

**Tehnološki merni sistemi – trinaesta  
nastavna jedinica / Numerički upravljane  
merne mašine (NUMM)**

**Prof. dr Vidosav D. Majstorović,  
dipl.maš.inž.**

**Mašinski fakultet u Beogradu**



# Numerički upravljane merne mašine - osnovne definicije

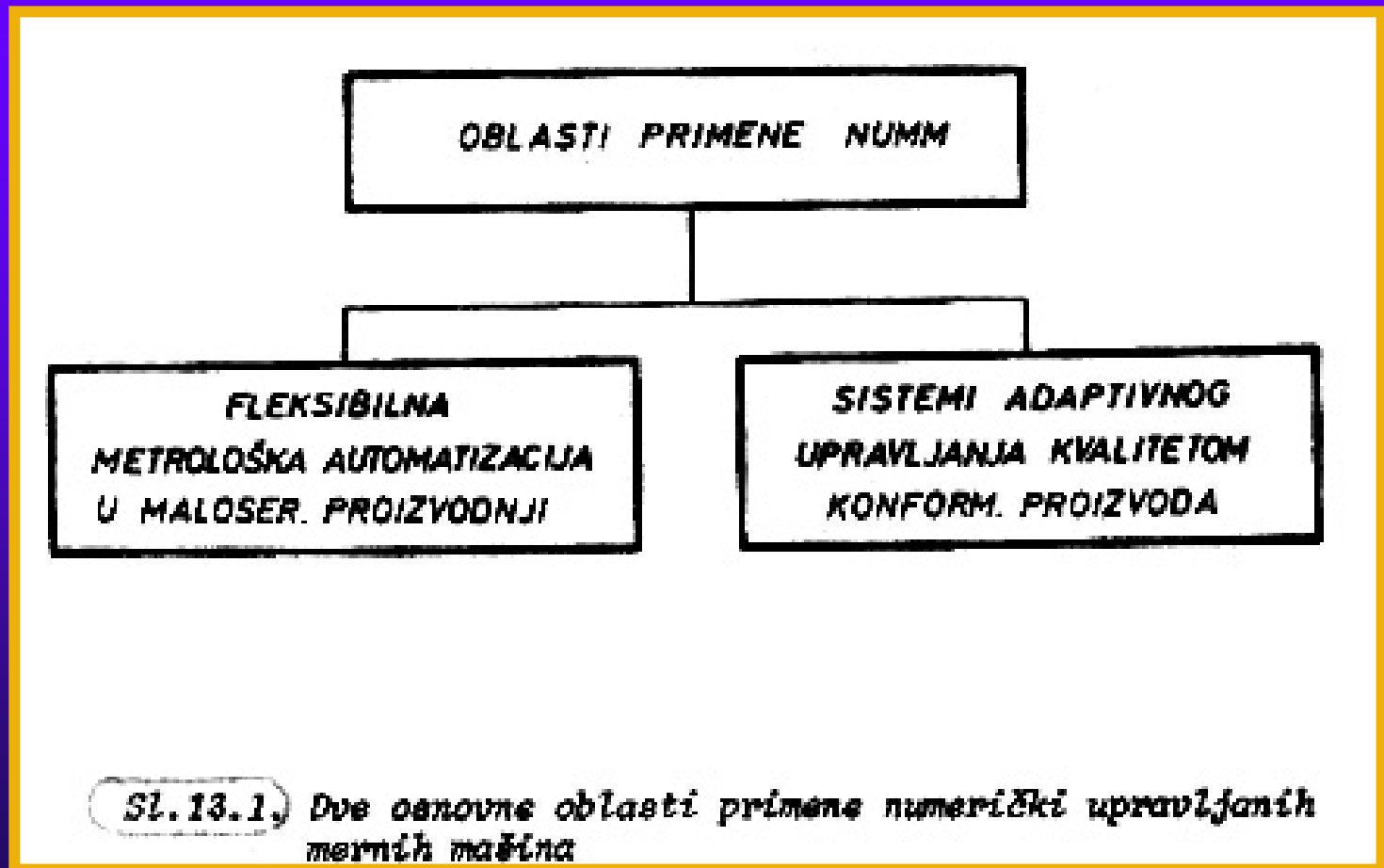
- ◆ NUMM su kompleksni metrološki sistemi
- ◆ Procesi merenja, obrade rezultata merenja i indikacije rezultata se obavljaju automatski (programirano)
- ◆ Ključni elementi razvoja - računari, senzori i mikroelektronika
- ◆ Pojava i razvoj NUMM je vezana za pojavu i razvoj NUMA
- ◆ 1952 – NUMA, 1959 – OC, 1961 - MM



# NUMM primena

- ◆ **Merenje i kontrolu svih vrsta tolerancija**
- ◆ **Adaptivno upravljanje kvalitetom konformnosti:**
  - NUMM kao fleksibilni metrološki modul
  - NUMM kao fleksibilna metrološka ćelija
  - NUMM-e kao fleksibilni metrološki sistem
- ◆ **Primena, slika 13.1**

# Slika 13.1 Dve oblasti primene NUMM





# Etape razvoja NUMM

- ◆ NUMM su nastale u IV etapi razvoja MS (1960 – 1980)
- ◆ Četiri etape razvoja MM (NUMM):
  - Prva etapa: MM sa digitalnim pokazivačem pozicije za svaku osu i ručnim manipulisanjem – kretanjem mernog senzora. Merenje relativno kompleksnih delova u jednom koordinatnom sistemu. Digitalnim pokazivačem pozicije su određene linijske karakteristike kvaliteta

# Etape razvoja NUMMM

## ◆ Druga generacija:

- Prvi nivo proširen sa min hardverskom podrškom
- Uvodi se merni procesor pomoću koga se očitava položaj pokretnih elemenata MM
- Vršiti se osnovna obrada mernih rezultata
- Povećana je tačnost i produktivnost MM

# Etape razvoja NUMM

## ◆ Treća generacija:

- Osnovna CNC MM (upravljačka jedinica)
- Pogonski sistemi za stepene slobode noseće strukture
- UJ se upravlja radom MM (merenje i dobijanje mernog protokola)
- Koristi se autonomna softverska podrška (veza osnovnih geometrijskih oblika i različitih metroloških zadataka)
- Menu funkcija za operatora, polu-automatski i automatski rad

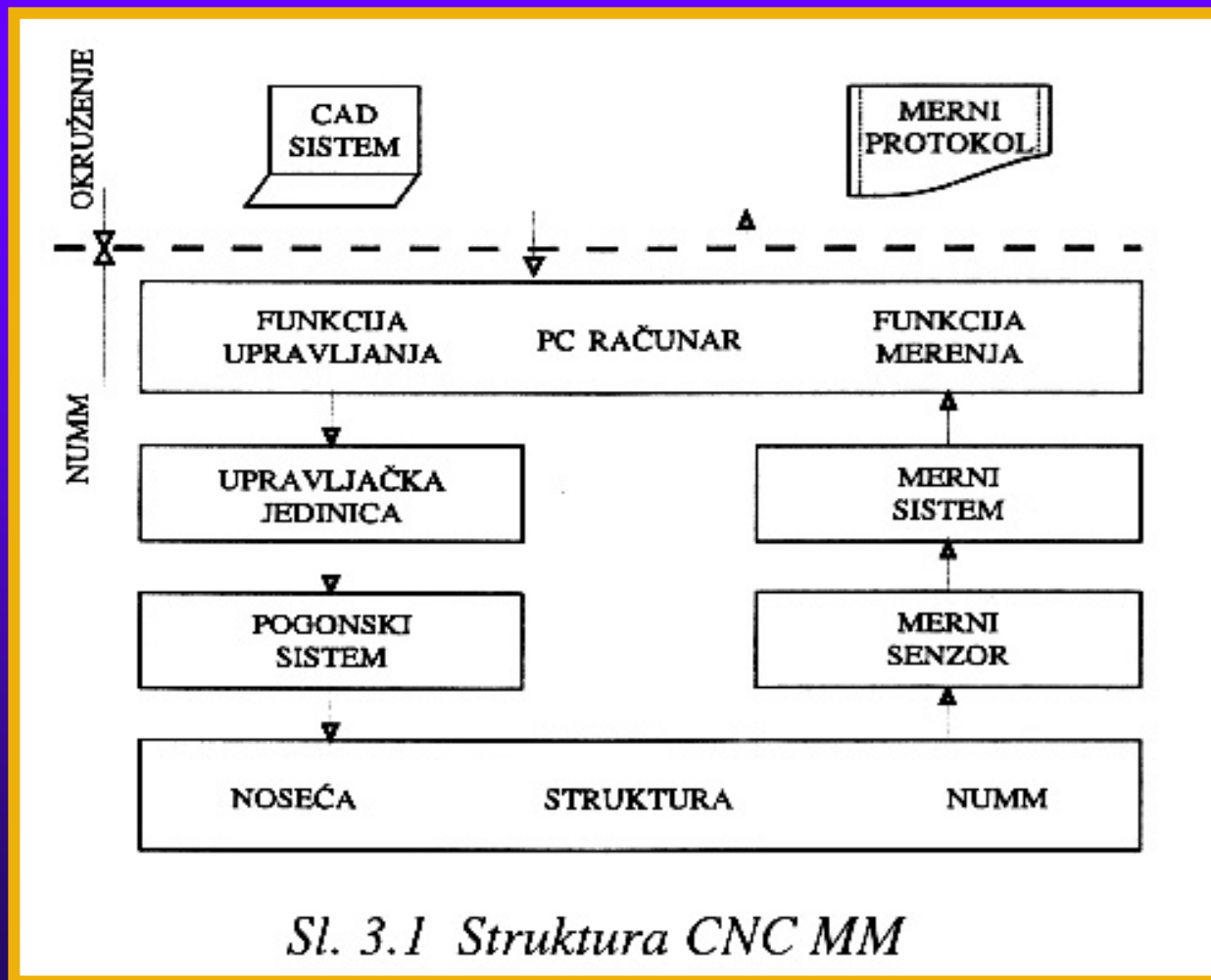


# Etape razvoja NUMM

- ◆ Četvrta generacija NUMM
  - DNC MM kao FMM, FMĆ i FMS
  - Osnova je CNC MM, slika 3.1
  - MM ima sledeću strukturu: noseću strukturu, pogonski sistem, merni sistem, merni senzor, računarsku podršku (UJ)
  - Softver: opšte i posebne namene za ručno i mašinsko programiranje CNC MM



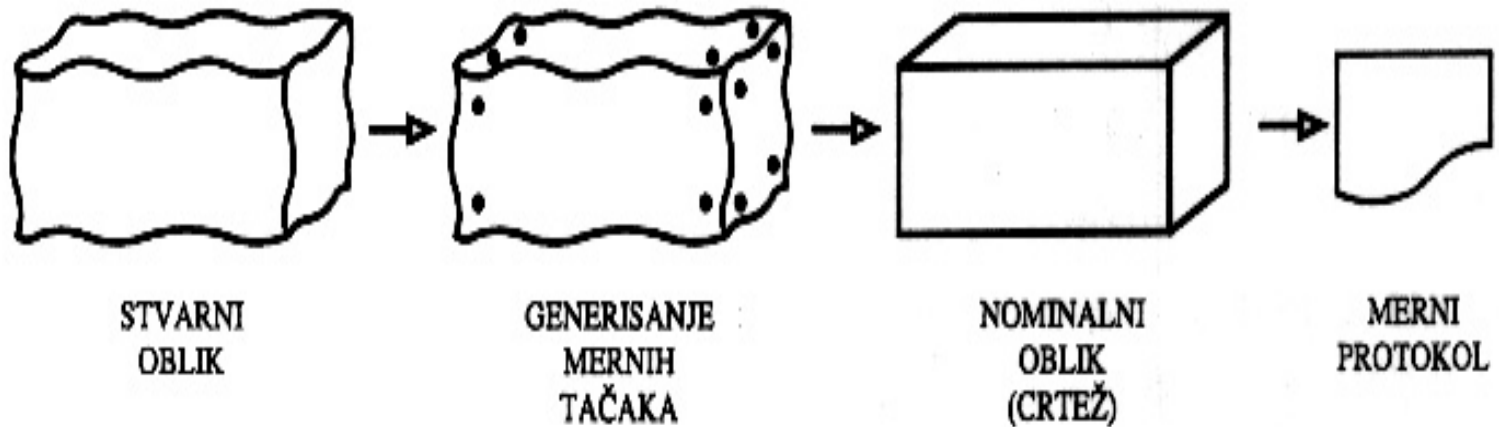
# Slika 3.1 Struktura CNC MM



# Osnovni princip rada MM

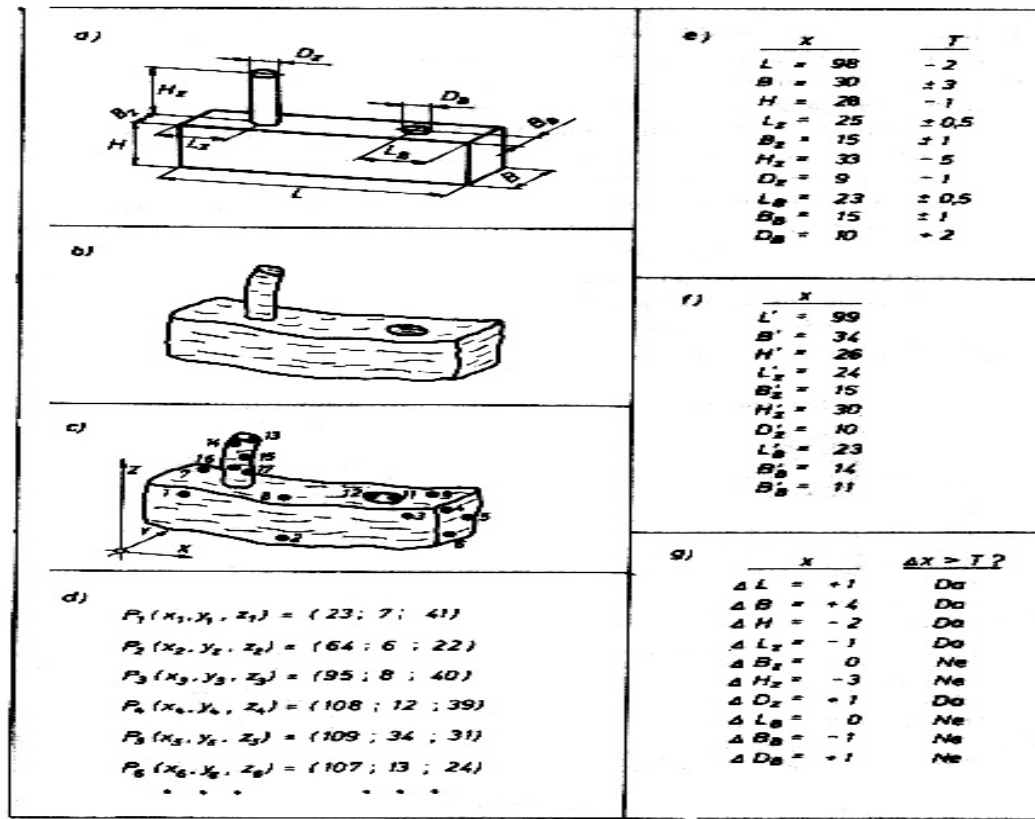
- ◆ Metrološka identifikacija kompleksnih mernih predmeta na NUMM se zasniva na sledećoj paradigmi: stvarni oblik dela – generisanje mernih tačaka – nominalni oblik dela (CAD – crtež) – merni protokol
- ◆ Primeri: slika 3.9 i slika 13. 2
- ◆ Primer demo – mernog predmeta, slika 3.10 (određivanje koordinatnih sistema)

# Slika 3.9 Osnovna paradigma NUMMM



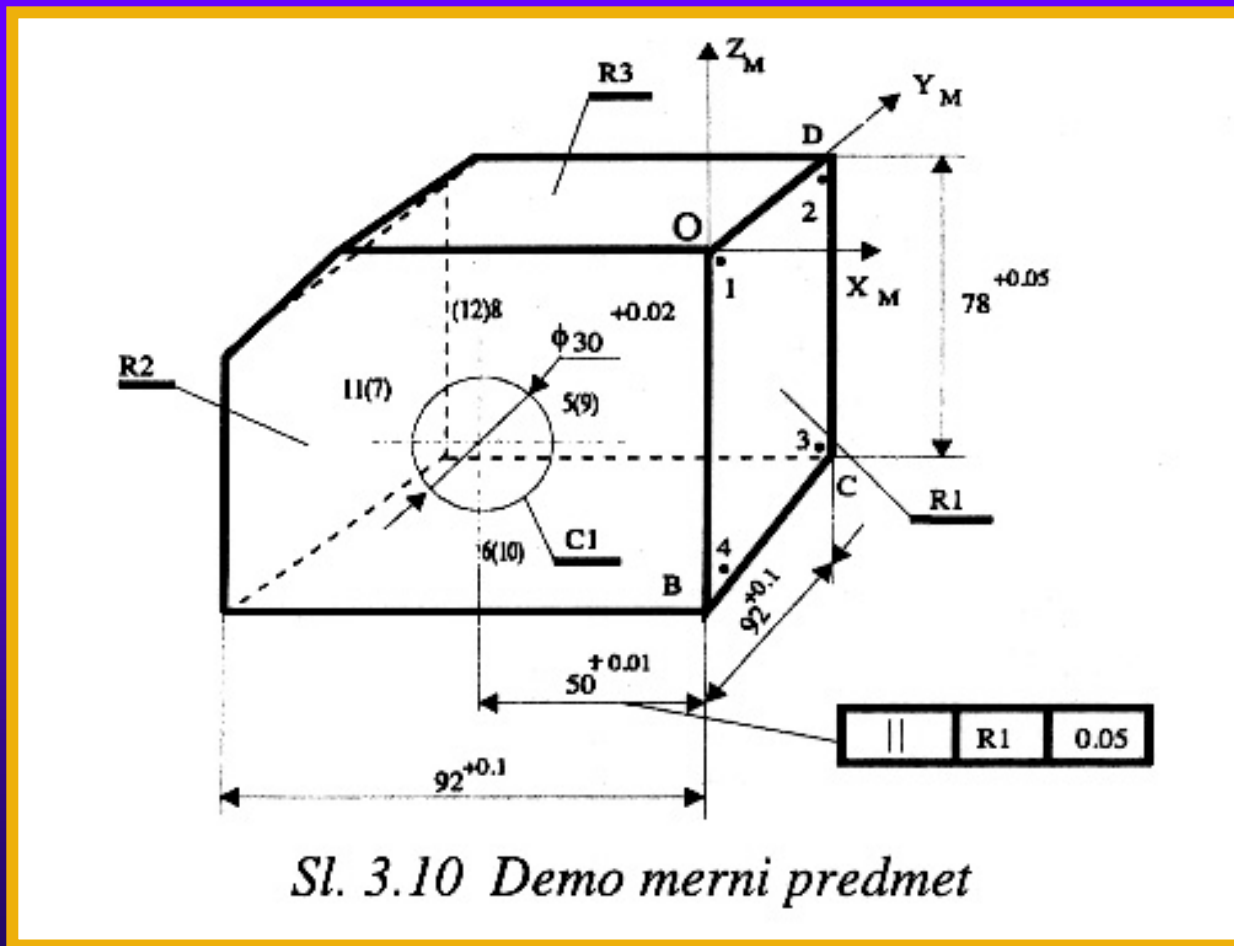
*Sl. 3.9 Osnovna paradigma NUMMM-a*

# Slika 13.2 Ilustracija procesa merenja na NUMM



Slika 13.2 (a-Ilustracija nekih elemenata procesa merenja na mernim mašinama (a-model mernog predmeta /definisani crtežom/, b-stvarni oblik mernog predmeta /nakon obrade/, c-sistem mernih tačaka na površinama mernog predmeta, d-izmerene vrednosti koordinata mernih tačaka, e-numerička slika modela mernog predmeta, f-idealne karakteristike kvaliteta, T-tolerancija, x\*-stvarne karakteristike kvaliteta, g-razlike numeričkih slika e) i f), Δx-razlike x i x\*)

# Slika 3.10 Demo merni predmet



Sl. 3.10 Demo merni predmet



# Koordinatni sistemi kod NUMM-a

- ◆ **Koordinatni sistem MM**
- ◆ **Koordinatni sistem mernog senzora**
- ◆ **Koordinatni sistem mernog predmeta:**
  - **uravnavanja**
  - **merenja**



# Strategija merenja / kontrole na NUMM

- ◆ Položaj mernog predmeta na mernom stolu
- ◆ Pravilo izbora koordinatnog početka
- ◆ Pravilo određivanja koordinatnog sistema merenja
- ◆ Strategija merenja
- ◆ Pravilo za izbor mernih tačaka



# Podela i osnovne karakteristike MM

## ◆ Koeficijent kompetentnosti MM (K)

$$K = V \cdot T / P \cdot A$$

V – indeks merne zapremine

T – indeks automatizacije

P – indeks cene koštanja

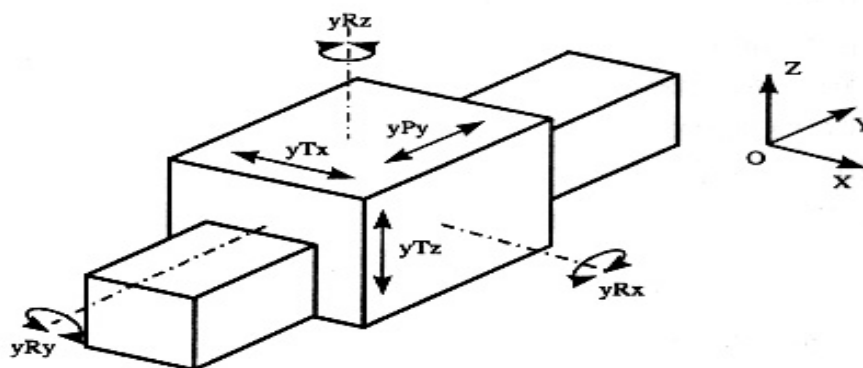
A – indeks tačnost MM



# Tačnost NUMM

- ◆ **Dvadeset jedna komponenta geometrijske greške NUMM:**
  - Tri komponente greške translacije po osi
  - Tri komponente greške rotacije po osi
  - Tri komponente greške normalnosti osa, slika 3. 11
  - Nove MM imaju ugrađenu softversku korekciju komponenti grešaka

# Slika 3.11 Komponente geometrijskih grešaka MM



a) PARAMETRI GREŠKE TRANSLACIJE (PRAVOSTI) OSA:

X-OSA	Y-OSA	Z-OSA
$xTy$	$yTx$	$zTx$
$xTz$	$yTz$	$zTy$

b) PARAMETRI GREŠKE ROTACIJE (UGLA) OSA:

UGAO VALJANJA	UGAO UVIJANJA	UGAO SAVIJANJA
$xRx$	$xRy$	$xRz$
$yRy$	$yRx$	$yRz$
$zRz$	$zRx$	$zRy$

c) PARAMETRI GREŠKE POZICIJE OSA:

$xPx$   
 $yPy$   
 $zPz$

d) PARAMETRI GREŠKE UPRAVNOSTI (NORMALNOSTI) OSA:

$xNy$   
 $yNz$   
 $xNz$

Sl. 3.11 Komponente geometrijskih grešaka MM

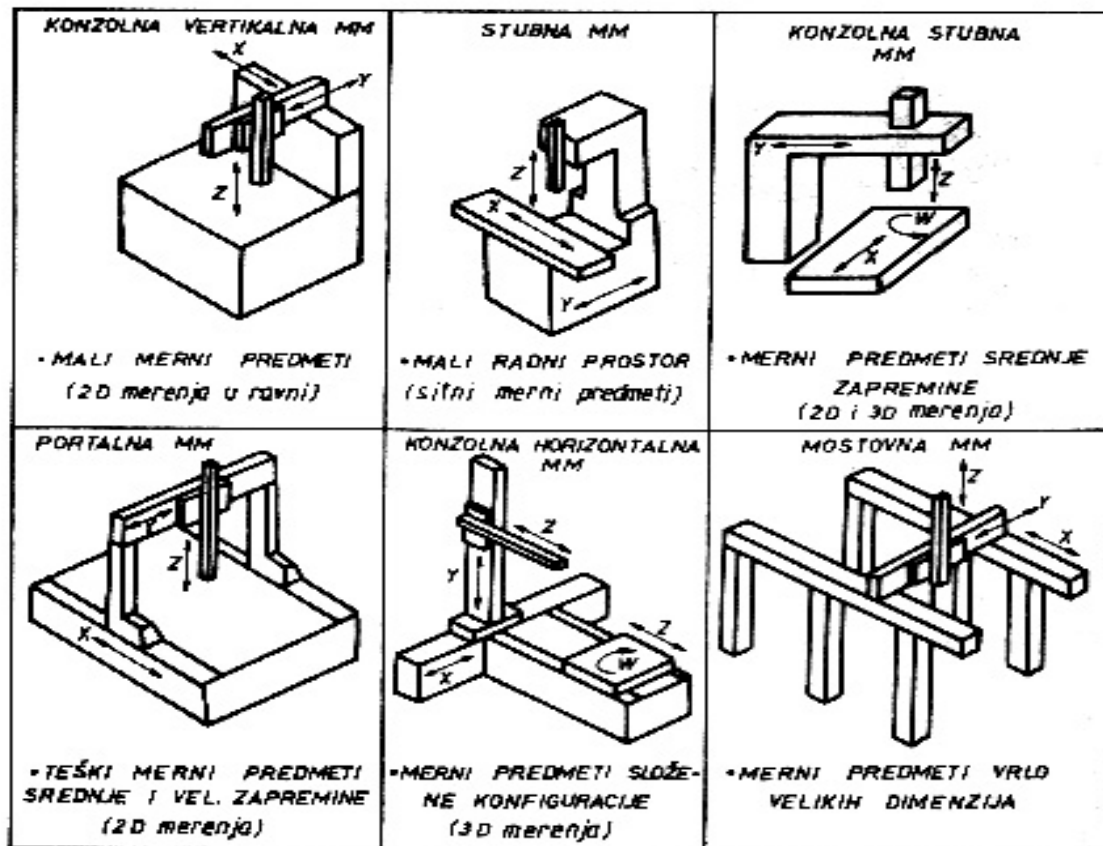
# Osnovni kriterijumi klasifikacije NUMM

- ◆ Principi i metodi merenja
- ◆ Merne mogućnosti (1,2,3, 3 ipo ose, 4, ...)
- ◆ Oblik noseće strukture
- ◆ Tačnost i rezolucija merenja
- ◆ Dimenzije radnog prostora
- ◆ Tip, veličina i masa konstrukcije
- ◆ Step en automatizacije

# Osnovna podela NUMMM

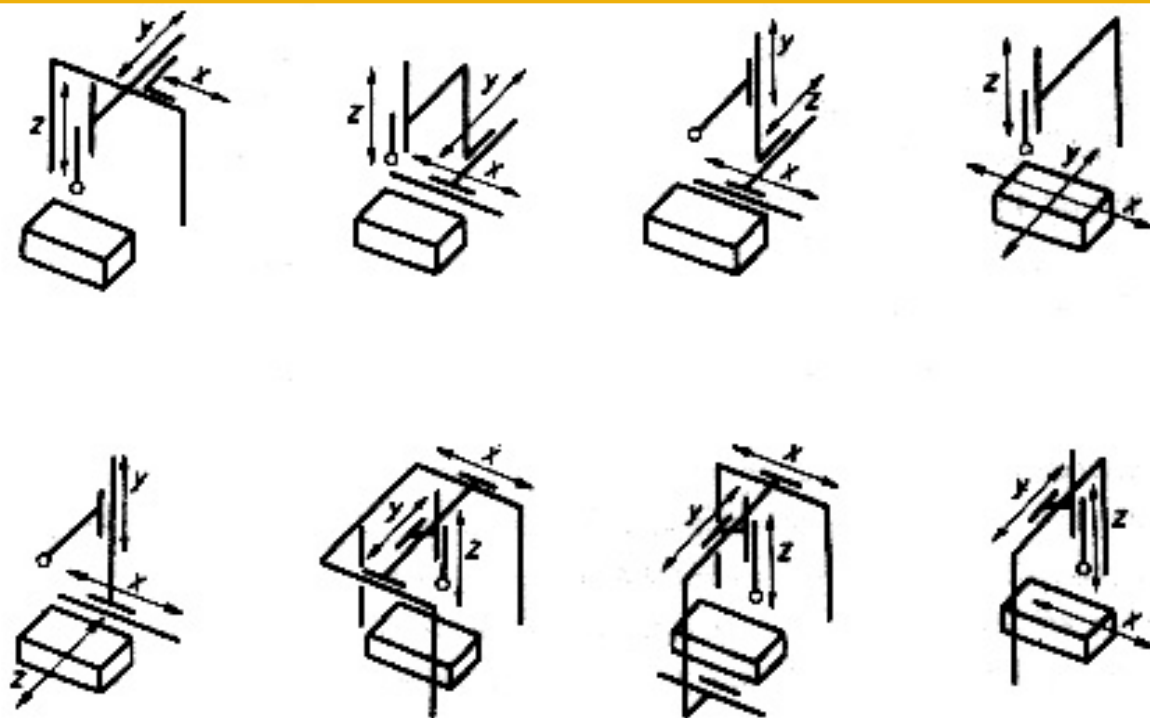
- ◆ **Oblik noseće strukture**
  - Konzolne merne mašine
  - Stubne merne mašine
  - Portalne merne mašine
  - Mostovne merne mašine
- ◆ **Broj koordinatnih osa**
  - Jednokoordinatne
  - Dvokoordinatne
  - Trokoordinatne, ...

# Slika 13.3 Podela MM prema obliku noseće strukture



Slika 13.3. Podela mernih mašina prema obliku noseće strukture

# Slika 13.4 Šema konstrukcija MM



Sl. 13.4. Pregled nekih šema konstrukcija mehaničkih mašina  
(pored datih na sl. 13.3)



# Hardverska struktura NUMM

- ◆ **Poslednja generacija predstavlja složene mašinske sisteme koja ima sledeću strukturu:**
  - **Noseća struktura**
  - **Merni sistem**
  - **Pogonski sistem**
  - **Merni senzor**
  - **Računarska podrška**

# Noseća struktura MM

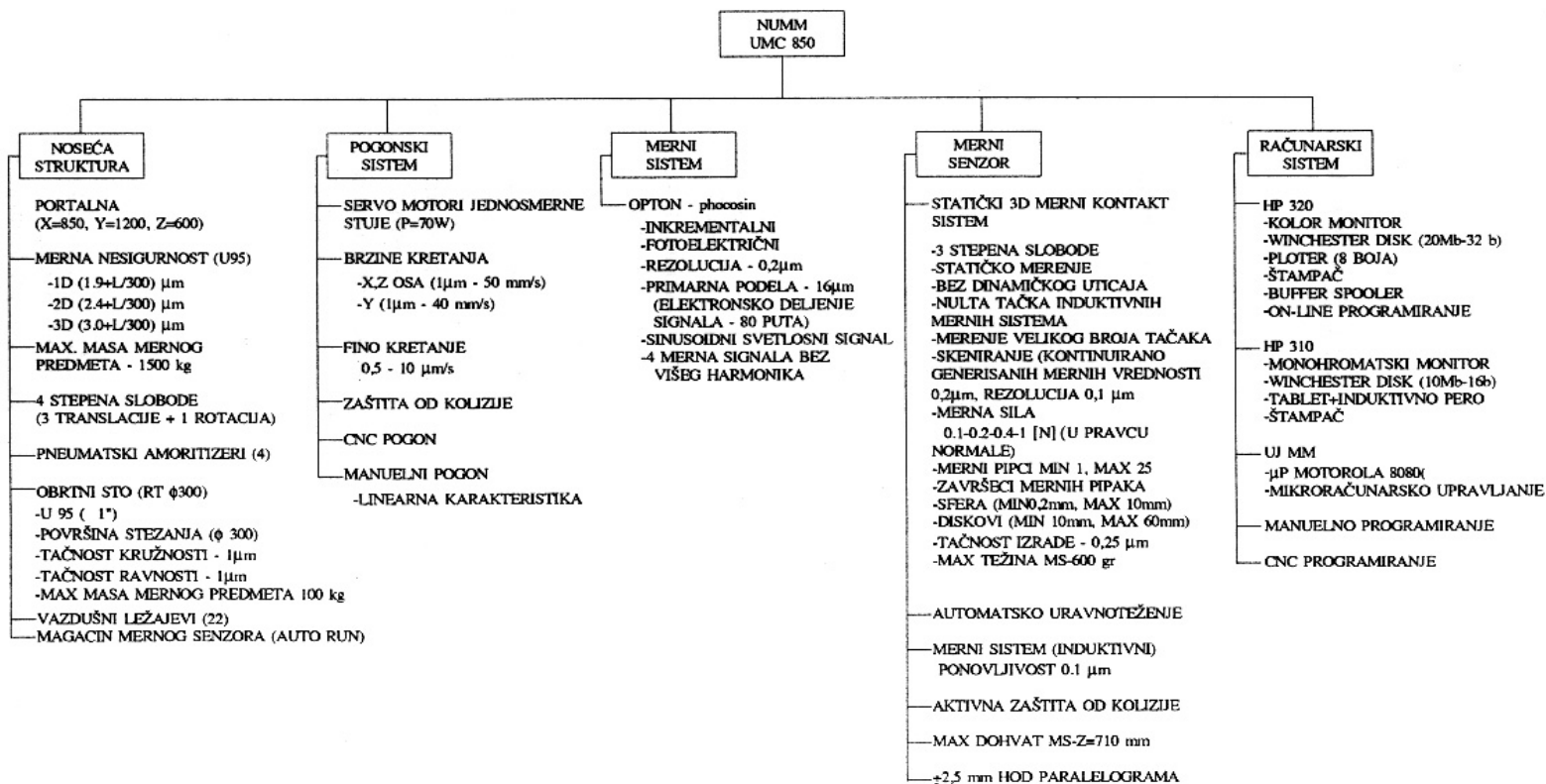
- ◆ Osnovni element bilo koje generacije MM
- ◆ Osnovna funkcija:
  - Zatvori tok sila u sistemu MM pri izvođenju procesa merenja uz postizanje merne nesigurnosti
  - Omogući tačno vođenje pokretnih elemenata noseće strukture
  - Oblik: konzolna (horizontalna, vertikalna), stubna, portalna, mostna



# Noseća struktura MM - nastavak

- ◆ **Važne karakteristike noseće strukture:**
  - **Visoka statička krutost**
  - **Dinamička stabilnost**
  - **Mali koeficijent linearnog širenja, otpornost na habanje i koroziju (granit, SL, legirani čelik, CARAT tehnologija)**
  - **Dodatni elementi noseće strukture: radni sto, obrtni sto, vazdušni ležaji**
  - **Primer, slika 4.1 NUMM UMC 850**

# Slika 4.1 NUMM UMC 850 Elementi hardverske strukture

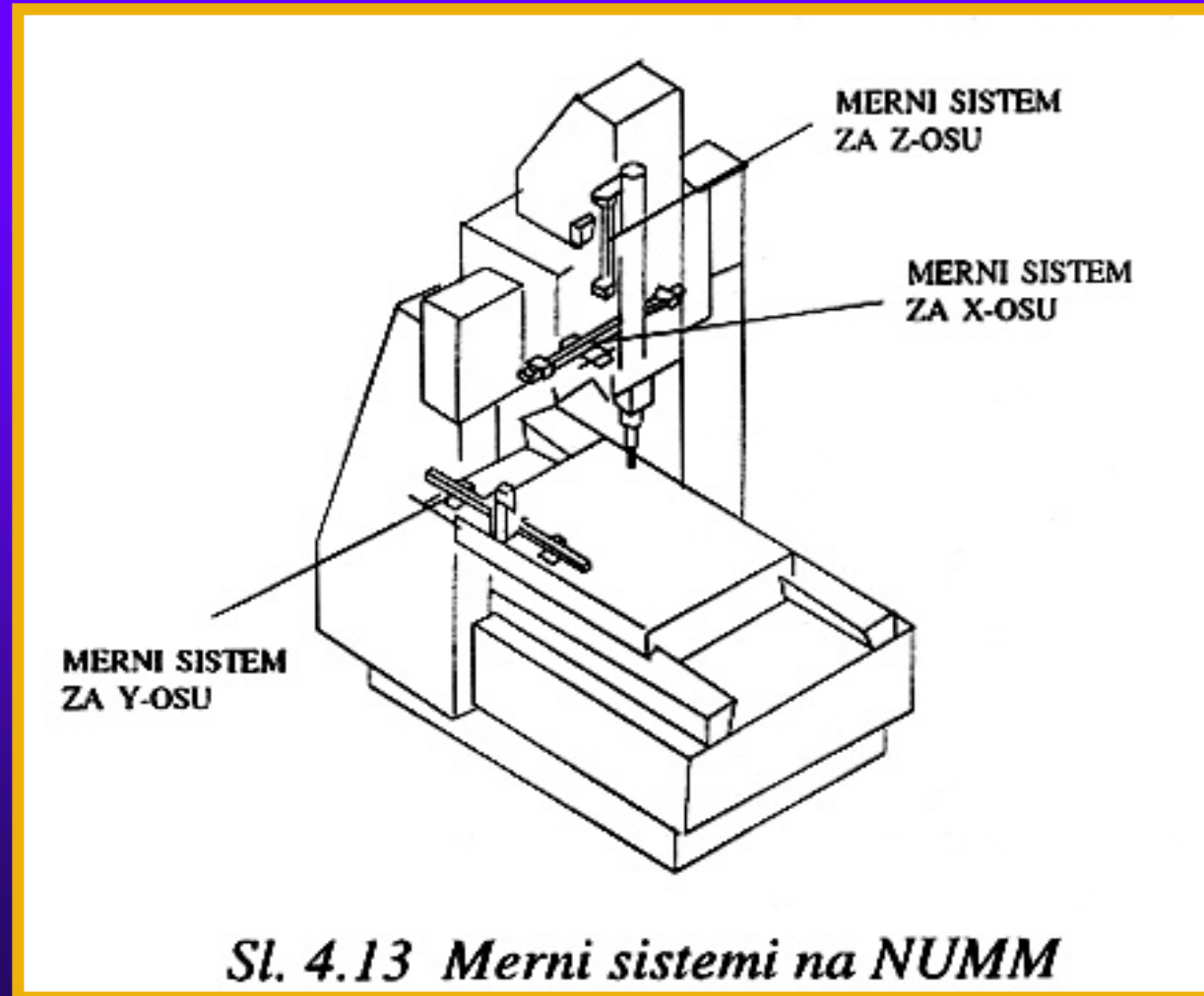


Sl. 4.1 NUMM UMC 850 - Elementi hardverske strukture

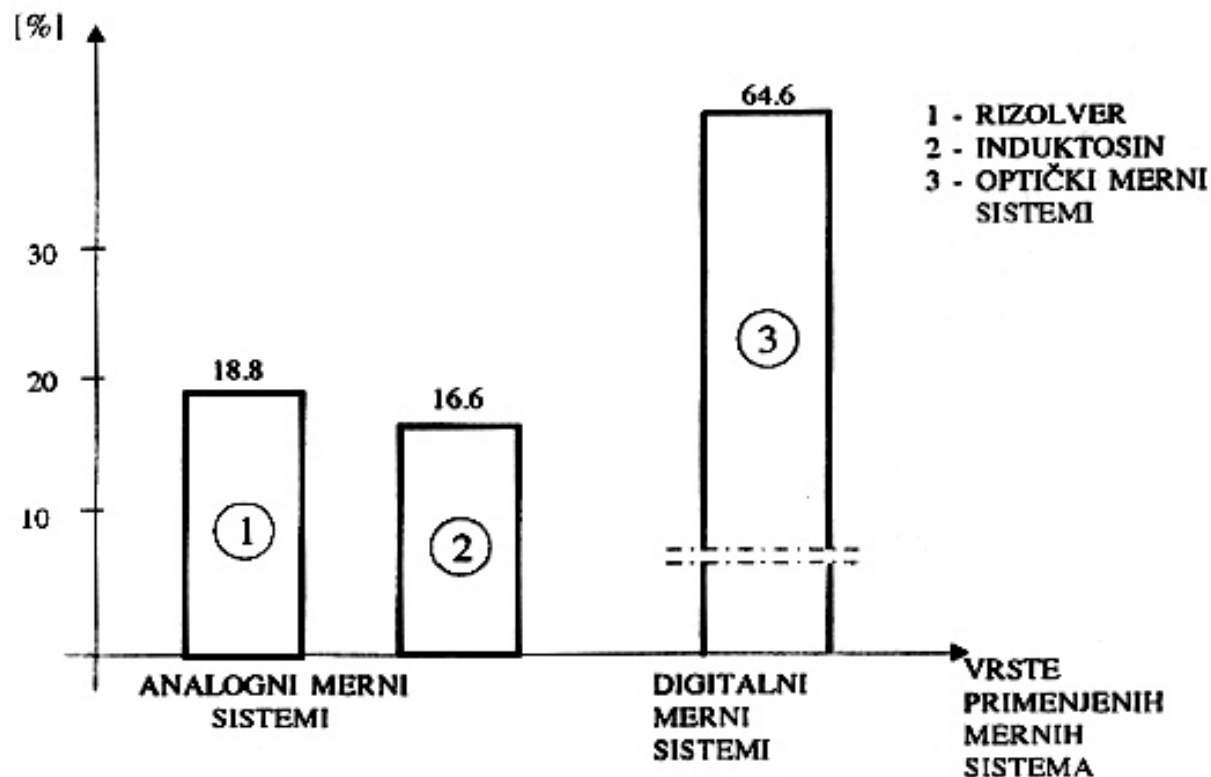
# Merni sistemi kod MM

- ◆ **Funkcija – jednoznačno identifikuju položaj pokretnih elemenata noseće strukture za svaki stepen slobode**
- ◆ **Tačnost – veća za red veličine od tačnosti MM**
- ◆ **Koriste se analogni (rizolver, induktosin) i digitalni merni sistemi, slike 4.13 i 4.14**
- ◆ **30 – 50 % greške kod MM se odnosi na greške mernog sistema**

# Slika 4.13 Merni sistemi na NUMMM



# Slika 4.14 Distribucija primenjenih mernih sistema na NUMMM



Sl. 4.14 Distribucija primenjenih mernih sistema na NUMMM-a

# Pogonski sistemi kod mernih mašina

- ◆ Imaju funkciju translatornog i rotacionog pokretanja sa povratnom spregom pokretnih elemenata noseće strukture
- ◆ Oni daju stepene slobode MM
- ◆ Treba da imaju sledeće karakteristike:
  - Dobre dinamičke karakteristike (bez podrhtavanja – stick stiff)
  - Visoka osetljivost i širok dijapazon regulisnja brzine i ubrzanja
  - Ne proizvode vibracije i intezivno stvaraju toplotu

# Pogonski sistemi kod mernih mašina- nastavak

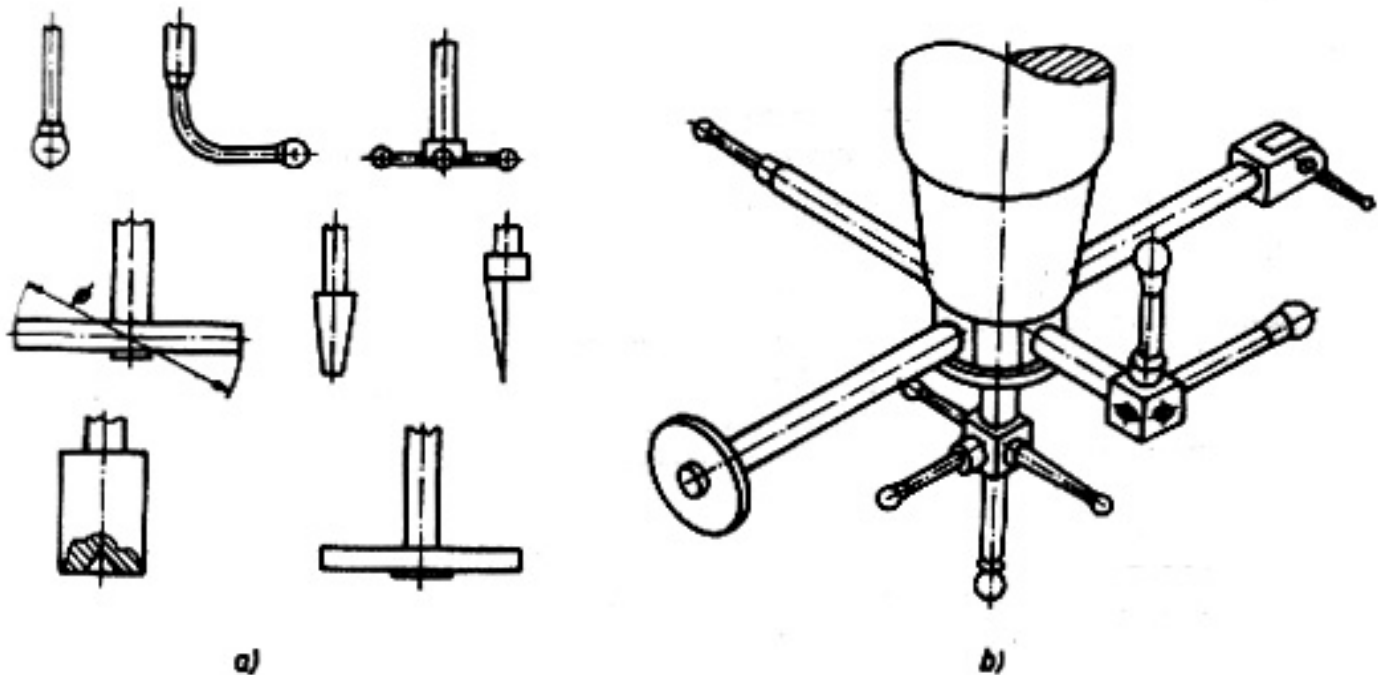
- Ne proizvode dodatne sile
- Imaju zaštitne sisteme od preopterećenja i kolizije
- Imaju male inercijalne sile
- ◆ Servo motori jednosmerne struje – DC tahogenerator (navedeno zadovoljavaju)
- ◆ Prenosni mehanizmi: frikcioniprenosnici, zupčasta letva, beskonačna traka i navrtka sa zavojnim vretenom

# Merni senzor

- ◆ Jedan od najvažnijih podsistema MM
- ◆ Generiše merni signal
- ◆ Tačnost – red veličine veća od MS
- ◆ Merni senzor čini: nosač senzora, nosač mernog pipka, pipak, slika 13.12
- ◆ Induktivni senzor, slika 4.20
- ◆ Sila pritiska 1, 2, 5, 8 N
- ◆ Skenirujući senzor



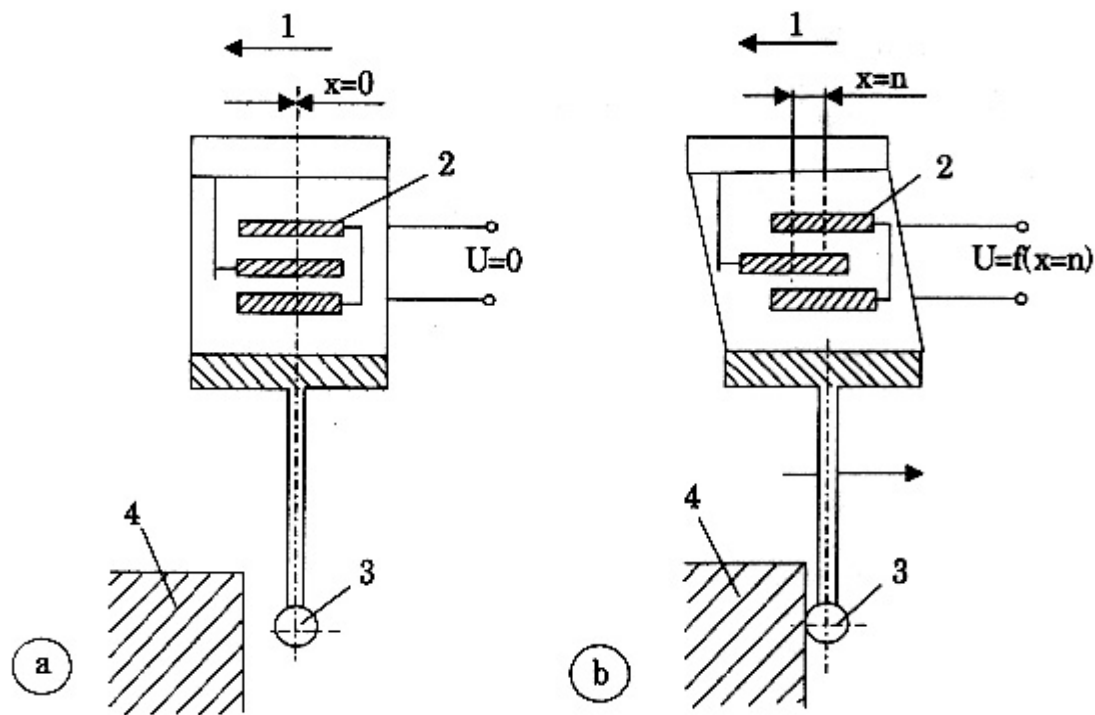
# Slika 13.12 Merni senzor



- a) Različiti završeci mernih kugli mernih senzora prilagodjeni različitim metrološkim zadacima.
- a) Primer kompleksnog mernog senzora.

**Sl.13.12.** Oblici savršetaka mernih pipaka sa jednim kompleksenim oblikom merne glave

# Slika 4.20 Princip dejstva induktivnog MS



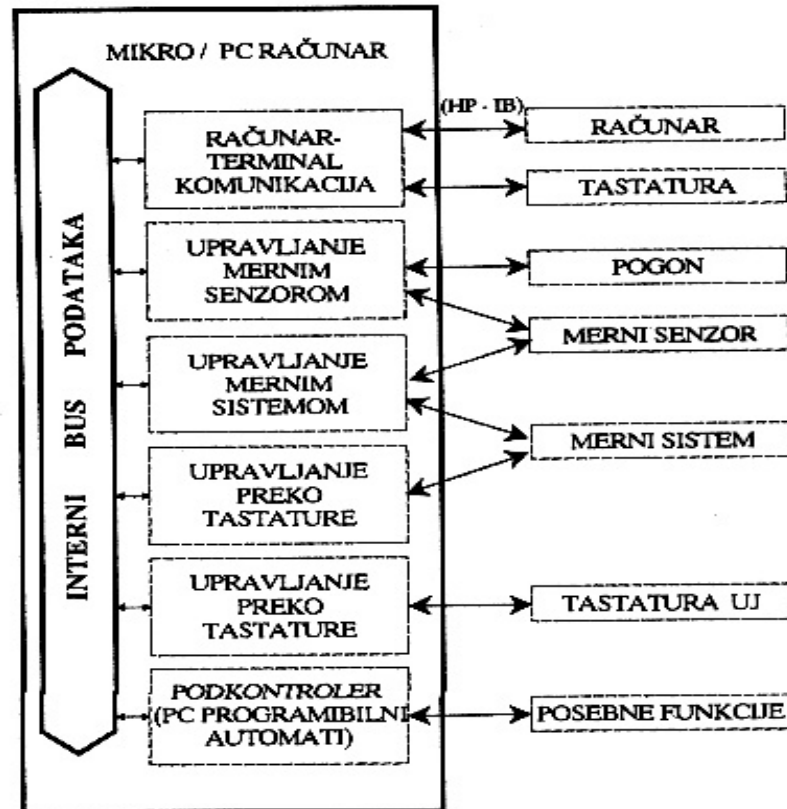
Sl. 4.20 Princip dejstva induktivnog senzora u nekoj od osa univerzalne merne glave (1-smer kretanja merne glave; 2-induktivni senzor; 3-merni pipak; 4-merni predmet)



# Računarski sistem NUMM

- ◆ Upravljanje radom MM
- ◆ Priprema, programiranje, merenje, kontrola
- ◆ Primer – struktura računarskog upravljanja kod NUMM, slika 4.28
- ◆ Najpoznatiji proizvođači MM: DEA, Zeiss, Mauser, Ferranti, Mitutoyo, Sefflid, ...

# Slika 4.28 Struktura računarskog upravljanja kod NUMM



Sl. 4.28 Struktura računarskog upravljanja kod NUMM

# Softver za NUMM

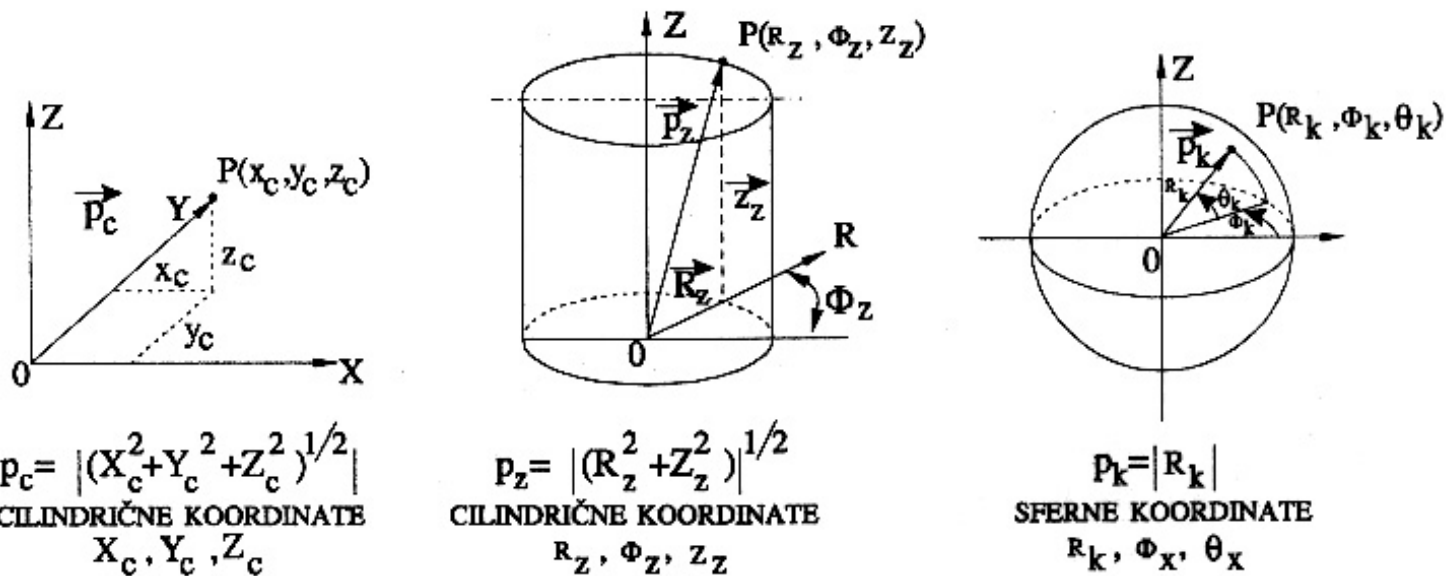
- ◆ Elementarni geometrijski oblici, slika 5.1

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

*Sl. 5.1 Minimalni broj tačaka za elementarne geometrijske oblike*

# Softver za NUMM

## ◆ Primenjeni koordinatni sistemi, slika 5.2



CILINDRIČNE KOORDINATE  
 $X_c, Y_c, Z_c$

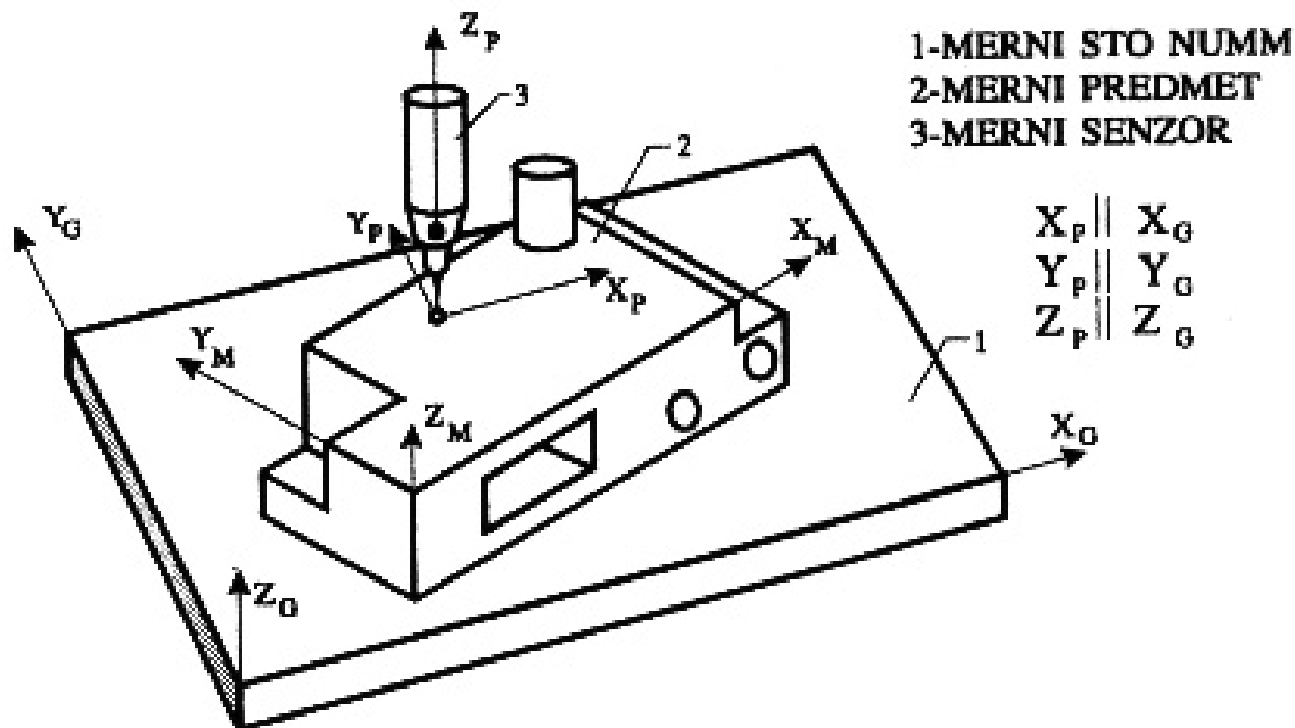
CILINDRIČNE KOORDINATE  
 $R_z, \Phi_z, Z_z$

SFERNE KOORDINATE  
 $R_k, \Phi_k, \theta_k$

$\Phi_z, \Phi_x$  - Ugao rotacije (azimut) na ravan projekcije koordinatnog sistema.  
 $\theta_x$  - Ugao elevacije u odnosu na ravan projekcije koordinatnog sistema.

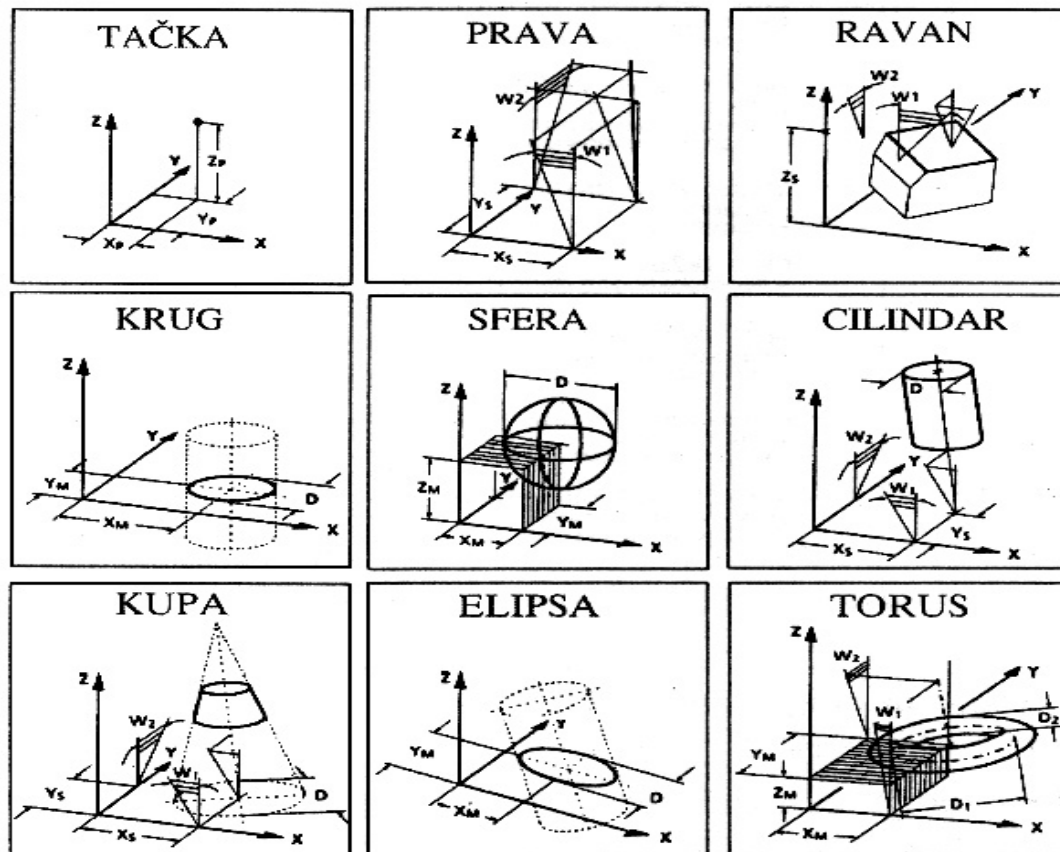
Sl. 5.2 Primenjeni koordinatni sistemi kod NUMM

# Koordinatni sistemi kod NUMM, slika 5.19



*Sl. 5.19 Koordinatni sistemi kod NUMM*

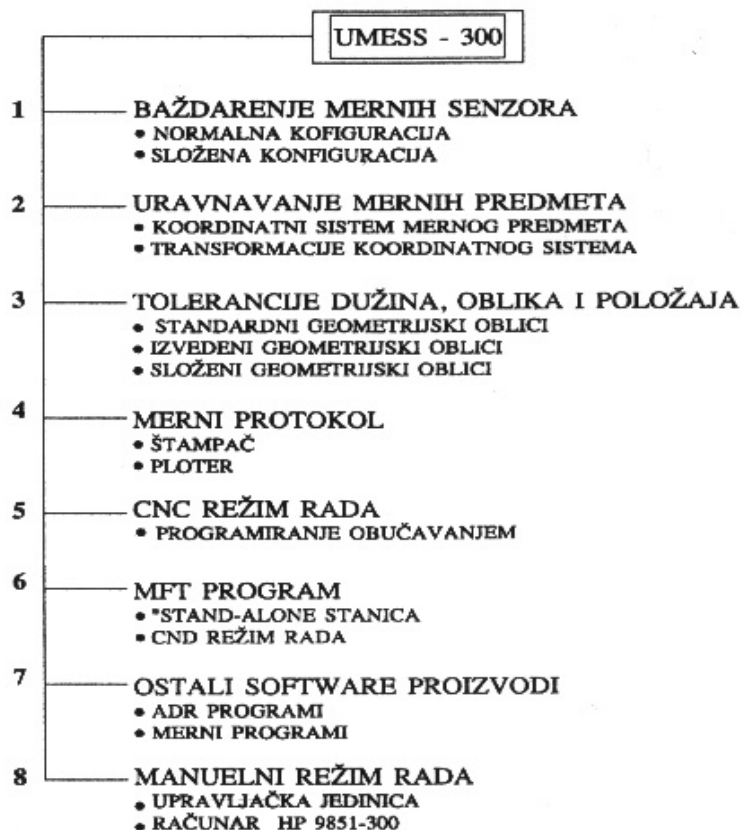
# Osnovne geometrijske karakteristike i njihovi metrološki primitivi, slika 5.21



Sl. 5.21 Osnovne geometrijske karakteristike i njihovi metrološki primitivi

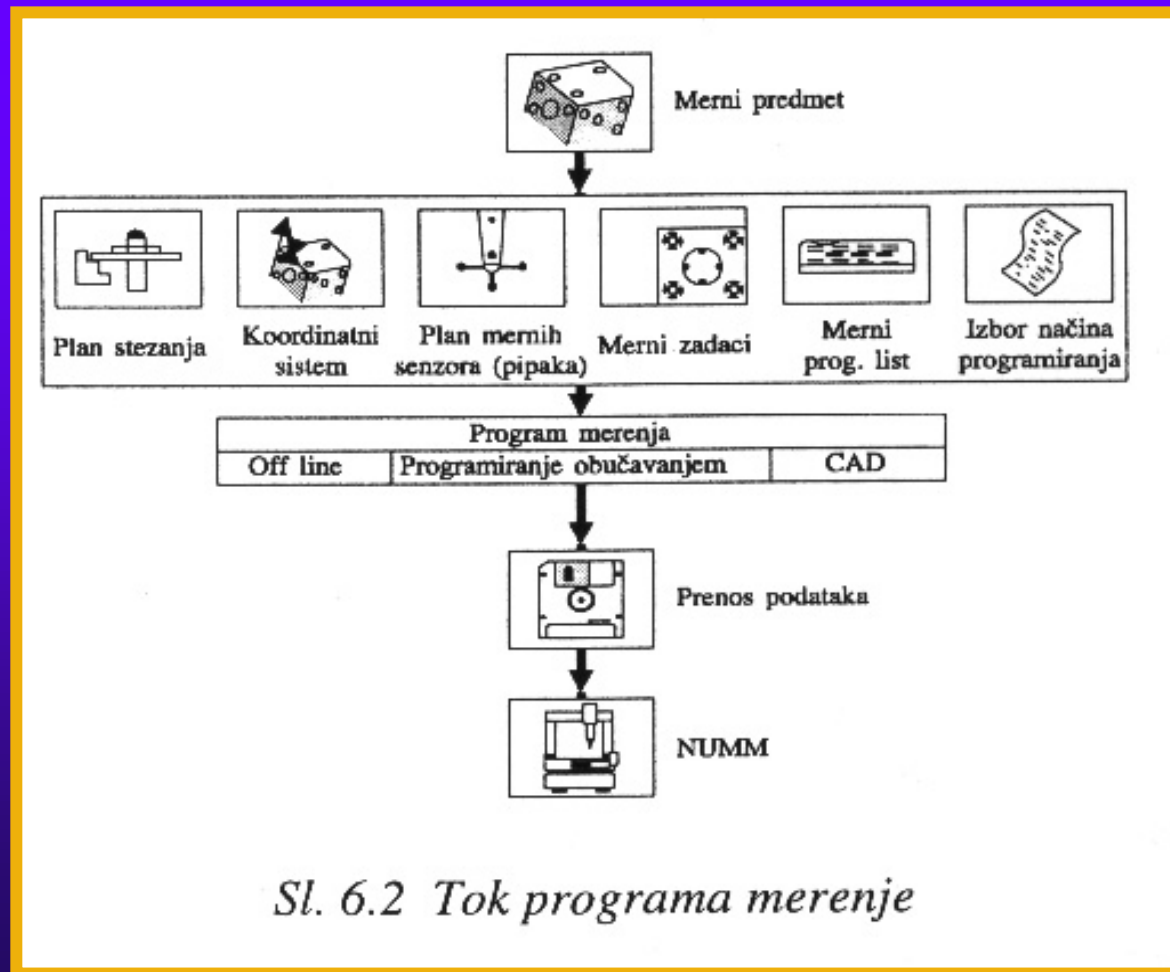


# UMESS osnovne karakteristike, slika 5.22



Sl. 5.22 Struktura i osnovne karakteristike software-a UMESS-300

# Tok pripreme programa, slika 6.2



Sl. 6.2 Tok programa merenje

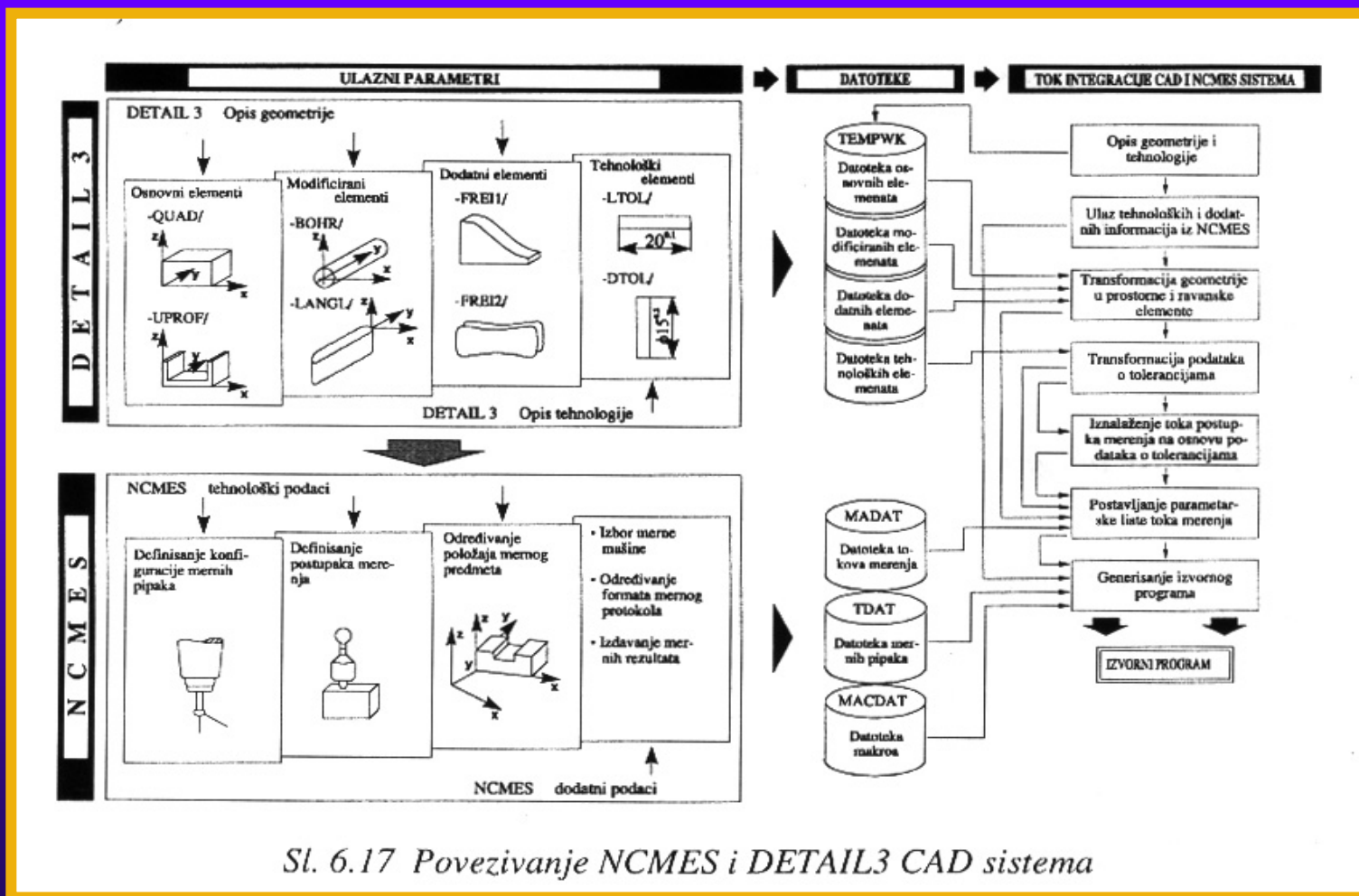
# Plan stezanja, slika 6.3



NAZIV MERNOG PREDMETA		BROJ CRTEŽA		NAZIV PROGRAMA		
KLIP		01.01		RABA - KLIP		
DISK	TRAJANJE PROG.	BROJ LINIJA / START FILE	PROGRAMER	LIST		
M.F.	40'	76 / 2	RAKIĆ M.	2 / 2		
SKICA POSTAVLJANJA I STEZANJA MERNOG PREDMETA						
			OPIS STEZANJA			
			Obrtni sto Ident broj 112233			
PROGRAM ZA KOORDINATNI SISTEM MERNOG PREDMETA			POLAZNA TAČKA CNC PROGRAMA			
			Xp = 0 mm			
			Yp = 0 mm			
			Zp = 200 mm			
			RT05W = 0° 0' 0"			
KOMB.	KONF.	MERNI PIPAK	ADRESA	POLJNOVI POZIV	MERNI ZADATAK (BROJ OPIP. TAČAKA)	NAPOMENA
1	1	1	1	-	KREIS ( 4 )	
			2	-	NULL-PKT. ( X,Y )	
1	1	1	3	-	PUNKT ( 1 )	
			4	-	NULL-PKT. ( Z )	

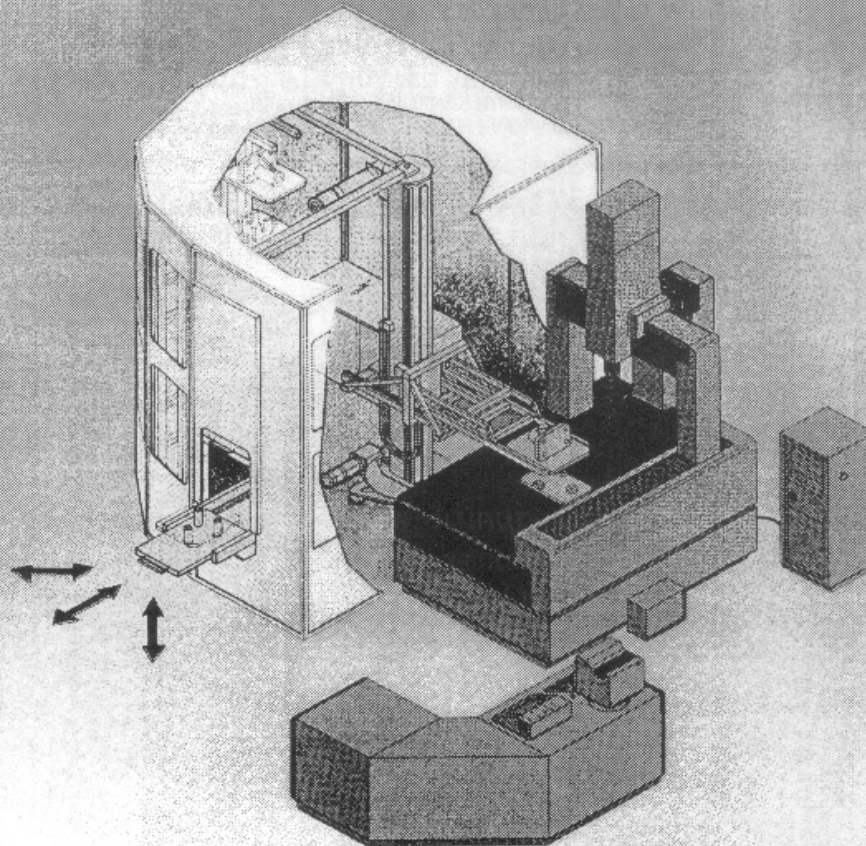
Sl. 6.3 Primer plana stezanja

# Povezivanje u programiranju MM, slika 6.17



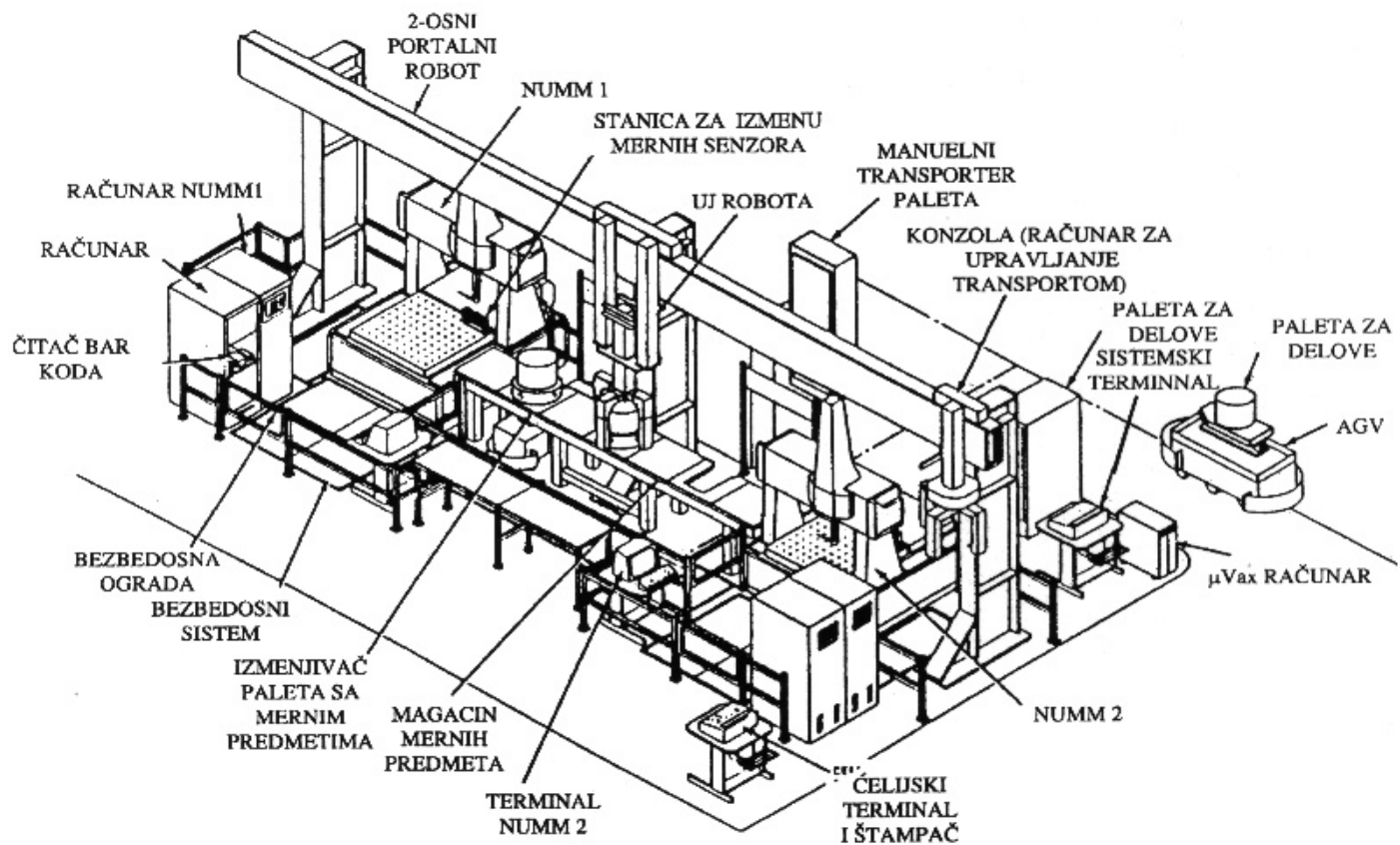
Sl. 6.17 Povezivanje NCMES i DETAIL3 CAD sistema

# Slika 7.2 FMM



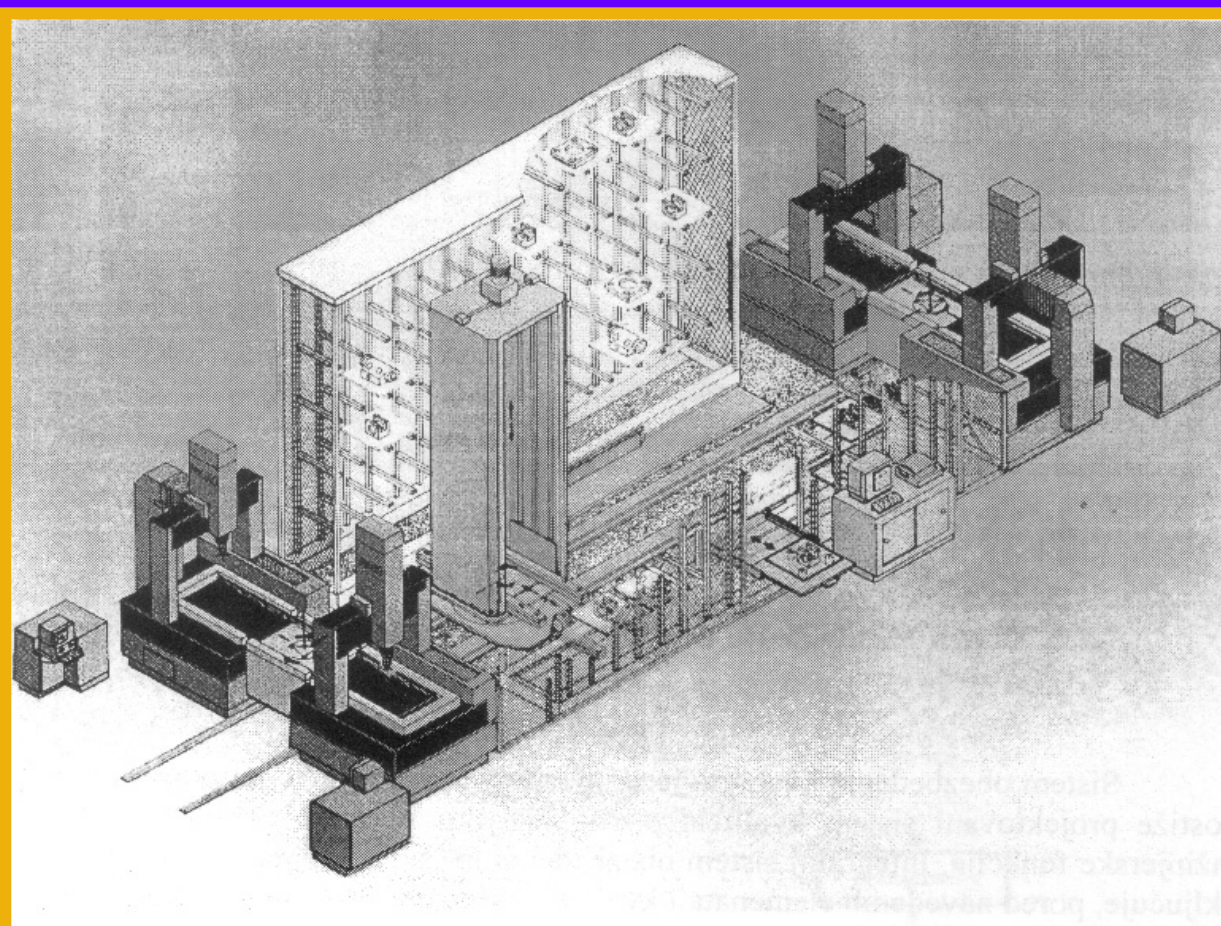
Sl. 7.2 *Fleksibilni metrološki modul*

# Slika 7.3 FMĆ



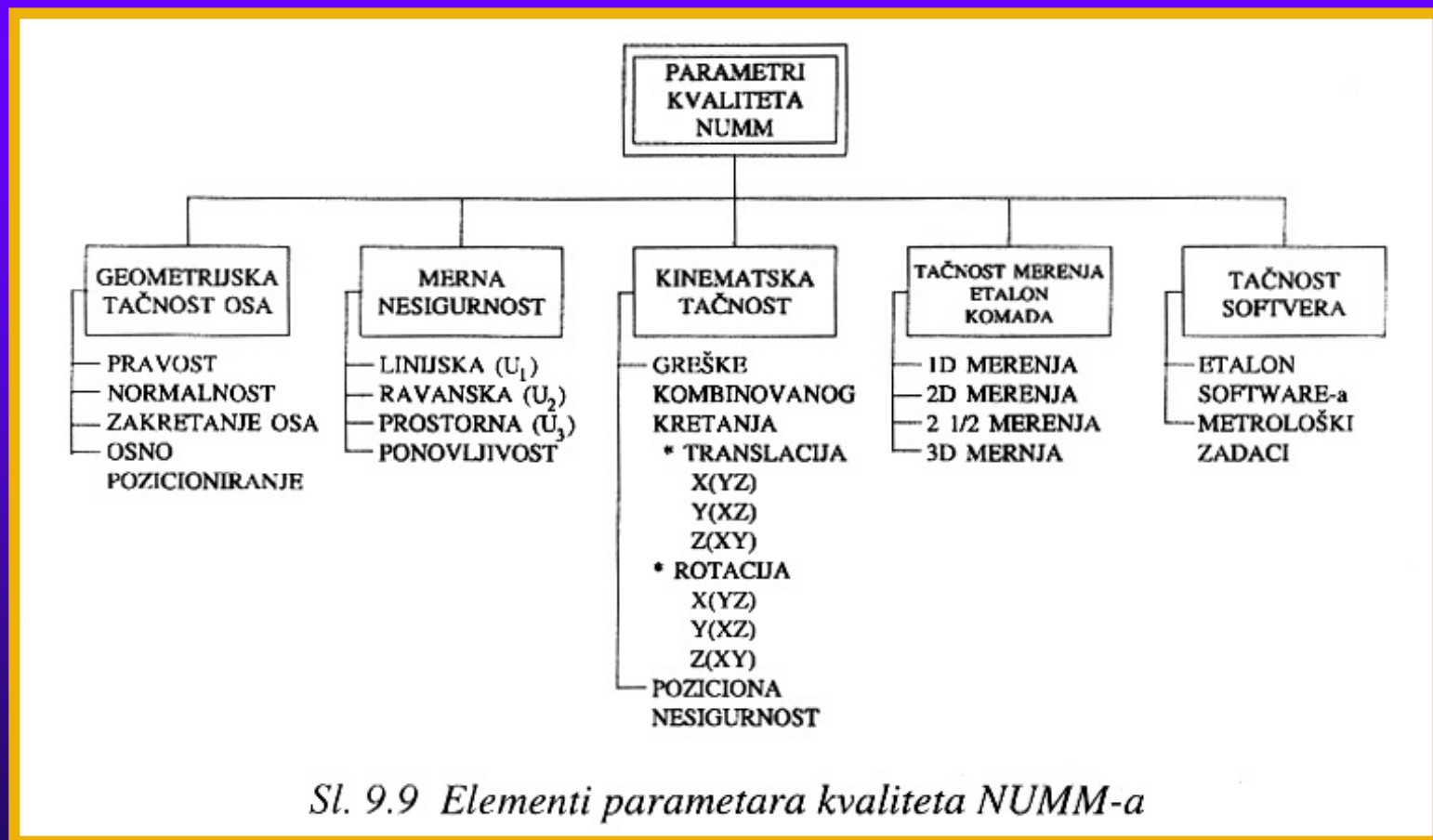
Sl. 7.3 Primer FMĆ

# Slika 7.4 FMS



*Sl. 7.4 Izgled jednog fleksibilnog metrološkog sistema (projektno rešenje)*

# Parametri kvaliteta NUMM u eksploataciji slika 9.9



Sl. 9.9 Elementi parametara kvaliteta NUMM-a





# Budućnost razvoja NUMMM

- ◆ Hardver (nove tehnologije za visoku tačnost)
- ◆ Softver (integracija – CAI ekspersni sistemi)
- ◆ Primena (fleksibilna metrloška automatizacija)
- ◆ Integracija – primena u pogonu



**Hvala Vam na pažnji !**

**Vaš**

**Prof. dr Vidosav D. Majstorović,  
dipl. maš. inž.**

**Mašinski fakultet u Beogradu**

**P I T A N J A !**