

**OSNOVNI PRINCIPI KOORDINATNE MERNE  
TEHNIKE  
KALIBRACIJA I VERIFIKACIJA MERNOG PIPKA**

**V. prof. dr Miodrag Hadžistević**

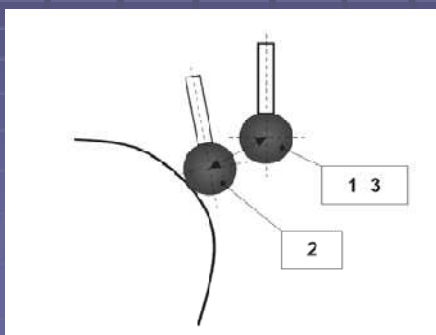
**UVOD**

**KONVENCIONALNO MERENJE**

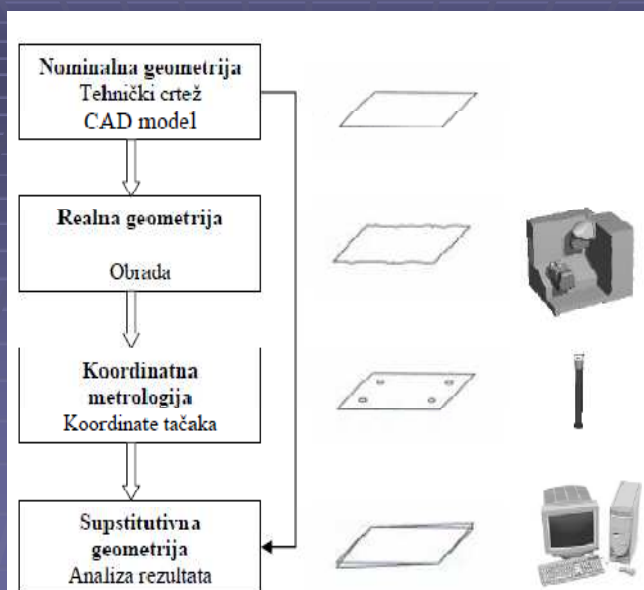
**KOORDINATNO MERENJE**

## MERENJE „TAČKA PO TAČKA“

Merenje „tačka po tačka“ predstavlja brzo i idealno rešenje za merenje obeležja kojima je neophodno proveriti dimenziju i položaj. Sensorima „tačka po tačka“ je moguće odrediti i odstupanja od oblika, mada se analiza oblika bolje i efikasnije ostvaruje kontinualnim sensorima. Merenjem tačka po tačka određuje se položaj tačaka dovođenjem vrha pipka u kontakt sa predmetom.



## OSNOVNI PRINCIPI KOORDINATNE METROLOGIJE



## OSNOVNI PRINCIPI KOORDINATNE METROLOGIJE

Nominalna geometrija se definiše tehničkim crtežom ili CAD modelom.

Realna geometrija je stvaran oblik proizvedenog predmeta. Koordinatna metrologija omogućava merenje koordinata tačaka sa površine predmeta. Supstitutivna geometrija se dobija na osnovu izmerenih tačaka aproksimacijom. Supstitutivna geometrija se tada poredi sa nominalnom. Kada elemente nije moguće aproksimirati osnovnim matematičkim oblicima, izmerene tačke se direktno poredi sa nominalnom geometrijom uz upotrebu metoda CAD inspekcije. Ovo je slučaj kod CAD modela koji sadrže složene površine.

Odstupanja od dužina, oblika i položaja se dobijaju poređenjem nominalne i supstitutivne geometrije.

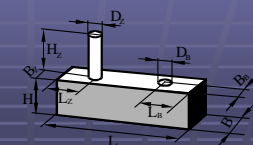
## OSNOVNI PRINCIPI KOORDINATNE METROLOGIJE

Metodologija koordinatne metrologije se može definisati kao:

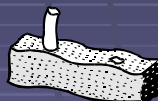
- ✓ geometrijske osobine predmeta se mere u određenim mernim tačkama korišćenjem koordinatnog mernog uređaja,
- ✓ koordinate mernih tačaka se koriste za dobijanje matematičkog modela predmeta koji se naziva supstitutivna geometrija,
- ✓ nominalna geometrija se poredi sa supstitutivnom i dolazi se do informacija o odstupanjima.

## OSNOVNI PRINCIPI KOORDINATNE METROLOGIJE

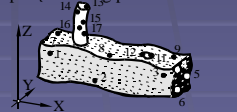
a) Model nemog predmeta



b) Stvarni oblik nemog predmeta



c) Raspored mernih ta-aka na površini nemog predmeta



d) Izmerene vrednosti koordinata mernih ta-aka

$$P_1(x_1, y_1, z_1) = (23, 7, 41)$$

$$P_2(x_2, y_2, z_2) = (64, 6, 22)$$

$$P_3(x_3, y_3, z_3) = (95, 8, 40)$$

$$P_4(x_4, y_4, z_4) = (108, 12, 39)$$

$$P_5(x_5, y_5, z_5) = (109, 34, 31)$$

$$P_6(x_6, y_6, z_6) = (107, 13, 24)$$

• • • • •

e) Numerička slika modela nemog predmeta

x	T
L = 98	- 2
B = 30	+ 3
H = 28	- 1
L <sub>z</sub> = 25	+ 0.5
B <sub>z</sub> = 15	+ 1
H <sub>x</sub> = 33	- 5
D <sub>z</sub> = 9	- 1
L <sub>z</sub> = 23	+ 0.5
B <sub>z</sub> = 15	+ 1
D <sub>z</sub> = 10	+ 2

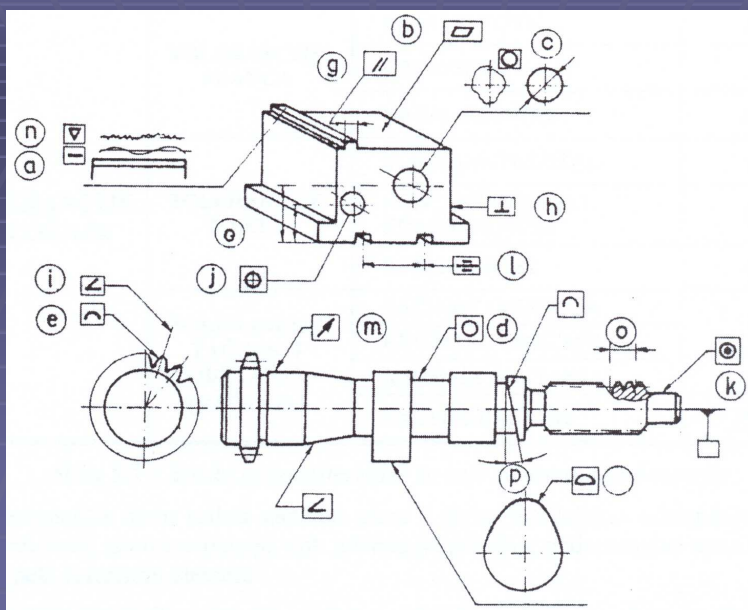
f) Stvarna slika modela nemog predmeta

x	T
L' = 99	
B' = 34	
H' = 26	
L' <sub>z</sub> = 24	
B' <sub>z</sub> = 15	
H' <sub>x</sub> = 30	
D' <sub>z</sub> = 10	
L' <sub>z</sub> = 23	
B' <sub>z</sub> = 14	
D' <sub>z</sub> = 11	

















g) Uspoređivanje numeričke i stvarne slike modela

x	Δx > T?
ΔL = +1	Da
ΔB = +4	Da
ΔH = -2	Da
ΔL <sub>z</sub> = -1	Da
ΔB <sub>z</sub> = 0	Ne
ΔH <sub>x</sub> = -3	Ne
ΔD <sub>z</sub> = +1	Da
ΔL' <sub>z</sub> = 0	Ne
ΔB' <sub>z</sub> = -1	Ne
ΔD' <sub>z</sub> = +1	Ne

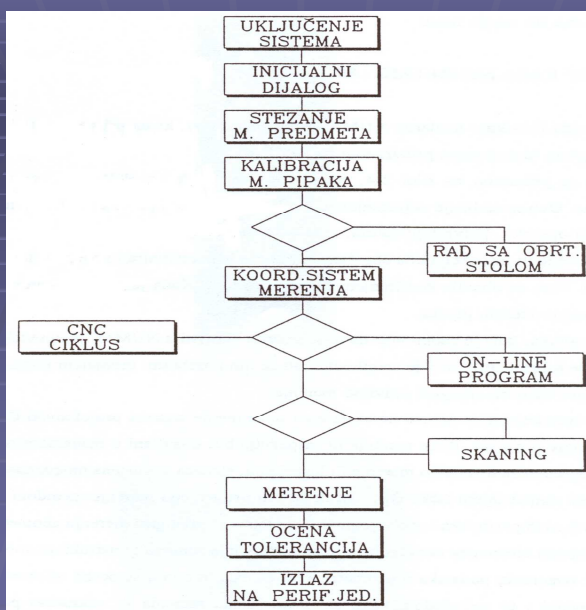
## MERNO KONTROLNI ZADACI



## MERNO KONTROLNI ZADACI

<b>TOLERANCIJE MERA</b>		DUŽINE	
		UGLOVI	
<b>TOLERANCIJE OBLIKA</b>		PRAVOST	
		RAVNOST	
		KRUŽNOST	
		CILINDRIČNOST	
		OBLIK LINIJE	
		OBLIK POVRŠINE	
<b>TOLERANCIJE POLOŽAJA</b>	<b>TOLERANCIJE PRAVCA</b>	PARALELNOST	
		UPRAVNOST	
		NAGIB (KOSINA)	
	<b>TOLERANCIJE MESTA</b>	LOKACIJA (POLOŽAJ)	
		KONCENTRIČNOST I KOAKSIJALNOST	
		SIMETRIČNOST	
	<b>TOLERANCIJE TAČNOSTI OBRATANJA (BACANJA)</b>	TAČNOST OBRATANJA	
		KRUŽNOST OBRATANJA	
		RAVNOST OBRATANJA	
		UKUPNO BACANJE	

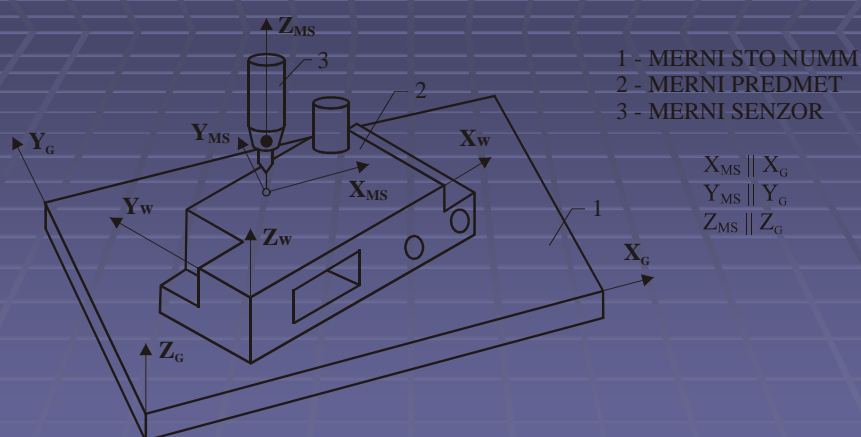
## ALGORITAM RADA



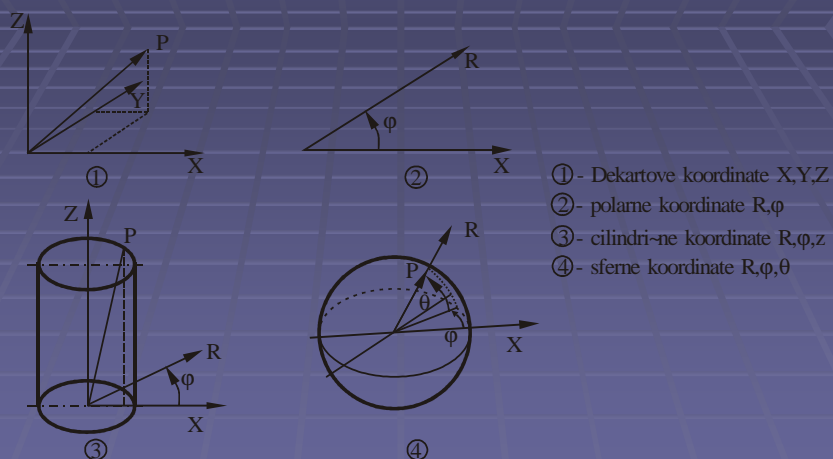
## KOORDINATNI SISTEMI

Koordinatni sistem merne mašine se definiše preko koordinatnog sistema mernog stola, koji predstavlja referentni koordinatni sistem, i njegove vrednosti predstavljaju merne opsege osa merne mašine. Merni predmet ima dva koordinatna sistema: uravnavanja i merenja. Prvi od njih, vrši uspostavljanje veze između koordinatnog sistema merne mašine i mernog predmeta. Drugi koordinatni sistem mernog predmeta, daje veze između metroloških zadataka na njemu i drugih koordinatnih sistema (mašine i mernog senzora). Najzad, koordinatni sistem mernog senzora, uspostavlja vezu između generisane koordinate osnovnog geometrijskog oblika, metrološkog zadatka i ostalih koordinatnih sistema mašine i mernog predmeta.

## KOORDINATNI SISTEMI



## KOORDINATNI SISTEMI



## KOORDINATNI SISTEMI

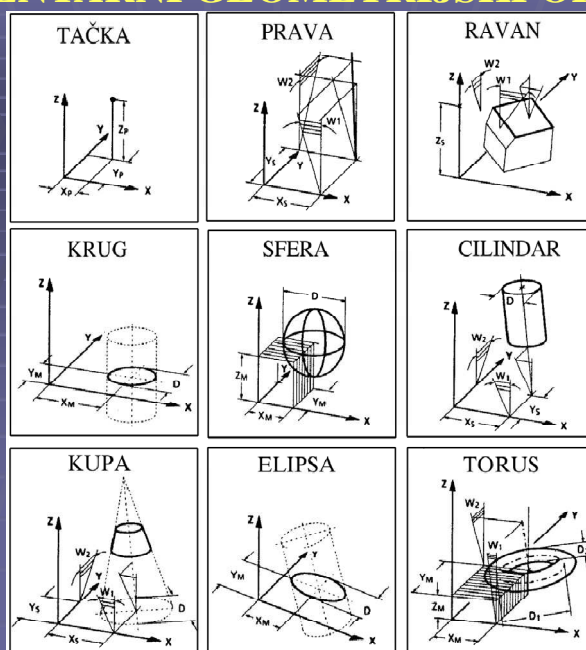
Kartezijev koordinatni sistem	Cilindrični koordinatni sistem	Sferni koordinatni sistem
<p><math>P(X_c, Y_c, Z_c)</math></p>	<p><math>P(R_z, \varphi_z, Z_z)</math></p>	<p><math>P(R_k, \varphi_k, \theta_k)</math></p>

## ELEMENTARNI GEOMETRIJSKI OBLICI

Merni predmeti čije se merenje ili inspekcija vrši na NUMM, određeni su idealnom (nominalnom) i realnom geometrijom. Idealna geometrija je definisana tehničkim crtežom ili CAD modelom mernog predmeta, a sa aspekta praktične primene (modeliranja, projektovanja, planiranja), ona se opisuje: tačkom, pravom, krugom, ravni, sferom, cilindrom, kupom, elipsom i torusom. Ovi elementarni geometrijski oblici se prepoznavaju na osnovu uzetih broja tačaka koje su generisane na mernom predmetu

KARAKTERISTIKA (ELEMENTARNI GEOMETRIJSKI OBLIK)	MINIMALNI BROJ TAČAKA
TAČKA	1
PRAVA	2
KRUG	3
RAVAN	3
ELIPSA	4
SFERA	4
CILINDAR	5
KUPA	6
TORUS	7

## ELEMENTARNI GEOMETRIJSKI OBLICI



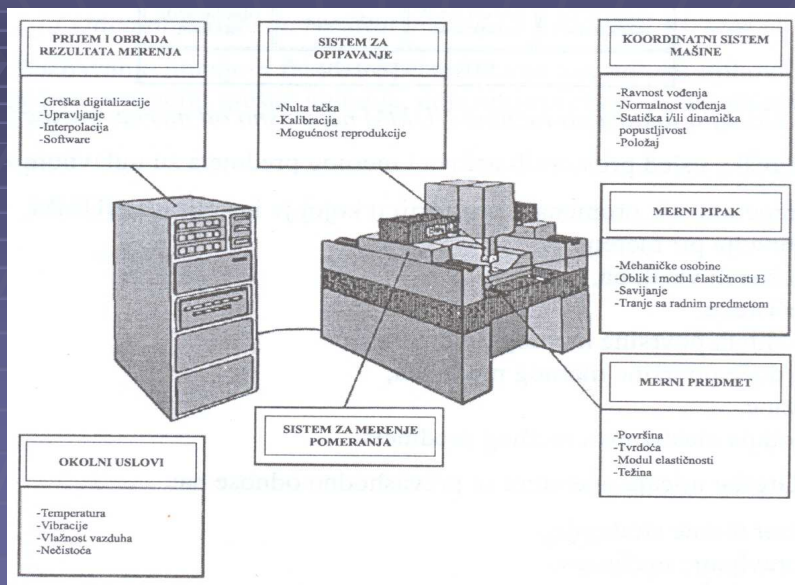


## KALIBRACIJA I VERIFIKACIJA

Kalibracija je skup postupaka kojima se, u određenim uslovima, uspostavlja odnos između vrednosti veličina koje pokazuje merilo ili merni sistem ili vrednosti koje predstavlja materijalizovana mera ili referentni materijal, i odgovarajućih vrednosti ostvarenih etalonima.

Verifikacija je proces dokazivanja istine ili neke tvrdnje, postavke, hipoteze i sl. Izvodi se na više načina od kojih su eksperimentalni dokazi najvalidniji. Za verifikaciju bi najjednostavnije mogli reći da je potvrda o valjanosti predhodno izvršene kalibracije.

## IZVORI GREŠAKA MERENJA KOD KMM

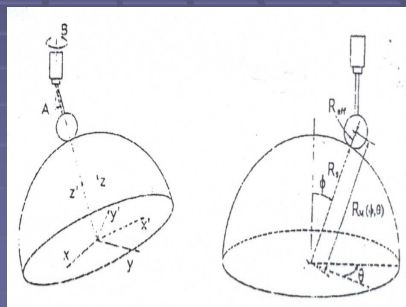
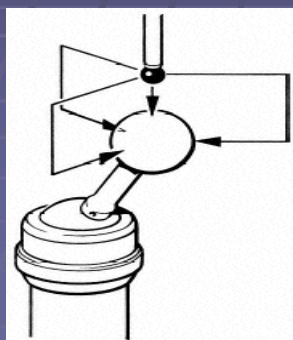


## KALIBRACIJA I VERIFIKACIJA MERNOG PIPKA NA NUMM

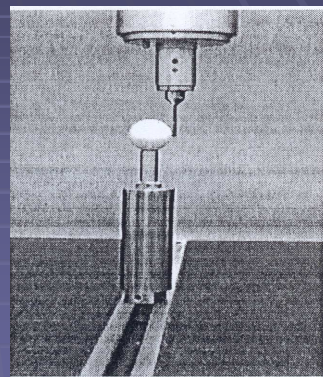
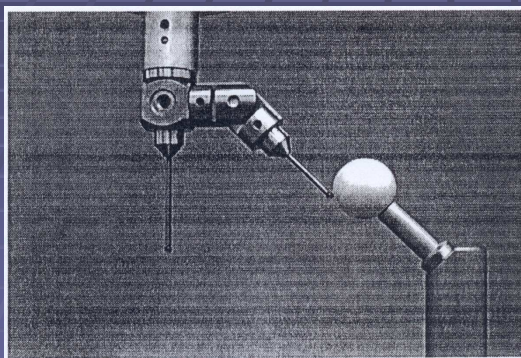
- Kalibracija i verifikacija su dve fundamentalne aktivnosti kod upravljanja sensorima i ciklusom merenja u celini,
- Kada je definisan merni senzor on mora biti kalibrisan. Kalibracija predstavlja postupak definisanja koordinatnog sistema mernog senzora kao i memorisanje podataka o svakom mernom pipku ponaosob.
- Kalibraciji mernog senzora mora da predhodi utvrđivanje merne sile. Pravilan izbor merne sile je jako važan za statičku krutost sistema mernog senzora.

## KALIBRACIJA I VERIFIKACIJA MERNOG PIPKA NA NUMM

- Kada se završi kalibracija, može se izvršiti verifikacija senzora. Merenjem prethodno kalibrisanog etalona automatski se određuju korekcije pipka (dužine i radijus).



## KALIBRACIJA I VERIFIKACIJA MERNOG PIPKA NA NUMM

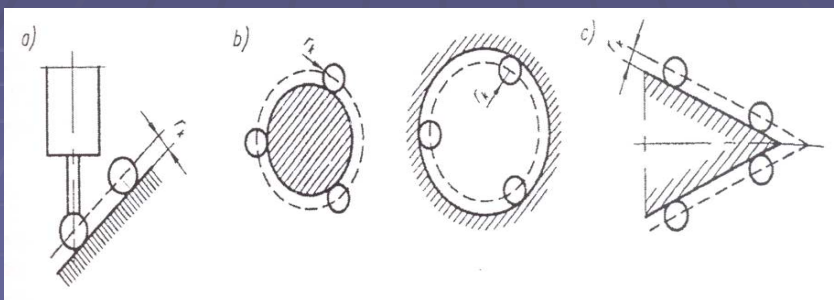


## KALIBRACIJA I VERIFIKACIJA MERNOG PIPKA NA NUMM

Softver za kalibraciju mernog senzora se koristi za definisanje efektivnog radijusa mernog senzora. Kompenzacija radijusa mernog senzora je uračunata pri određivanju dimenzija.

Princip kompenzacije je sledeći:

- linije i ravne površine su pomerene u pravcu normale na radijus vrha mernog pipka,
- za krug, sferu i cilindar: njihov radijus se povećava, ili smanjuje u pravcu normale na radijus vrha mernog pipka,
- za torus: radijus cevi se povećava, ili smanjuje za vrednost radijusa vrha mernog pipka, i
- za konuse: vrh se pomera u pravcu ose.



## NUMM "CARL ZEISS CONTURA G2 AKTIV"



Koristi se za precizno merenje, inspekciju kao i za 3D-digitalizaciju elemenata složene konfiguracije. Mašina radi sa visoko – brzinskom skenirajućom tehnologijom.

## POSTUPAK KALIBRACIJE I VERIFIKACIJE NA "carl zeiss CONTURA G2 aktiv"

Merni pipak se mora kalibrirati:

- u slučaju da smo instalirali novi merni pipak koji još nije kalibriran,
- ako želimo da ponovo reverifikujemo sistem mernih pipaka npr. posle promene temperature u radnom prostoru mašine.

Definition of limit values during CNC qualification

Monitoring criterion	Minimum	Maximum	Active
Probe Vector X	0.1000	0.1000	<input type="checkbox"/>
Probe Vector Y	0.1000	0.1000	<input type="checkbox"/>
Probe Vector Z	0.1000	0.1000	<input type="checkbox"/>
Temperature Difference for Justification	-2.0000	3.0000	<input type="checkbox"/>
Radius	0.1000	0.1000	<input type="checkbox"/>

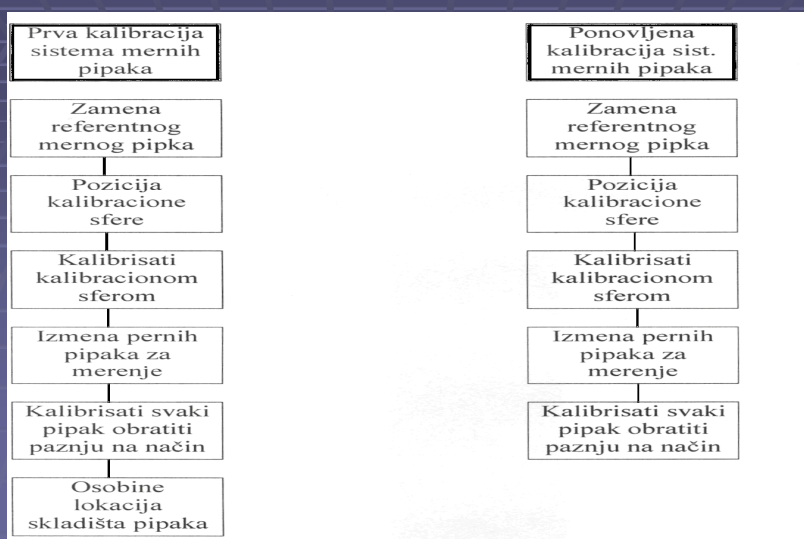
Sigma: 0.01

Maximum permissible time since last qualification, Days: 30 Hours: 12

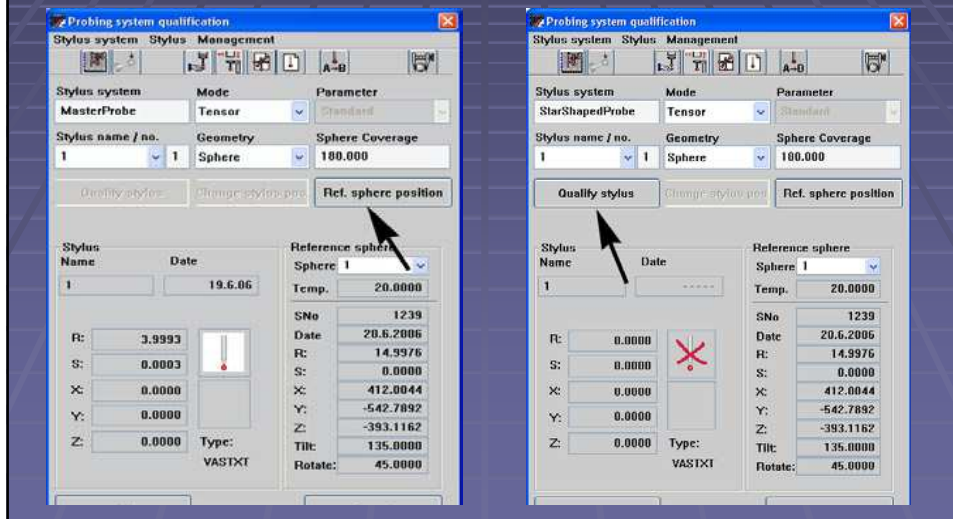
Maximum number of qualifications: 1

OK Cancel

## POSTUPAK KALIBRACIJE I VERIFIKACIJE NA "carl zeiss CONTURA G2 aktiv"



Za startovanje procesa kalibracije prvo je potrebno odabrati ikonicu Stylus system na listi preduslova softvera Calypso i otvoriće se prozor Probing system qualification



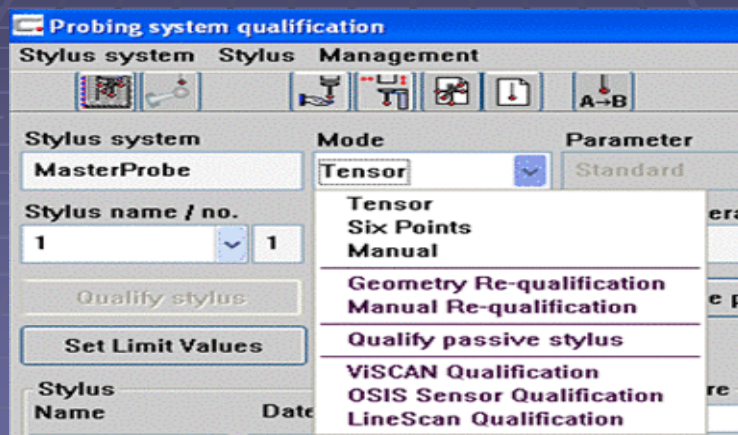
## REZULTATI KALIBRACIJE

Standardna devijacija najviše zavisi od sledećih faktora:

- Rezolucija i tačnost NUMM,
- Dužine i krutosti mernih pipaka,
- Kvalitet sistema mernog senzora,
- Čistoće i okoline.

## METODE KALIBRACIJE

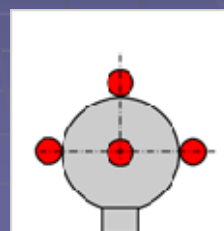
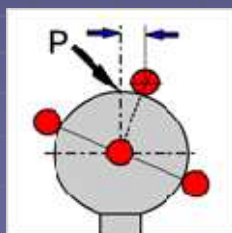
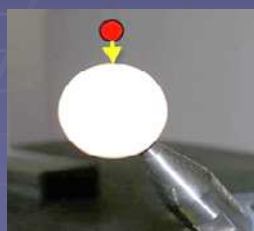
Kada želimo da kalibrišemo merni pipak imamo opciju da odaberemo različite metode kalibracije u opciji Mode.



## METODE KALIBRACIJE

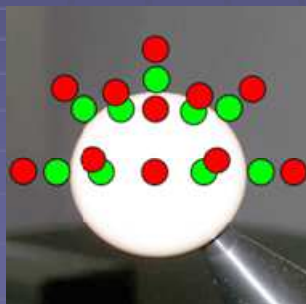
### METODA 6 TAČKA

Ova metoda je standardna za prebacivanje mernih glava. Koristi se za početno određivanje geometrije mernog senzora. Može da se koristi za sve merne glave sa sferno oblikovanim krajevima mernog pipka. Nije pogodno za veoma kratke merne pipke i posebne kombinacije mernih pipaka (npr. iskošene konstrukcije). Za određivanje pozicije se koriste četiri tačke, a zatim šest tačaka za proces kalibracije.



## METODE KALIBRACIJE

Ova metoda je standardna metoda za merenje mernim sensorima. Kod ove metode se određuje jedan statički tenzor. Tenzor ukazuje savijanje mernog pipka u odnosu na primenjenu snagu. Vršiti se ukupno 30 opipavanja na 15 tačaka sfere. Ovde, svaka tačka se meri dva puta i to svaki put sa različito primenjenom silom. Statički tenzor proizilazi iz te razlike između obavljenih merenja.



## METODE KALIBRACIJE

### RUČNA METODA

Koristi se samo ako automatska kalibracija (npr. zbog geometrije osovine) nije moguća. Takođe se koristi za kalibraciju temperature mernog pipka ili za početnu kalibraciju cilindra mernog pipka. Kod ove metode tačke koje su potrebne za kalibraciju uzima proizvoljno operater na mašini. Ovde, prva uzeta tačka određuje pravac kretanja mernog pipka. Naknadno uzimanje tačaka se koristi za izračunavanje geometrije mernog pipka. (rezultati su stoga mogućí posle petog uzimanja tačaka).



## METODE KALIBRACIJE

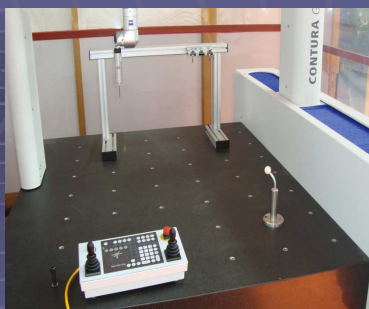
### GEOMETRIJSKI PONOVLJENA KALIBRACIJA

Koristi se za naknadno definisanje geometrije mernog pipka ako je bilo promena neželjenih promena u toku rada same NUMM. Predhodno definisani statički tenzor ostaje jer to se obično ne menja. Princip kalibracije ovom metodom je sličan metodi 6 tačaka.

### RUČNO PONOVLJENA KALIBRACIJA

Ponovljena ručna kalibracija se koristi ako automatski ponovljena kalibracija nije moguća. Koristi se isti princip kao kod ručne metode. Međutim, determinacija se vrši u načinu "ne pričvstiti stegom, ne stisnuti"(postoji važeći tenzor, koji nije izbrisan).

## KALIBRACIONA KUGLA



**HVALA NA PAŽNJI!!!**