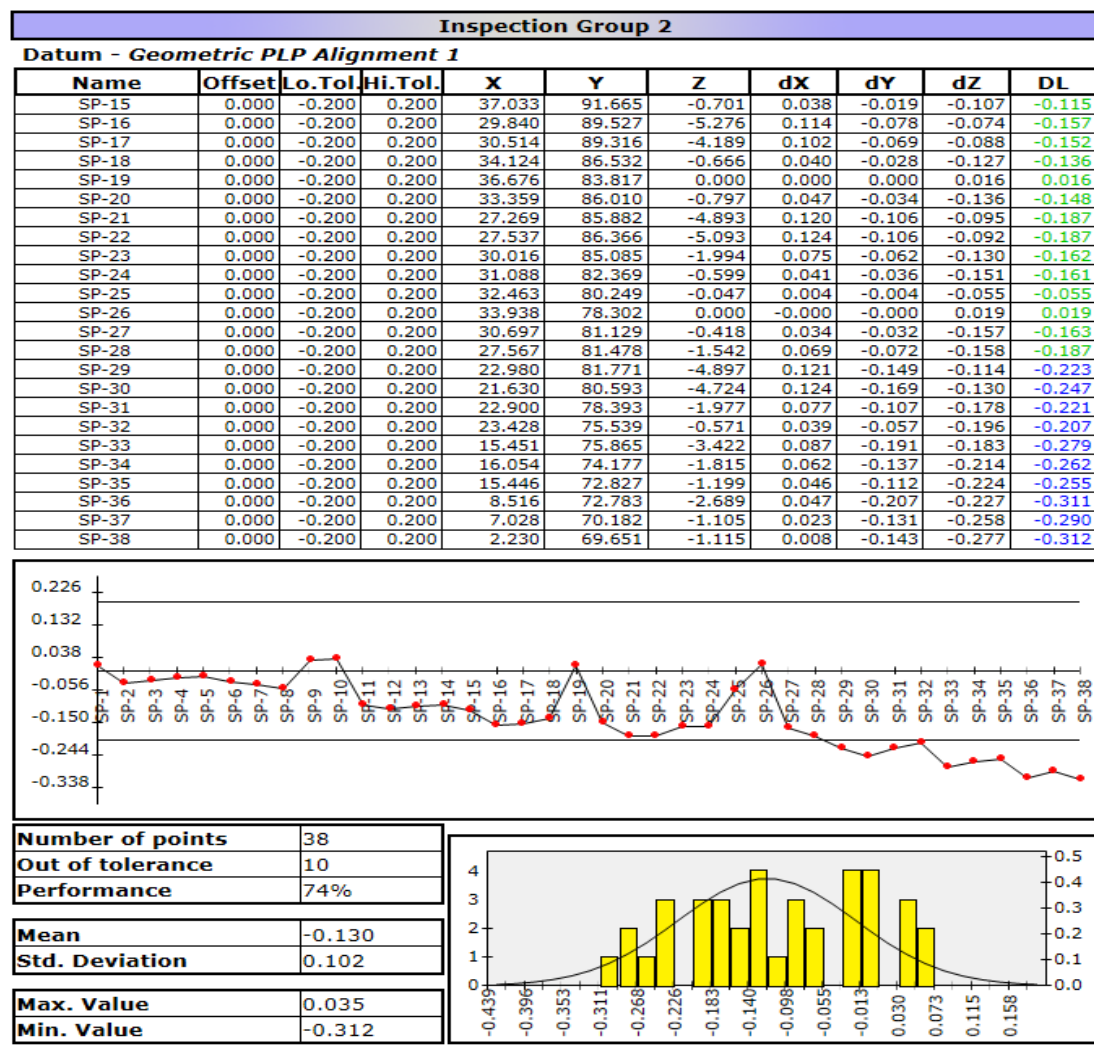


За штампање садржаја Info таб-а, кликните у главној траци са алаткама.

### 2.2.20.3 Преглед извештаја

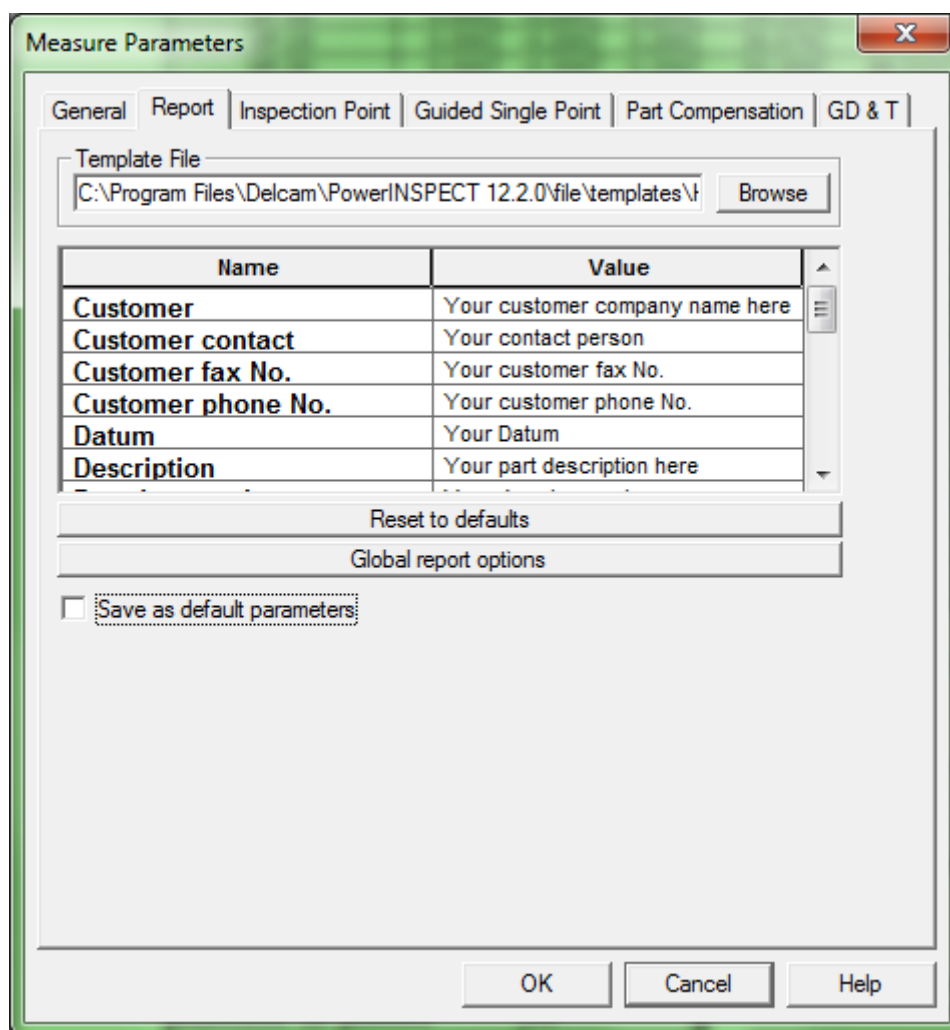
Report tab Вам омогућава да направите детаљан приказ мерења за све ставке из редоследа мерења. Можете да приказате информације помоћу шаблона добијених уз PowerINSPECT, или можете да креирате сопствене шаблоне и користите различите редоследе за различите примене. Да бисте приказали резултате мерења у извештају, кликните на Report tab на дну PowerINSPECT прозора.

Резултати мерења су приказани. Користите траку за померање (scroll bar) са десне стране за приказ свих детаља извештаја.



Слика 2.2.20.3.1: Извештај са резултатима мерења

Извештаји могу бити прилагодљиви. То Вам омогућава да одредите специфичне информације о мерењу, као што су број дела и име име лица које је извршило мерење - проверу.



Слика 2.2.20.3.2: Прилагођавање извештаја

Кликните на Browse, изаберите HTML у Open File прозору, затим фасциклу у којој се налази шаблон, изаберите .rpt датотеку за тражени шаблон. Кликните на Open.

Кликните на reset to defaults да освежите екран извештаја и извучете променљиве у заглавље извештаја.

Промените текст у Value колони по потреби. Штиклирајте Save as default parameters да подесите тренутно изабрани шаблон као подразумевани. Кликните OK да затворите прозор и ажурирате извештај. Прикажите извештај поново, и проверите да ли садржи измене које су направљене.

#### 2.2.20.4 Контролисање информација укључених у извештај

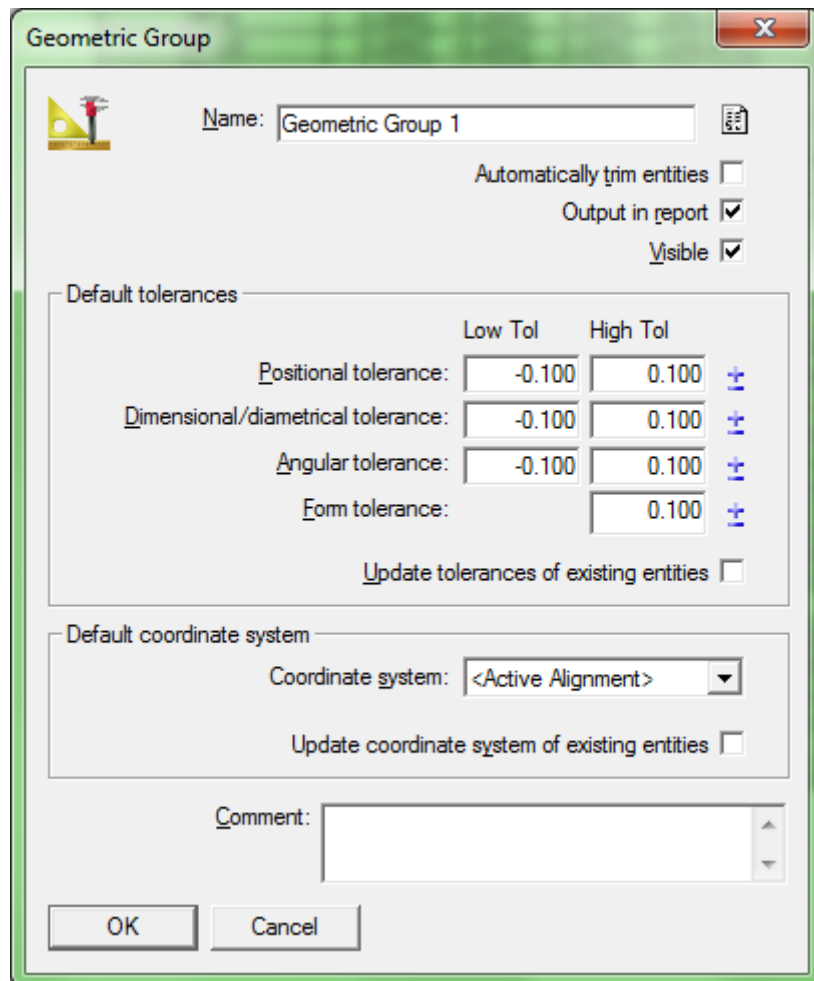
PowerINSPECT нуди потпуну флексибилност у приказивању геометријских група и особина функција у оквиру групе. Све геометријске ставке, са изузетком равни, приказују се подразумевано, као и главне особине приказаних ставки.

### 2.2.20.5 Искључивање карактеристика које су садржане у геометријског групи

Можете да изузмете ставке из извештаја користећи Item's дијалог. Слично томе, можете да искључите све ставке у групи помоћу Group's дијалога. На пример, да изузмете геометријску групу из извештаја:

Изаберите Geometric Group 1 из редоследа мерења, и кликните  на врху стабла.

Geometric Group прозор је приказан.



Слика 2.2.20.5.1: Уклањање мерења групе из извештаја

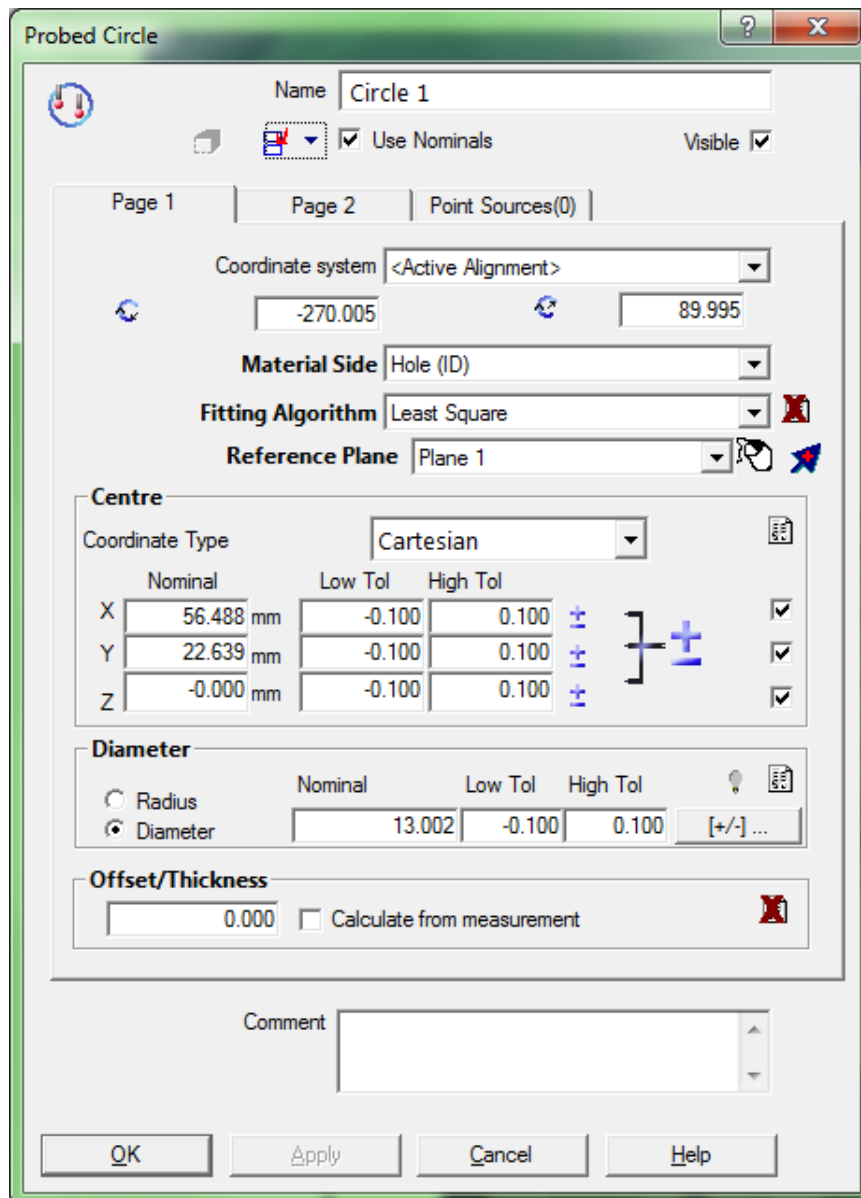
Деселекујте избор у Output in report пољу да искључите све функције из групе. Кликните OK да сачувате промене и затворите прозор.

### 2.2.20.6 Искључивање мера које су садржане у функцији

Осим што можете искључити читаве ставке из извештаја, можете да искључите и појединачна мерења. Ово је корисно ако желите да истакнете само важне мере за ставку.

На пример, да искључите мерење за круг:

Двапут кликните на Circle1 из редоследа мерења. Probed Circle прозор се отвара.



Слика 2.2.20.6.1: Уклањање мерења круга из извештаја

У Centre подручју, деселекујте избор у Output in report пољу десно од вредности Z координате, да искључите координате из извештаја и информациону етикету у CAD прегледу.

Алтернативно, да искључите све координате круга, кликните Output in report 

Икона се мења у . Кликните поново да вратите вредности мерења у извештај.

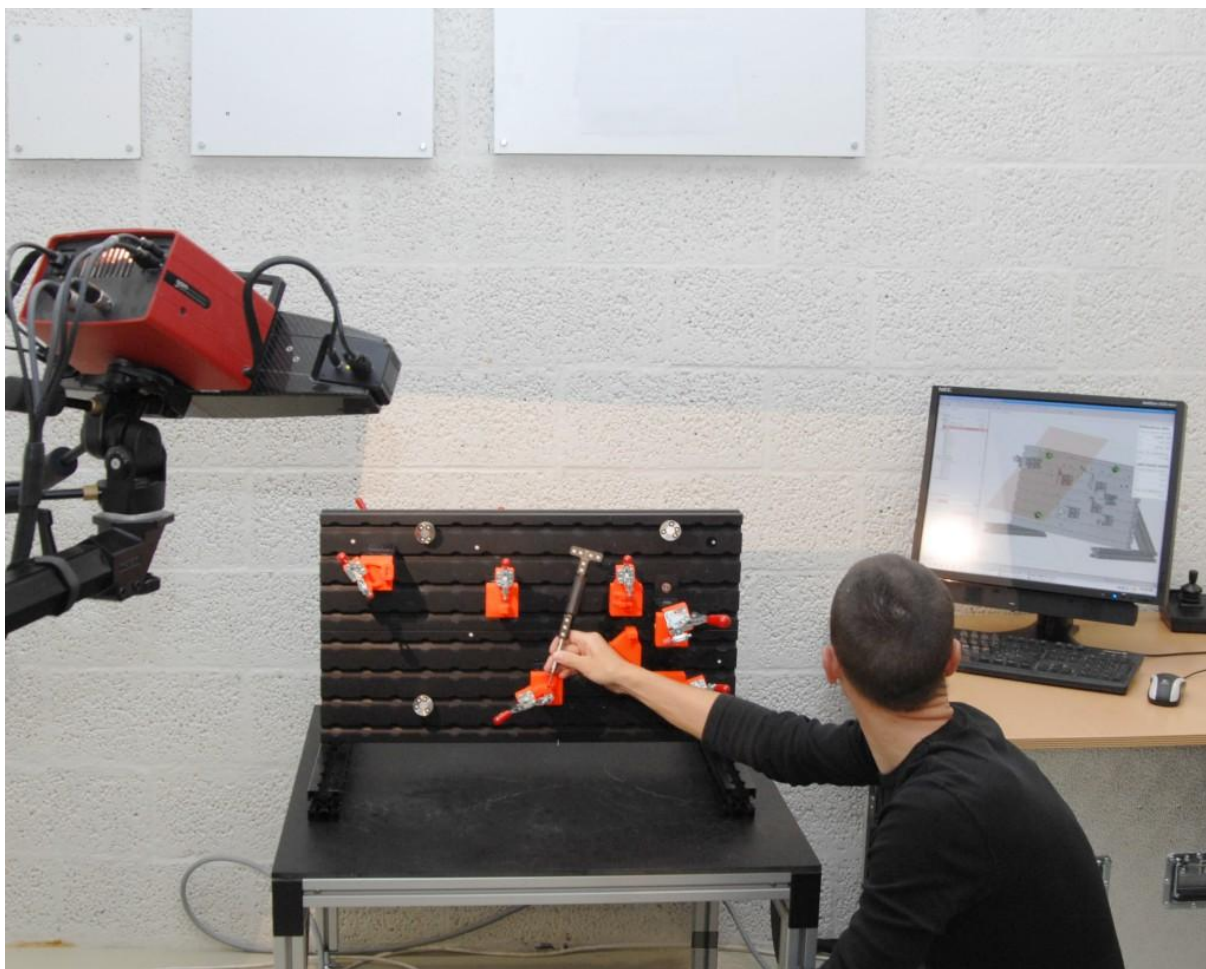
PowerINSPECT игнорише искључене мере када утврђује да ли је ставка у или ван толеранције.

Када завршите, кликните на Apply да сачувате измене и оставите отворен прозор.

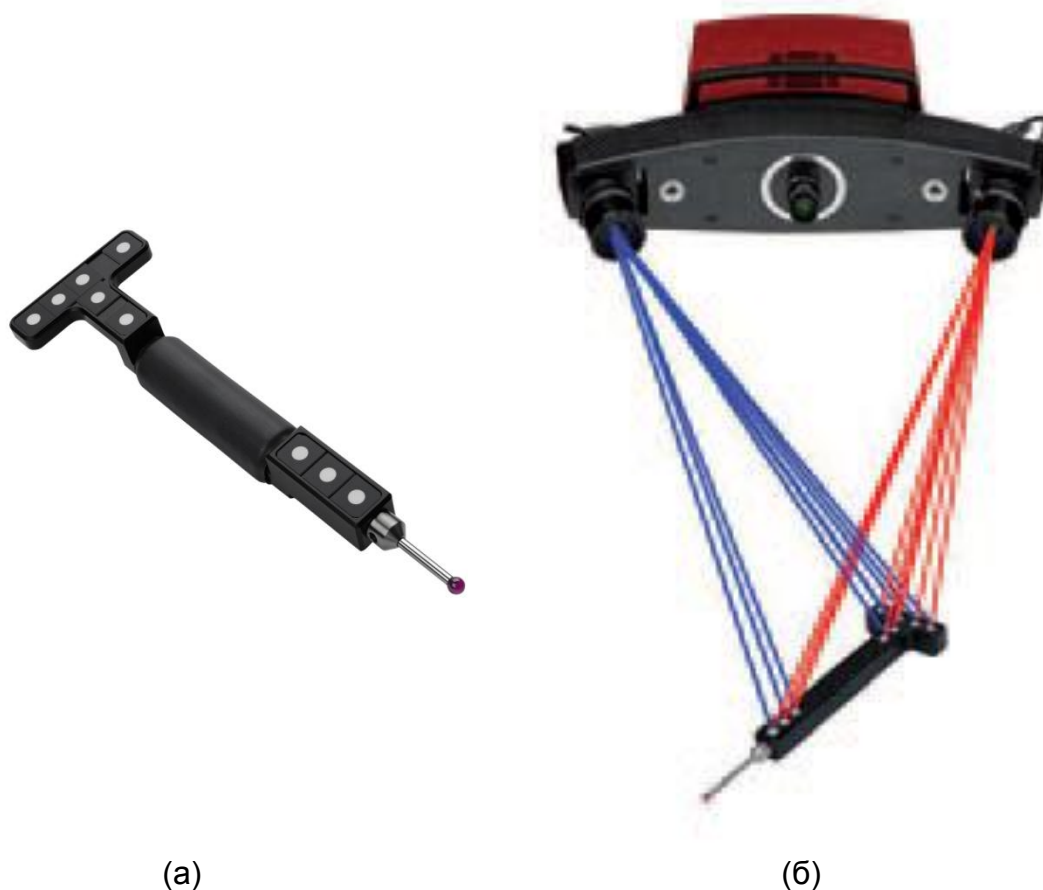
### 3 Мерни систем GOM Touch Probe

Мерни систем GOM Touch Probe је типичан представник хибридних мерних метода. Овај уређај омогућава креирање тачака у мерним подручјима која су тешка или немогућа за снимање путем осталих координатних мерних уређаја. Овим уређајем могуће је мерити следеће геометријске ентитете: тачке на површини мерног објекта, равни, отворе/рупе, сфере, цилиндри, конусе и ивице, као и одступања измерених тачака израђеног дела од CAD модела.

Мерни систем GOM Touch Probe се састоји од сензора оптичког мерног система ATOS, софтвера и мерног пипка (слика 3.1). Систем на основу специфичног распореда референтних тачака препознаје мерни пипак овог система (слика 3.2a) и релативни положај куглице у односу на ове тачке (слика 3.2b). Конфигурација мерног пипка је променљива захваљујући доступним екстензијама (слика 3.3).



Слика 3.1: Мерни систем GOM Touch Probe



Слика 3.2: Мерни систем GOM Touch Probe:  
(а) Мерни пипак, (б) Принцип функционисања



Слика 3.3: Екстензије за промену конфигурације мерног пипка мерног система GOM Touch Probe

### 3.1 Калибрација мерног пипка

Калибрација мерног пипка је потребна када се користи први пут у систему или када се систему додају различите мерне главе и екстензије. За калибрацију мерног пипка није потребан мерни пројекат.

За правилну калибрацију, референтне тачке мерног пипка је потребно да буду у центру мерног опсега. У непосредној близини алатке за калибрацију, потребно је поставити неколико референтних тачака (најмање 4). Алат за калибрацију се поставља на равну површину са неколико референтних тачки у близини. Мерни пипак је могуће калибрисати и директно на мерном објекту, ако објекат има референтних тачака у близини алата за калибрацију (слика 4.1.1).

Након што је направљена жељена конфигурација, потребно је да се мерни пипак калибрише. Калибрација се покреће командом

**Project Mode > Probe > Calibrate Probe.**

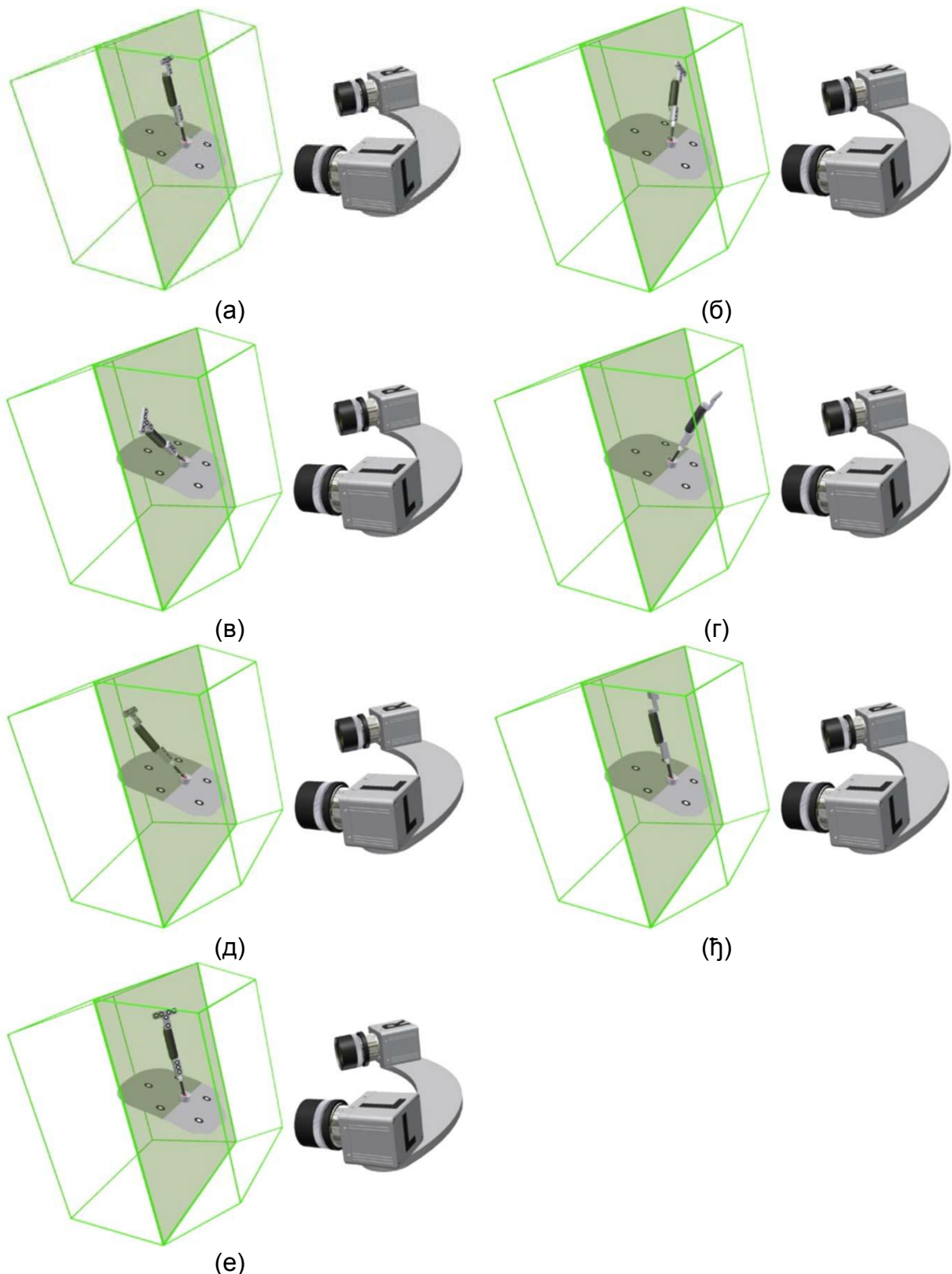
Током процеса калибрације прво треба дефинисати карактеристике мерног пипка (назив, број референтних тачака и радијус куглице). Номинална вредност куглице је веома блиска стварној вредности, јер је произведена са високом тачношћу.

Процес калибрације је веома једноставан и заснива се на извршавању инструкција које софтвер даје кориснику. Сензоре треба постављати у положаје који су приказани на слици 3.1.2, тако да референтне тачке буду видљиве и левој и десној камери. Након последњег корака у поступку калибрације, приказују се резултати калибрације. Одступање од 0.01 mm је добар резултат, одступање од 0.2 mm је прихватљиво. Угао калибрације треба да буде око 90 степени.

Калибрисан мерни пипак се аутоматски идентификује у софтверу.



Слика 3.1.1: Алат за калибрацију са референтним тачкама



Слика 3.1.2: Процес калибрације мерног пипка: (а) Корак 1 - Мерни пипак је паралелан са централном равни мерне запремине, (б) Корак 2 - Мерни пипак је нагнут што је могуће више ка десној страни и лежи у централној равни мерне запремине, (в) Корак 3 - Мерни пипак је нагнут што је могуће више ка левој страни и лежи у централној равни мерне запремине, (г) Корак 4 - Мерни пипак је

нагнут што је могуће више напред, ка мерном сензору, (г) Корак 5 - Мерни пипак је нагнут што је могуће више назад, од мерног сензора, (д) Корак 6 - Мерни пипак је окренут што је могуће више ка десној камери и лежи у централној равни мерне запремине, (е) Корак 7 - Мерни пипак је окренут што је могуће више ка левој камери и лежи у централној равни мерне запремине

## **3.2 Принцип мерења мерним пипком**

Мерење 3D положаја помоћу мерног пипка овог уређаја се врши искључиво на основу снимљених референтних тачака у мерној запремини. Због тога је неопходно да све тачке мерних пипка буду видљиве за обе камере мерног сензора. На основу калибрације мерног пипка, мерни систем зна груписање специфичних референтних тачки.

Током процеса мерења, мерни објект се не сме померати унутар мерног опсега. У случају да се објект помери, систем приказује поруку са грешком. Систем детектује чак и најмање одступање од положаја. Уколико се поруке о грешкама понављају, треба проверити да ли сензор и мерни објект имају стабилну позицију. Ако се систем користи на вибро подовима, у тако тешким условима мерење може да се врши активирањем Dynamic Referencing функције, што може негативно утицати на тачност мерења. Због тога је коришћење ове функције оправдано само у одређеним и специфичним већ поменутим условима.

Препоручено је да увек подесите референтну позицију мерног објекта пре почетка мерења, како би систем препознао референтне тачке мерног објекта и сто боље се позиционирао у 3D простору.

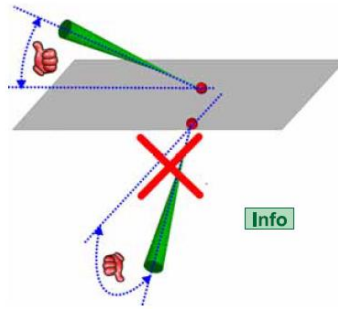
За мерење геометријски ентитета, у режиму мерења треба одабрати потребну функцију командом

**Project Mode > Start/Stop Measurement Mode > Probe >...**

Сваки пут када се промени положај сензора или мерног објекта потребно је да се подеси референтна позиција. Сензор мора да идентификује најмање 3 референтне тачке. Приликом референцирања мерни пипак не сме бити унутар мерног опсега (могуће је заклонити референтне тачке). Листа референтних тачки показује идентификоване тачке. У овој листи, можете онемогућити имагинарне тачке које могу бити резултат, нпр. рефлексije. Имагинарне референтне тачке утичу на тачност мерења.

### **3.2.1 Мерење равни**

Раван се креира са најмање три додира мерним пипком жељене равни на мерном објекту. Систем израчунава раван у зависности од информације о смеру прилажења објекту мерним пипком, па је потребно да раван увек буде додирнута са исте стране.



Слика 3.2.1.1: Правилно постављање мерног пипка приликом дефинисања равни

### 3.2.2 Мерење тачке на површини

Да би се измерио положај тачке на површини најпре треба дефинисати површину – референтну раван на којој се тачка налази. Раван се дефинише са најмање три тачке, након чега је потребно пипнути жељену тачку на површини.

### 3.2.3 Мерење Best-Fit кружног отвора

У циљу утврђивања кружног отвора, прво треба да се одреди референтна раван на којој се налази отвор додиром објекта најмање 3 пута. Затим се рупа одређује додиривањем обода отвора најмање 3 пута, а кружни отвор се пројектује на референтну раван.

### 3.2.4 Мерење отвора једном тачком

Да бисте измерили отвор помоћу једне тачке, додирна лопта мора бити већег пречника од пречника отвора. Величина измереног круга зависи од тога колико дубоко додирна лопта улази у кружни отвор. Ова метода омогућава само прецизно и брзо одређивање центра кружнице. Обим круга се може приближно одредити. Ако желите да утврдите тачну величину кружног отвора, користите Best-Fit Circular Hole функцију. Да би се утврдило заједничко место за рупу, прво треба да се утврди референтна раван на којој се налази рупа. Обрачун се заснива на 3D позицији центра додирне лопте. Величина резултата (приближна вредност) зависи од тога колико дубоко додирна лопта улази у кружни отвор.

### 3.2.5 Мерење сфере, конуса и цилиндра

Мерење унутрашњости цилиндра помоћу бесконтактне методе је тешко, а у неким случајевима и немогуће. За такве случајеве мерни пипак је идеална алтернатива.

У циљу утврђивања површине сфере, конуса/цилиндра, потребно је да систему “кажете” да ли желите да мерите елемент изнутра или споља. За креирање површине сфере додирните објекат најмање 4 пута. За креирање површине конуса или цилиндра додирните површину објекта најмање 6 пута.

При креирању цилиндра, прво се креира раван која одређује правац цилиндра са најмање три тачке, а затим се мере тачке цилиндра. Најбољи начин за мерење цилиндра је снимање 4 тачке у горњем делу цилиндра а затим исти број тачака у доњем делу цилиндра. За креирање цилиндра потребно је најмање 5 тачака.

### 3.2.6 Мерење граничних сегмената

Гранични сегмент - ивица се увек креира као линија. Да би се утврдила ивица, прво треба креирати референтну раван. Затим, ивица (линија) се одређује додиривањем објекта бар 2 пута. Додирне тачке које су међусобно највише удаљене дефинишу дужину линије. Линија се пројектује на референтну раван. GOM препоручује додиривање ивице само 2 пута после дефинисања равни.

### 3.2.7 Мерење одступања од референтног елемента (CAD)

Мерење референтних елемената захтева да је мерни пројекат већ трансформисан у координатном систему референтних података (CAD). Креирате одступање једним додиром објекта. Систем израчунава одступање на основу одговарајућег 3D положаја централне тачке мерне сфере и референтних података (најкраће растојање до референце). Да бисте извршили правилно мерење, правац прилажења и вектор нормале референце (нпр. CAD) мора бити у опсегу  $\pm 120^\circ$ .

## 3.3 Даљински управљач

Бежични даљински управљач омогућава мерење дела без коришћења тастатуре и миша.

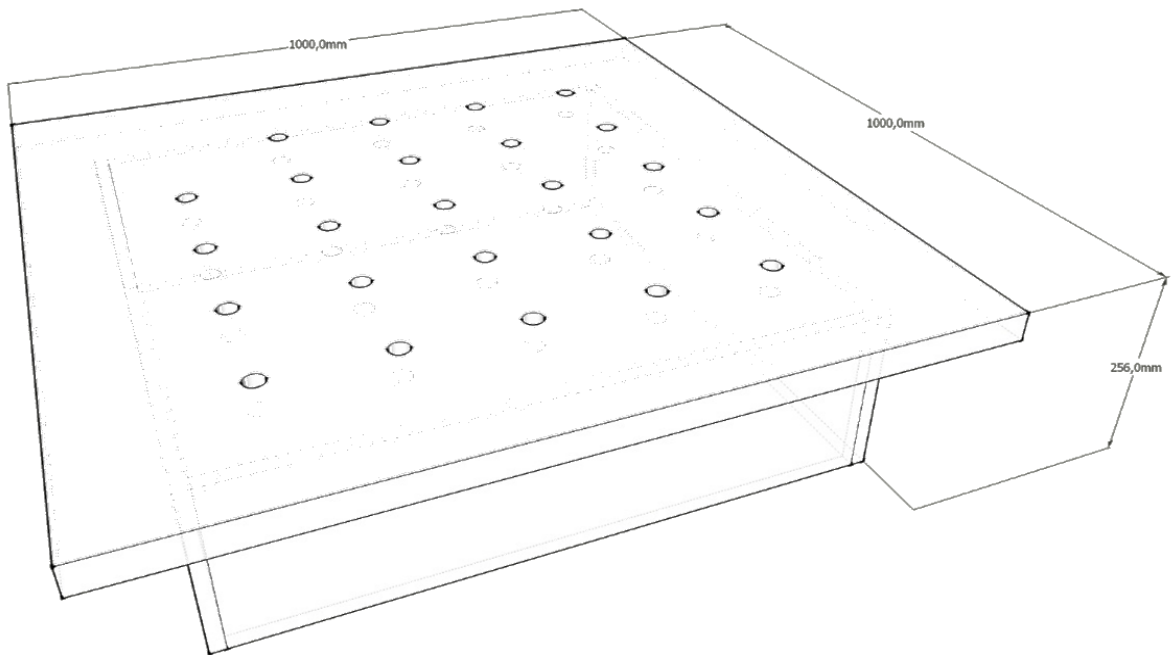
Објашњење основних функција даљинског управљача приказано је у табели 3.3.1.

Табела 3.3.1: Функције даљинског управљача мерног система GOM Touch Probe

|                                                                                     |                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Кратким притиском на тастер врши се сликање. Дужим притиском тастера се прелази са мерења равни на мерење следеће функције.                                               |
|  | Undo опција, поништава последње додирнуту тачку.                                                                                                                          |
|  | Кратким притиском на тастер врши се креирање нове референтне позиције. Дужим притиском тастера систем ротира и зумира мерни пипак у 3D приказу за што оптималнији приказ. |
|  | Кратким притиском тастера два пута се затвара дијалог                                                                                                                     |

## 4 Развој мерног окружења

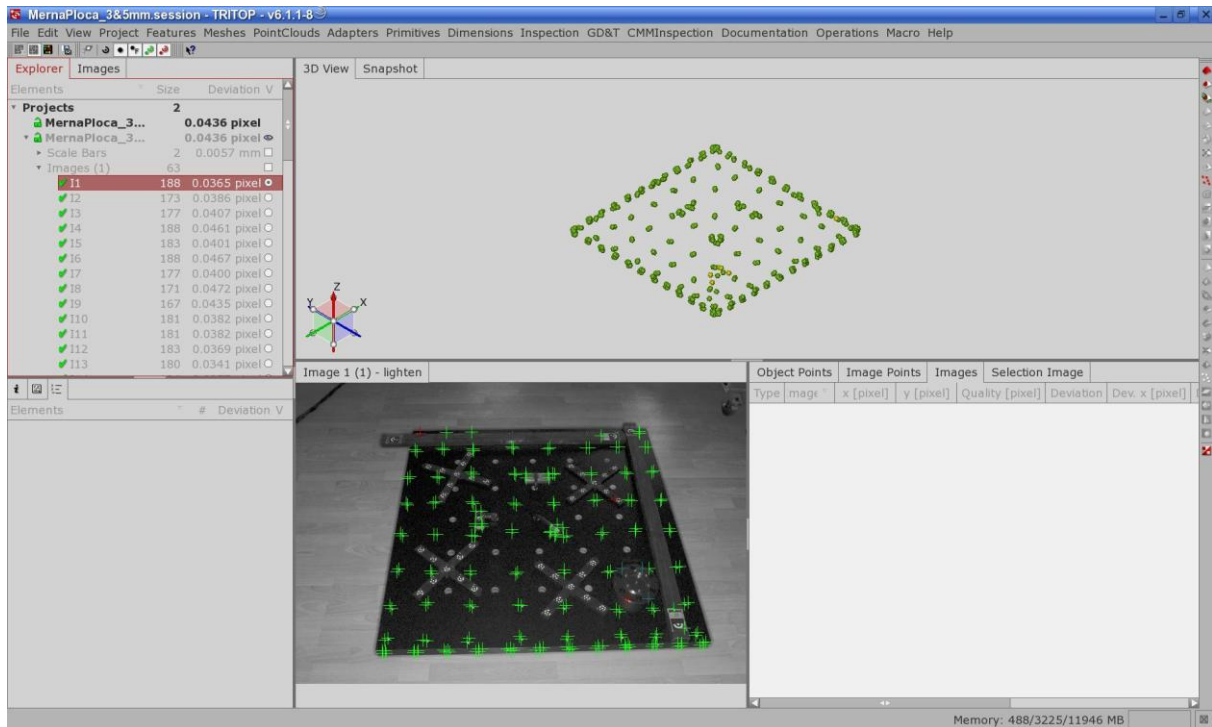
За потребе поређења резултата мерења израђен је мерни сто, димензија 1000x1000x256мм (слика 4.1). На горњој површини стола пробушене су рупе за потребе стезања објекта мерења. Мерни сто омогућава истовремено мерење мерним системима Faro Arm Platinum, GOM TRITOP, GOM TOUCH PROBE. За монтирање мерне руке Faro Arm Platinum на мерни сто је причвршћено постоље мерне руке. Да би било брзо и једноставно мерење мерним системом GOM Touch Probe на мерни сто су залепљене некодиране референтне тачке пречника 3 и 5 mm (Слика 4.2). Положај некодираних референтних тачака веома тачно је снимљен оптичким мерним системом GOM TRITOP (слика 4.3 ).



Слика 4.1: Мерни сто



Слика 4.2: Мерни сто са некодираним референтним тачкама



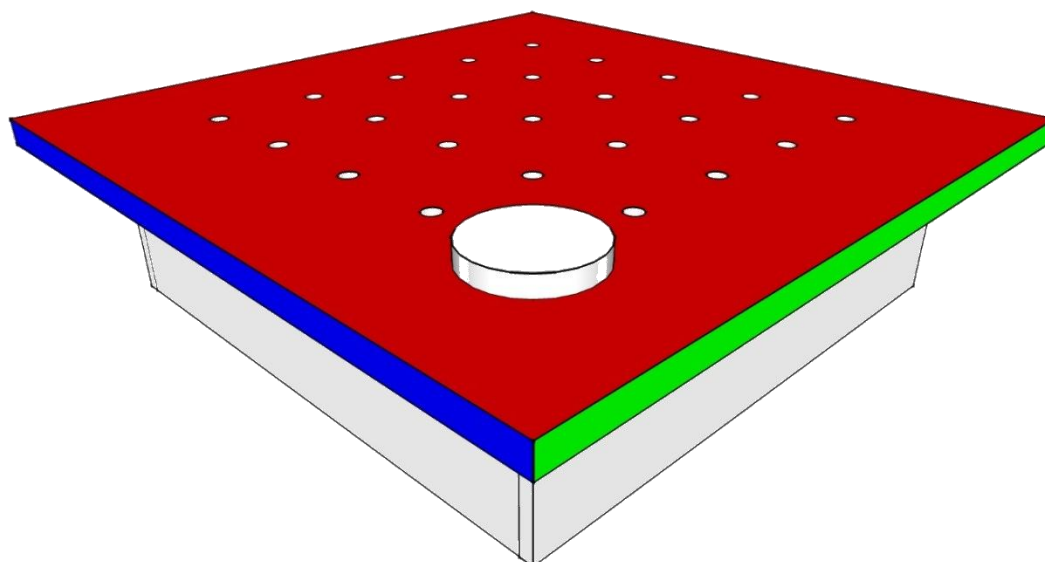
Слика 4.3: TRITOP пројекат са снимљеним положајима некодираних референтних тачака

Некодиране референтне тачке снимљене оптичким мерним системом TRITOP постављене су у произвољном координатном систему. Да би мерења била поредива потребно их је довести у заједнички координатни систем. Трансформација координатног система извршена према слици 4.4 коришћењем трансформације Plane, Line, Point (Слика 4.5)

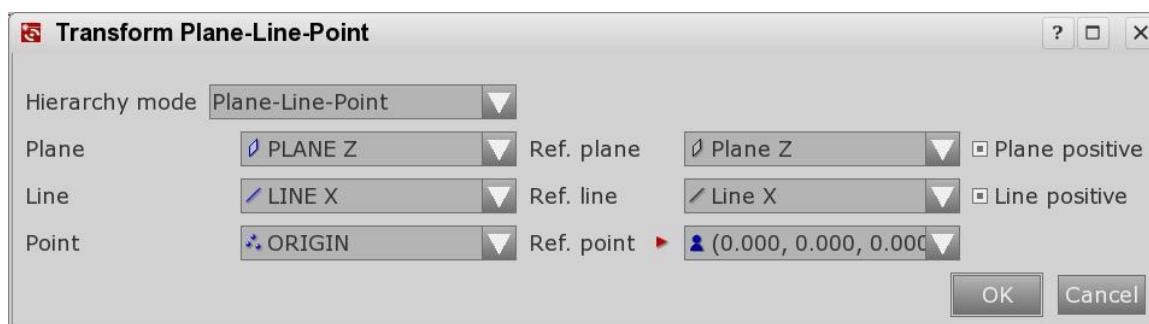
Некодиране референтне тачке из TRITOP пројекта извозе се у облику \*.ref датотеке (Слика 4.6) или у облику шаблона референтних тачака (\*.ref\_frame датотека) (слика 4.7). \*.Ref датотека садржи апсолутне положаје референтних тачака у одабраном координатном систему, док \*.ref\_frame датотека на основу температуре при којој се изводи мерење и коефицијента линеарног ширења материјала мерног стола коригује положај референтних тачака у односу на апсолутни положај сачуван у \*.ref датотеци.

При креирању новог пројекта у GOM ATOS систему потребно је одабрати опцију Reference points from template у дијалогу Define reference points и користити температуру калибрације ATOS сензора да би узели у обзир реалне мерне услове (слика 4.8). Сада смо у могућности да сензор мерног уређаја ATOS поставимо у произвољан положај у односу на мерни сто, при чему смо сигурни да ће сензор бити правилно оријентисан и да ће извршено мерење системом GOM Touch Probe бити тачно (Слика 4.9).

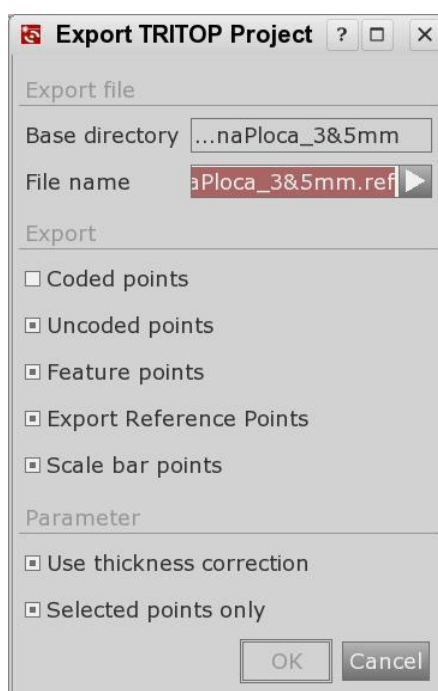
На основу овако дефинисаног мерног стола омогућено је да сва мерења на мерном столу системима GOM TRITOP и GOM Touch Probe буду изведена у заједничком координатном систему, а тиме и да резултати мерења буду међусобно поредиви.



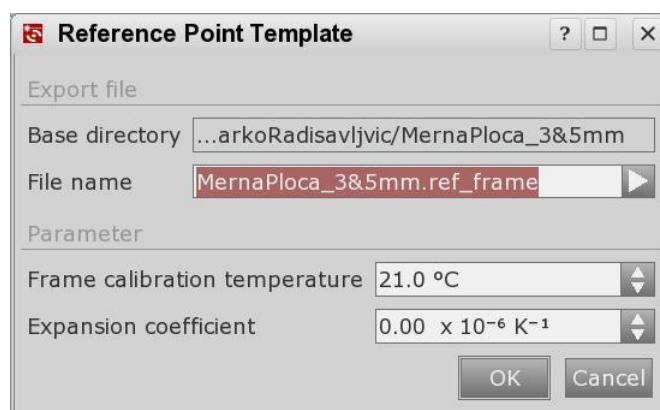
Слика 4.4: Равни мерног стола:  
Плава – Раван X, Зелена – Раван Y, Црвена – Раван Z



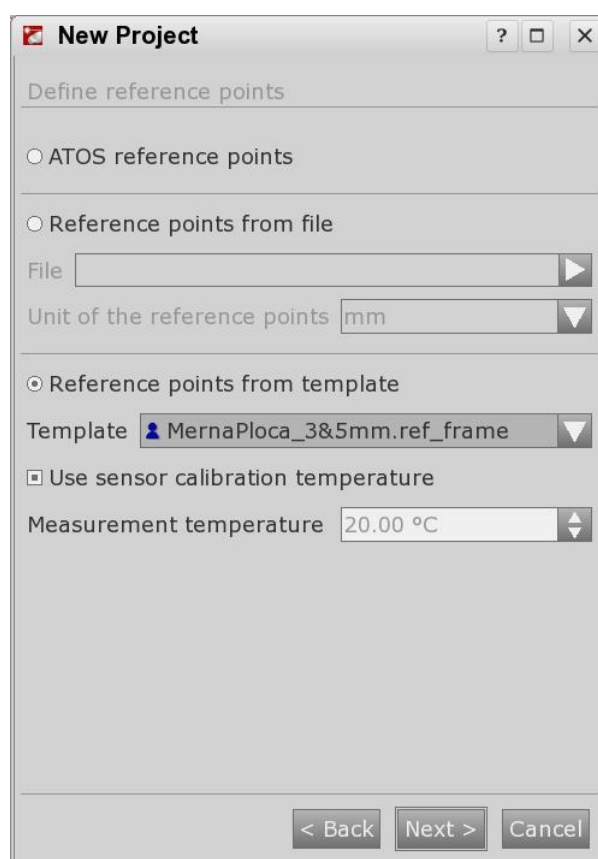
Слика 4.5: Трансформација Plane-Line-Point



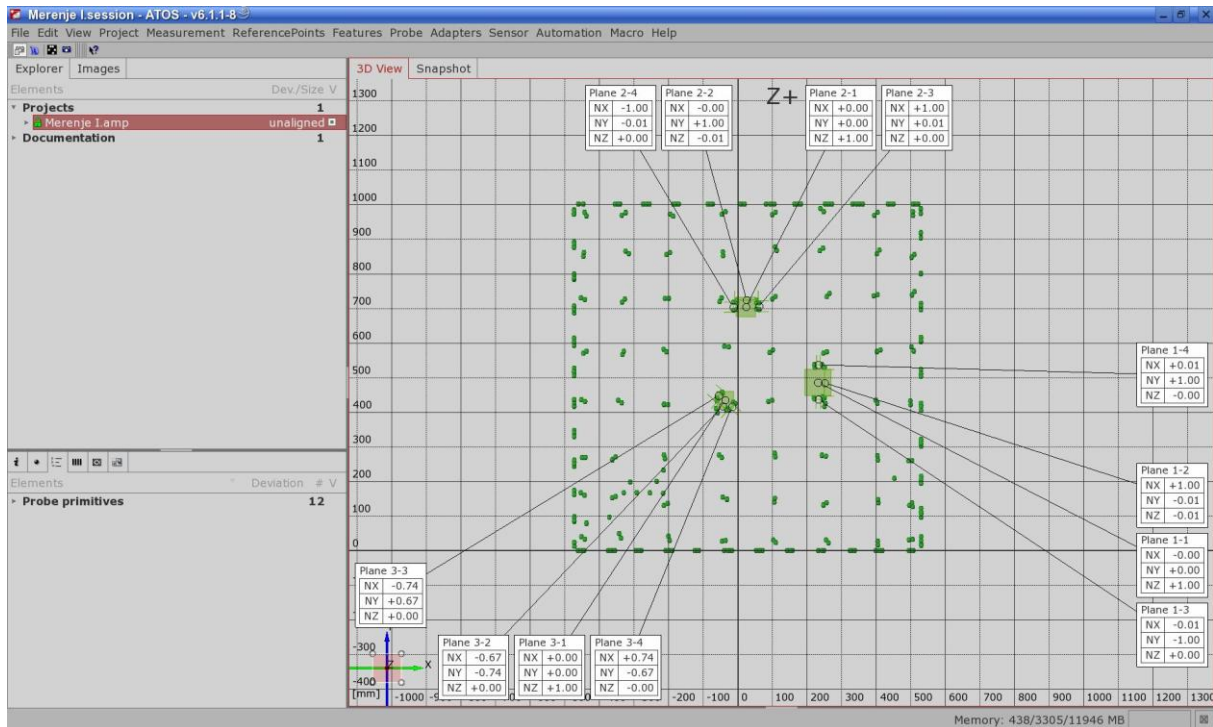
Слика 4.6: Дијалог за експортовање \*.ref датотеке



Слика 4.7: Дијалог за експортовање \*.ref\_frame датотеке



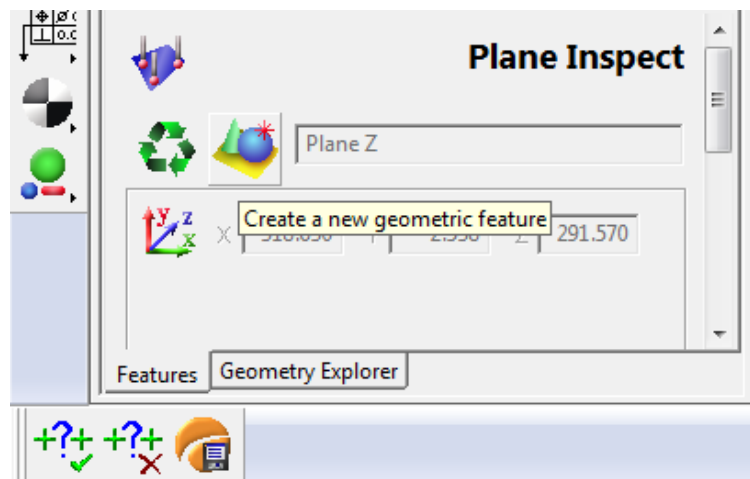
Слика 4.8: Дијалог Define reference points



Слика 4.9: Референтни шаблон у GOM Touch Probe систему

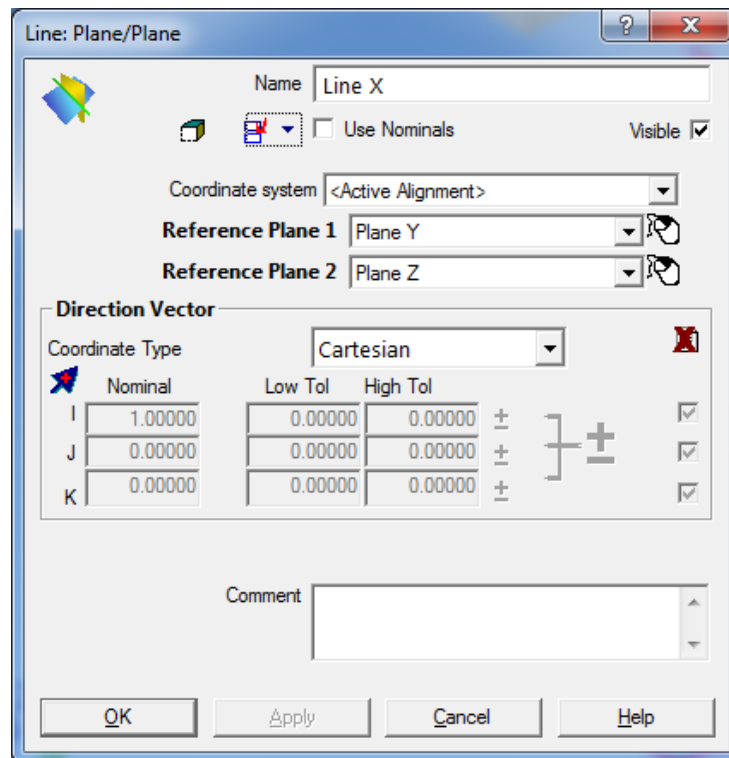
За креирање координатног система мерне руке FARO Arm Platinum креирана је геометријска група Coordinate System. У њој су креирани геометријски ентитети потребни за постављање референтног координатног система.

Прво је измерена раван мерног стола, тј. површина на којој се налази мерна рука (означено као Z раван) (слика 4.10). Кликом на Create a new geometric feature креирају се бочне равни мерног стола (Plane X и Plane Y) према слици 4.4



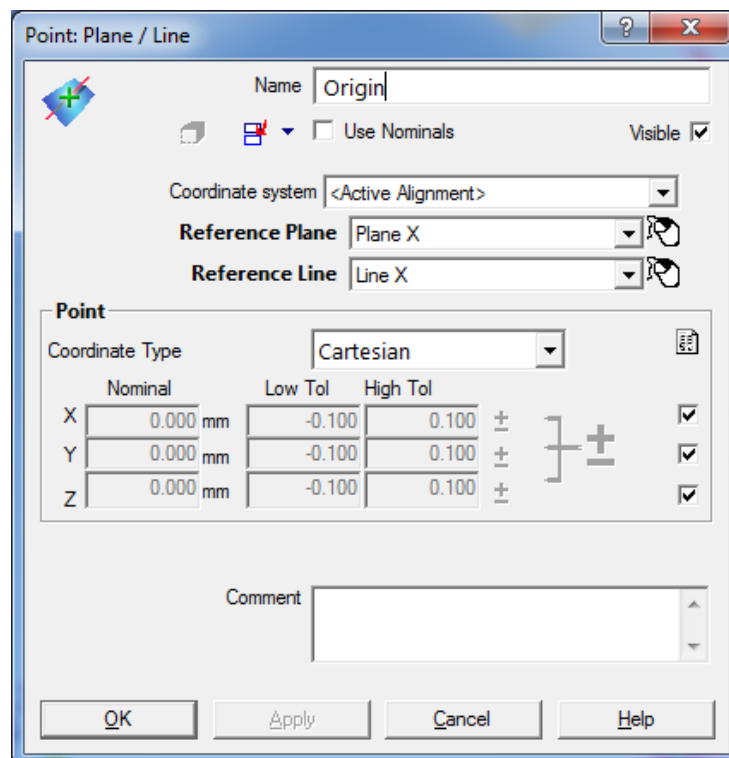
Слика 4.10: Креирање измерене равни

За геометријско ПЛП (plane-line-point) поравнање потребни су још линија и тачка. Линију (Line X) креирамо као пресек две равни, (Plane Z и Plane Y) (слика 4.11).



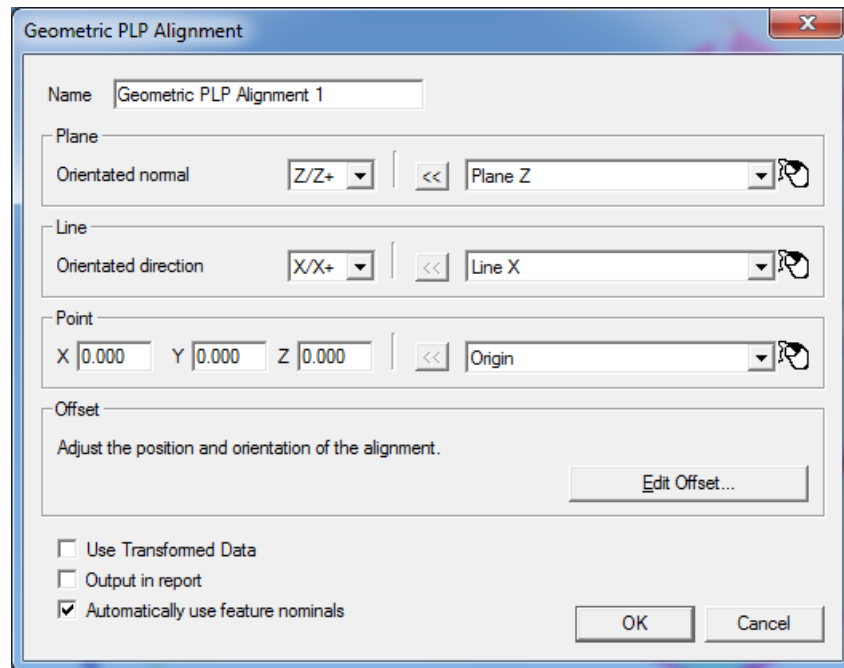
Слика 4.11: Креирање линије помоћу две равни

Креирање тачке потребне за трансформацију (Origin) врши се коришћењем линије Line X и равни Plane X (слика 4.12). Ово креира тачку у пресеку равни X и линије X, која ће бити координатни почетак.

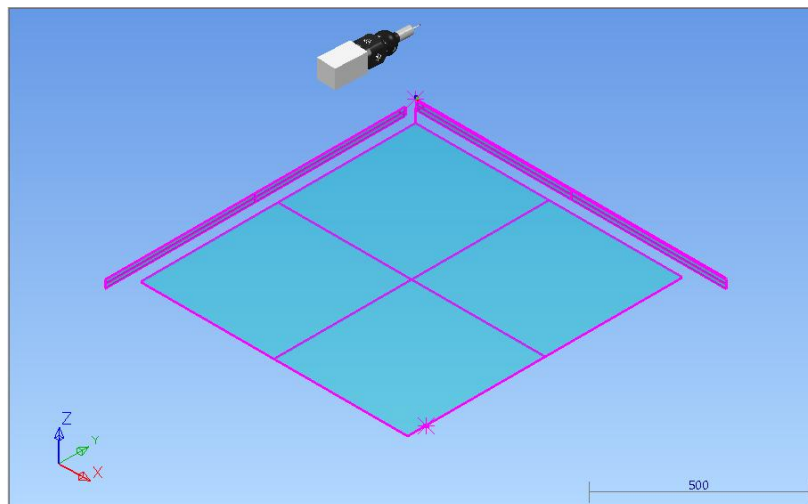


Слика 4.12: Креирање тачке помоћу равни и линије

Трансформација се врши коришћењем команде Alignments > Geometric PLP (слика 4.13). У одељку Plane, Oriented normal (оријентисана нормала) је Z/Z+ која указује да је позитиван смер Z осе исти као и правац вектора нормале равни, па треба одабрати раван са именом Plane Z. У одељку Line, Orientated direction (оријентисан правац) је X/X+ који указује да је позитиван смер X осе у правцу наведене линије, па треба одабрати линију Line X. У одељку Point треба одабрати Origin. На овај начин извршена је трансформација радног стола у жељени координатни систем (слика 4.14).



Слика 4.13: Креирање поравнања



Слика 4.14: Измерене равни

## 5 Поређење резултата мерења

Поређење резултата мерења извршено је на примеру паралелних граничних мерила која су веома тачно израђена и у задатим микро-климатским условима имају дефинисану дужину. Мерења су извршена мерним системима Faro Arm Platinum (типичан пример тактилног мерног система), GOM TRITOP (типичан пример оптичког мерног система) и GOM Touch Probe (типичан пример хибридног мерног система).

Мерена су паралелна гранична мерила номиналних дужина 100 mm (постављено у правцу осе X направљеног мерног стола, према захтевима VDI стандарда), 75 mm (правац осе Y) и 50 mm (произвољни правац у равни мерног стола). Упоредни приказ резултата мерења дужина паралелних граничних мерила дат је у табели 5.1. Упоредни приказ резултата мерења произвољне дужине, дефинисане положајем калибрационог конуса, дат је у табели 5.3.

*Табела 5.1: Упоредни приказ резултата мерења дужина паралелних граничних мерила*

| Номинална вредност | Помично кљунасто мерило | Faro Arm Platinum | GOM TRITOP | GOM Touch Probe |
|--------------------|-------------------------|-------------------|------------|-----------------|
| 50                 | 49.99                   | 49.900            | 49.990     | 49.942          |
| 75                 | 74.98                   | 75.010            | 75.007     | 74.995          |
| 100                | 99.99                   | 99.972            | 99.986     | 99.949          |

Одступања измерених од номиналних вредности дужина паралелних граничних мерила дата су у табели 5.2.

*Табела 5.2: Одступање измерених од номиналних вредности дужина паралелних граничних мерила*

| Номинална вредност | Помично кљунасто мерило | Faro Arm Platinum | GOM TRITOP | GOM Touch Probe |
|--------------------|-------------------------|-------------------|------------|-----------------|
| 50                 | -0.010                  | -0.100            | -0.010     | -0.058          |
| 75                 | -0.020                  | 0.010             | 0.007      | -0.005          |
| 100                | -0.010                  | -0.028            | -0.014     | -0.051          |

*Табела 5.3: Упоредни приказ резултата мерења произвољне дужине*

| Координата             | Faro Arm Platinum | GOM TRITOP | GOM Touch Probe |
|------------------------|-------------------|------------|-----------------|
| X                      | 931.891           | 931.972    | 931.955         |
| Y                      | 967.066           | 968.198    | 968.170         |
| $\overline{X^2 + Y^2}$ | 1342.996          | 1343.867   | 1343.835        |

*Табела 5.4: Одступање вредности дужина измерених мерним системима Faro Arm Platinum и GOM Touch Probe у односу на вредност измерену мерним системом GOM TRITOP*

| Координата             | Faro Arm Platinum | GOM TRITOP | GOM Touch Probe |
|------------------------|-------------------|------------|-----------------|
| X                      | -0.081            | 0.000      | -0.017          |
| Y                      | -1.132            | 0.000      | -0.028          |
| $\overline{X^2 + Y^2}$ | -0.872            | 0.000      | -0.032          |

На основу података приказаних у табели 5.2 видимо да највеће одступање од 0.1 mm има мерна рука Faro Arm Platinum на дужини од 50 mm. Остале дужине мерене мерном руком се поклапају са тачношћу декларисаном од стране произвођача. Максимално одступање измерене дужине од номиналне вредности паралелних граничних мерила мерним системом GOM TRITOP износи 0.01mm на дужини од 100mm. Максимално одступање измерене дужине од номиналне вредности паралелних граничних мерила мерним системом GOM Touch Probe износи 0.058 mm на дужини од 50 mm.

Испитивана је и грешка мерења при већим мерним дужинама. Пошто је калибрацијски конус постављен случајним стезањем на мерном столу, као референтна тачна вредност узета је вредност дужине измерена мерним системом GOM TRITOP. Овај мерни систем се показао као веома тачан и веома поуздан при мерењу дужина [11]. На дужини од око 1342 mm мерна рука Faro Arm Platinum прави веома велику грешку, док GOM Touch Probe прави занемарљиву грешку.

## 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. 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. Преносне координатно мерне машине користе енкодере за мерење положаја центра сфере мерног пипка у тродимензионалном простору. Контакт се остварује путем сфере мерног пипка, узима се мерно место и софтвер израчунава положај контактне тачке у простору са тачношћу од 5 микрона. Њихов главни недостатаци су велики број механичких делова и ограничен дијапазон дужинских мера које је могуће мерити (машински делови малих габарита, до 2 m).

Оптичке мерне методе решиле су (донекле) оба проблема. Због тога што не постоје покретни и/или механички делови, одржавање ових система сведено је на минимум, а погодне су за мерење објеката величине до неколико десетина метара (бродови, авиони, кранови).

Хибридне мерне методе, користећи добре стране и оптичких и тактилних мерних метода, веома добро покривају и мање и велике габарите објеката мерења са задовољавајућом тачношћу. Посебно је значајно што омогућавају и мерење дужина између тачака које нису оптички видљиве или су недоступне пипцима мерних рука. То је омогућено креирањем такозваних кориснички дефинисаних Touch Probe-а које могу имати било какав произвољни облик. Једино ограничење је могућност калибрације такве пробе.

Мерење приказано у овом раду, на жалост, није извршено у контролисаним микроклиматским условима (влажност, температура). Тиме се може оправдати што мерна рука Faro Arm Platinum прави нешто већу грешку у односу на остале коришћене мерне системе. 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. Аутор рада је имао прилику да изврши контролу квалитета великих зупчаника коришћењем ове мерне руке и фабричког софтвера CAM2Measure 1.0. Тада је закључено да је интерферјс софтвера лош и да треба наћи бољу алтернативу која може да ради са овим уређајем. Одлучио се за софтвер PowerINSPECT 2012 R2 и описао његово коришћење у овом раду.

Поред наведеног, следећи велики допринос је што је по први пут на српском језику направљено упутство за коришћење мерног система GOM Touch Probe и мерни резултати поређени са системима који се увелико користе у Лабораторији за инжењерски софтвер Факултета инжењерских наука. Максимална грешка мерења овим мерним системом износи 0.06mm, али и она може бити резултат лоших микроклиматских услова и калибрације која не одговара условима мерења (на пример услед промене температуре током дана).

Хибридне мерне методе, каква је GOM Touch Probe, омогућава едукацију без опасности да кандидати оштете мерне уређаје јер нису у физичком контакту са

осетљивим и скупим елементима мерних система. Са том намером је и прављен мерни сто, омогућавајући студентима да на вежбама “осете” мерење координатним мерним машинама.

## Литература

- [1] <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/dokumenti/katedra0155/Merenje%20i%20kvalitet/Prvi%20kolokvijum/>
- [2] Milan Blagojević, Miroslav Živković, 3D Deformation Measurement of Car Body parts Based on Point Cloud Generated by Optical Measuring Techniques, International Congress Motor Vehicles & Motors 2012 – MVM2012, Kragujevac, Serbia, 2012 October 3rd-5th, pp. 326-333, ISBN 978-86-8663-91-7
- [3] Milan Blagojević, Miroslav Živković, Aleksandar Nikolić, The Influence of the DSLR Camera Shutter Count on the Accuracy of the Photogrammetric Measurement, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Application – COMETA 2012 Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2012, November 28th-30th, pp. 601-606, ISBN 978-99938-655-5-1
- [4] Milan Blagojević, Miroslav Živković, Ana Pavlovic, Quality Control of Contour Verifies Using Photogrammetric Measuring Systems, 34th International Conference on Product Engineering, Niš, Serbia, 2011, September 28th-30th, pp. 139-142, ISBN 978-86-6055-019-6
- [5] Blagojević Milan, Primena optičkih mernih sistema u modeliranju i simulaciji, Diplomski rad, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2009
- [6] Blagojević Milan, Merenje deformacija optičkim mernim metodama, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2011
- [7] TRITOP, User Manual – Software, TRITOP v6.1, GOM mbH, 2008
- [8] IVVIEW, User Manual – Real-Time Sensor, Real-Time Sensor as of v6.1, GOM mbH, 2008
- [9] PowerINSPECT 2012R2, User Manual – Software, Delcam, 2012
- [10] Milan Blagojević, Dragan Rakić, Miroslav Živković, Zoran Bogdanović, Optička koordinatna merenja delova i sklopova u automobilske industriji, XVI konferencija YU INFO 2010, Kopaonik, 2010, March 3rd-6th, ISBN 978-86-85525-05-6
- [11] Милан Хрњак, Поређење тачности савремених бесконтактних и контактних мерних метода за мерење дужине, Завршни рад, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2013