

Univerzitet u Novom Sadu  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
Proizvodno mašinstvo  
Predmet: Koordinatni merni sistemi

# ZGLOBNE MERNE RUKE



# Zašto "zglobne merne ruke"?



ISO 10360-12

Zglobne merne ruke su sistem koji meri prostorne koordinate i sastoji se od:

- otvorenog lanca segmenata fiksne dužine,
- zglobova koji su međusobno povezani segmentima koji su pričvršćeni za stacionarno okruženje i
- senzorskim sistemom na slobodnom kraju lanca.



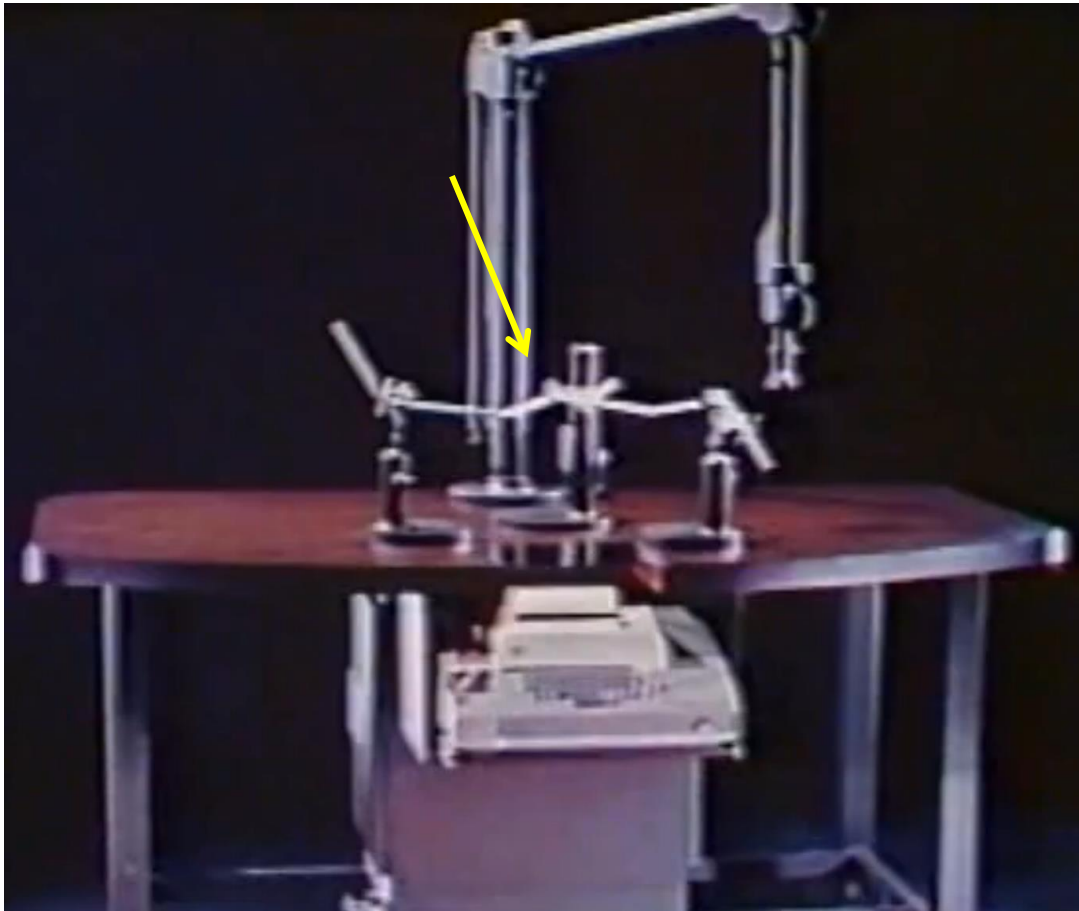
# Istorijski razvoj

- Prvu mernu ruku (Vector 1) je ranih 1970-ih razvio Homer Eaton ispred "Eaton Leonard" korporacije, inače ko-osnivač korporacije ROMER.
- Vector 1 nosi sve zasluge za razvoj modernih sistema za 3D-digitalizaciju ove vrste.
- Vector 1 je razvijen za potrebe merenja izduvnih grana motora SUS (auspuha).
- Originalni patent je prijavljen 18.04.1974. a dodeljen mu je patentni broj 3,944,798. Time je Homer Eaton i zvanično postao "ocem" zglobnih mernih ruku.



# Istorijski razvoj

- Originalna Vector 1 merna ruka je bila predviđena za montiranje na merni sto a bila je podržana primitivnim softverom pokretanog od strane računara veličine frižidera.

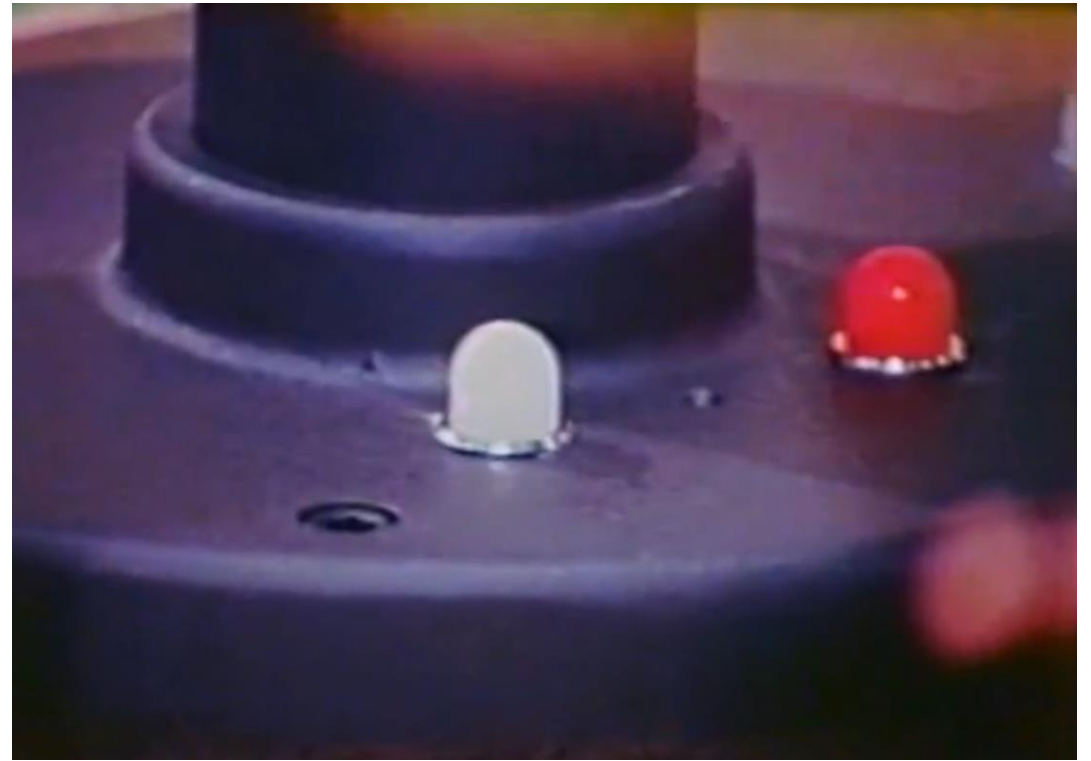


# Istorijski razvoj

- Uređaj je "skidao" podatke o zakrivljenosti cevi (npr. kod auspuha) na bazi seta električnih kontakata smeštenih u "V" mernoj glavi.



# Istorijski razvoj



# Savremene zglobne merne ruke

3D-merne ruke su sa razvojem kvalitetnijih zglobnih veza (cilindričnih i sfernih) između segmenata, kao i računarske podrške za očitavanje pozicije senzora, prerasli u moderne uređaje za 3D-digitalizaciju.



# Pravci razvoja

- Razvoj ove vrste uređaja je, zahvaljujući njihovoj **fleksibilnosti i mobilnosti**, procese merenja, tradicionalno vezane za laboratorijske uslove, izmestio van ovih okvira.







... različita i široka primena.

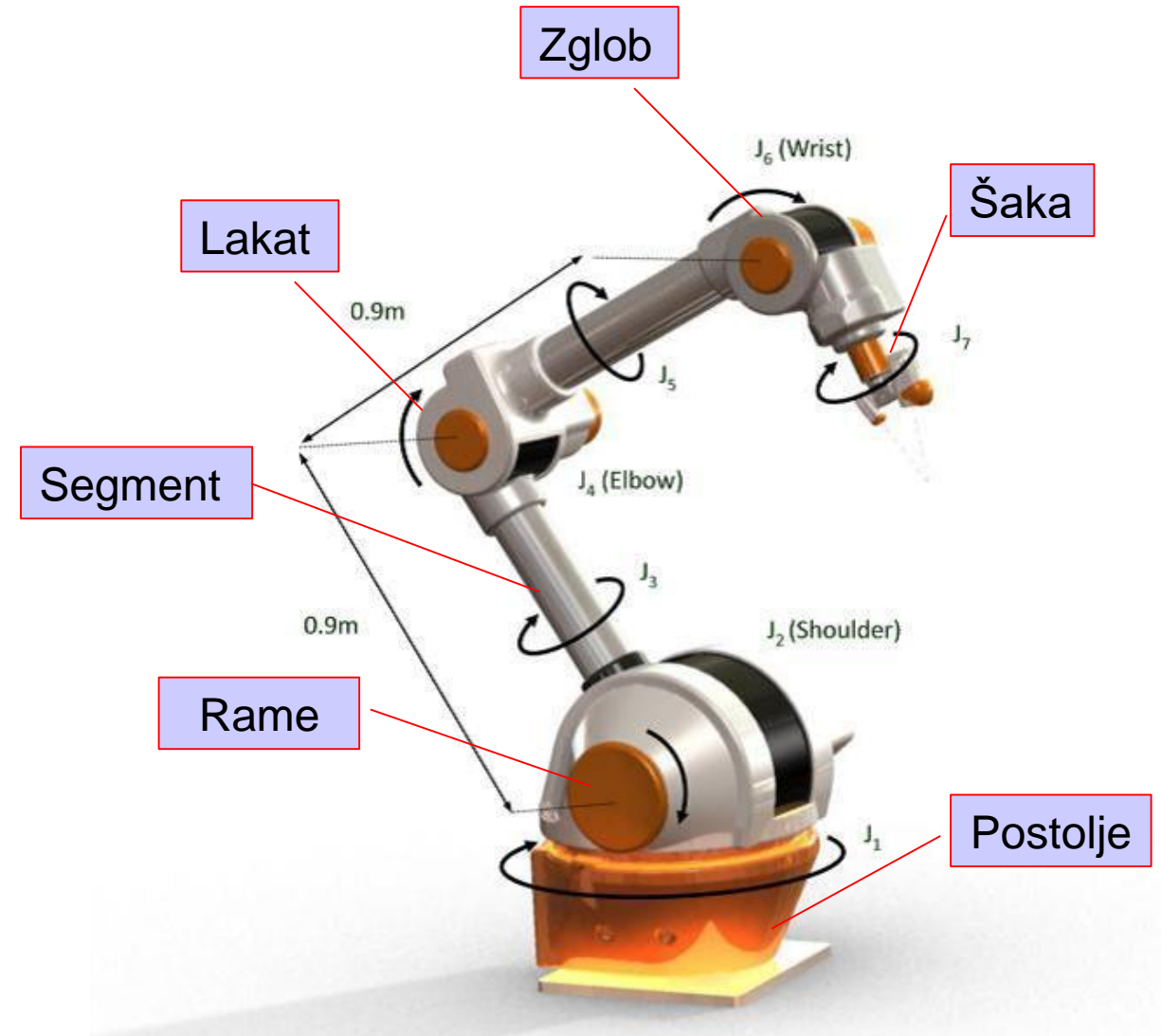
Karakteriše ih veliki broj različitih izvedbi i ...



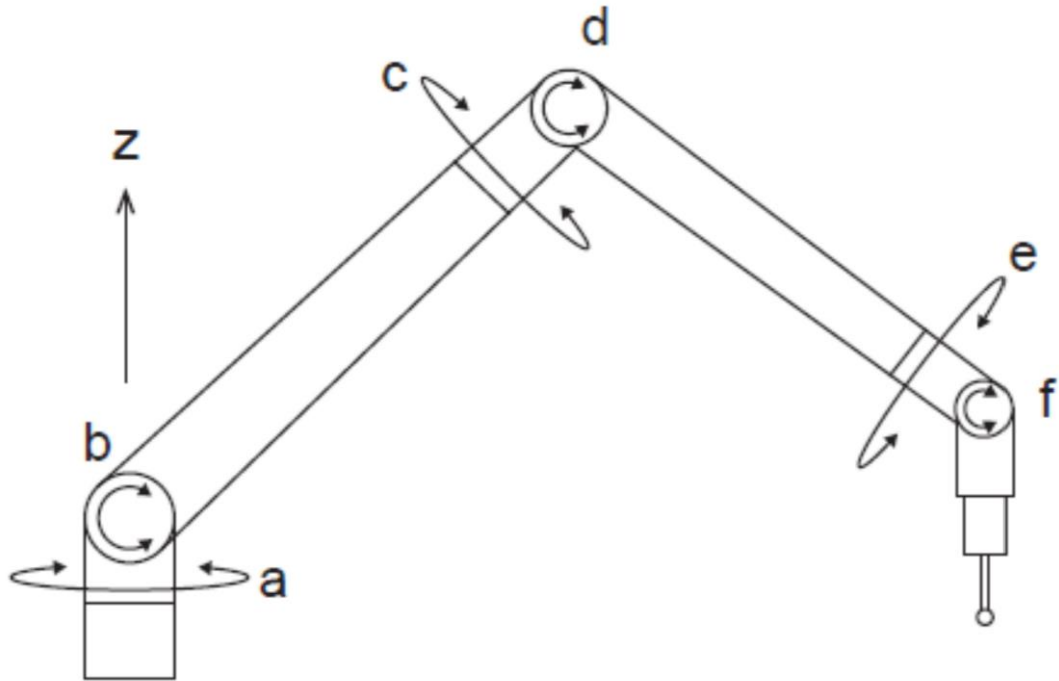
# Arhitektura

Konstrukciju ovih uređaja čine:

- **postolje,**
- **segmenti (najčešće 3 ili 4),**
- **cilindrične i/ili sferne zglobne veze i**
- **senzorski sistem za akviziciju podataka.**

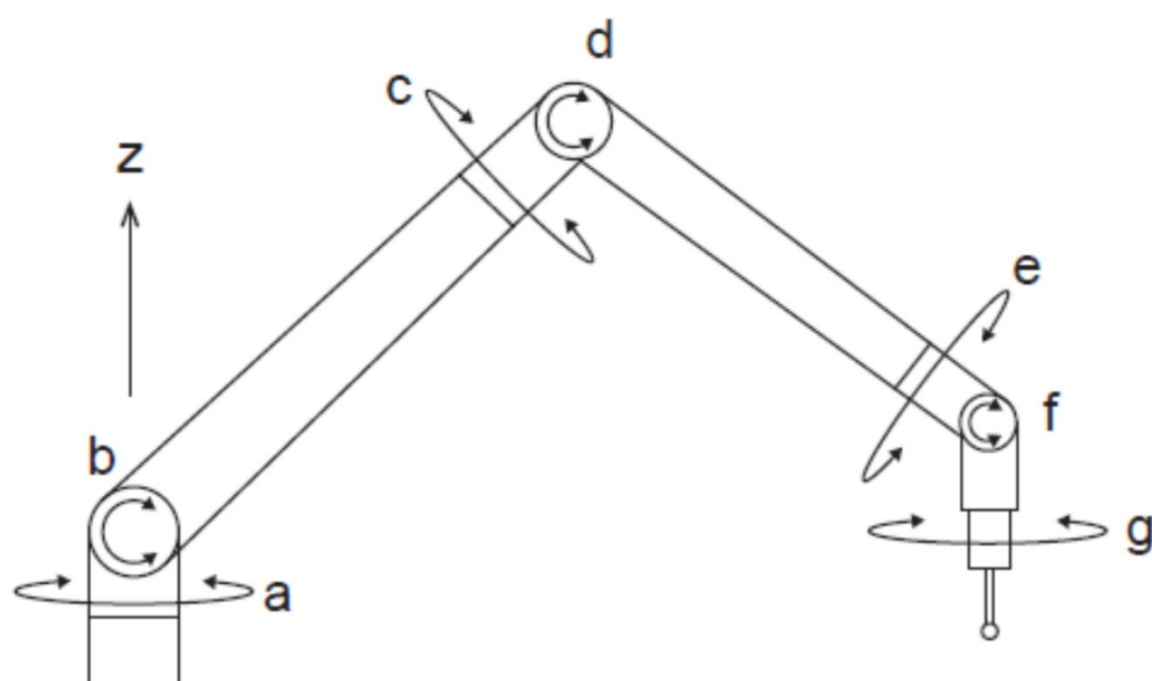


# Arhitektura



6 osa

Kontakni senzorski sistemi

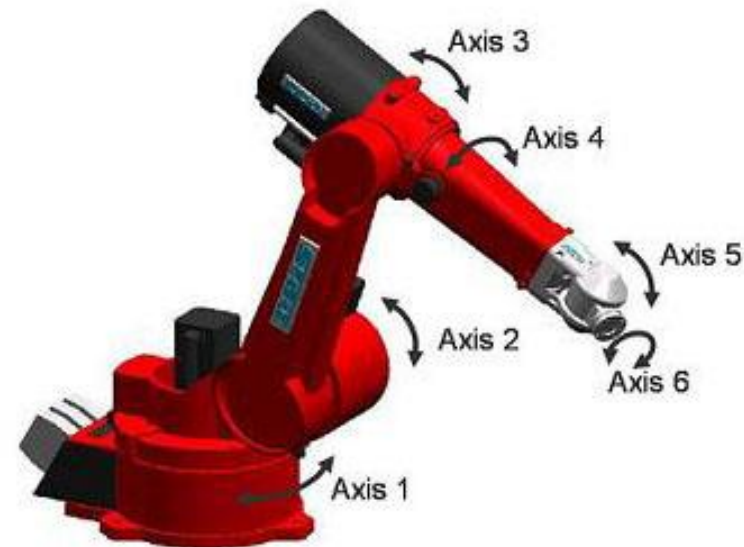


7 osa

Beskontaktni sezorski sistemi

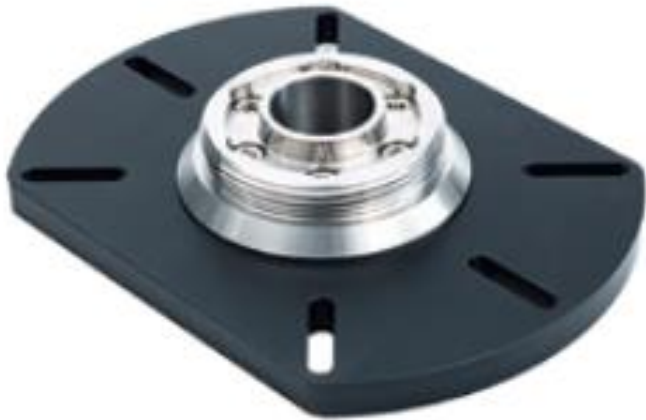
# Arhitektura

Više-osna (i do 7 osa) konstrukcija omogućuje da kontaktni senzor (koji ujedno predstavlja i krajnji segment) zauzme gotovo bilo koji položaj u prostoru i priđe i teško pristupačnim delovima objekata.



# Postolja mernih ruku

- Merne ruke prilikom merenja moraju biti pozicionirane i stegnute za podlogu, ili u krajnjem slučaju za radni predmet ako to dozvoljava.
- Veza između mernih ruku i podloge mogu biti:



Postolja sa mehaničkim pričvršćivanjem



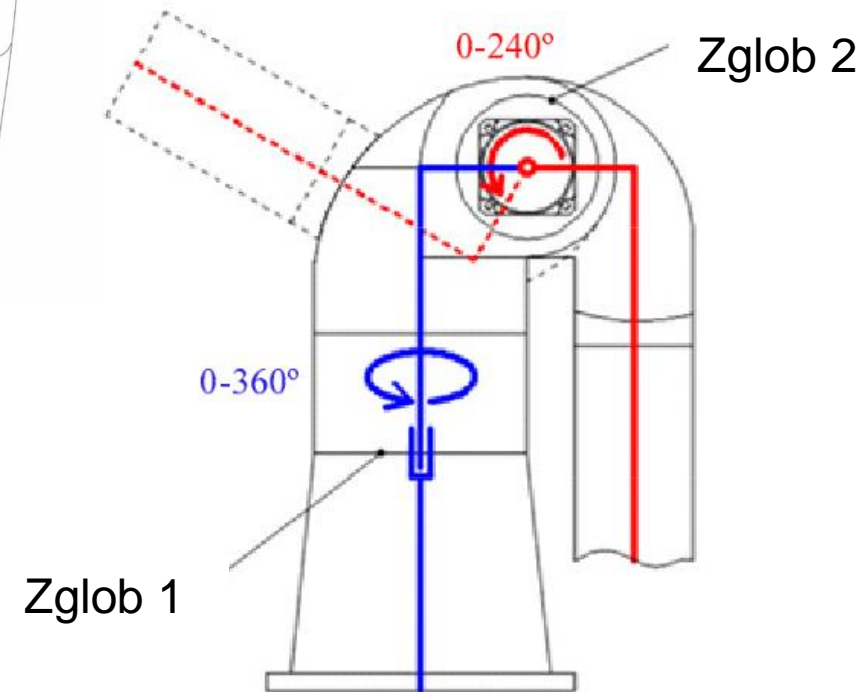
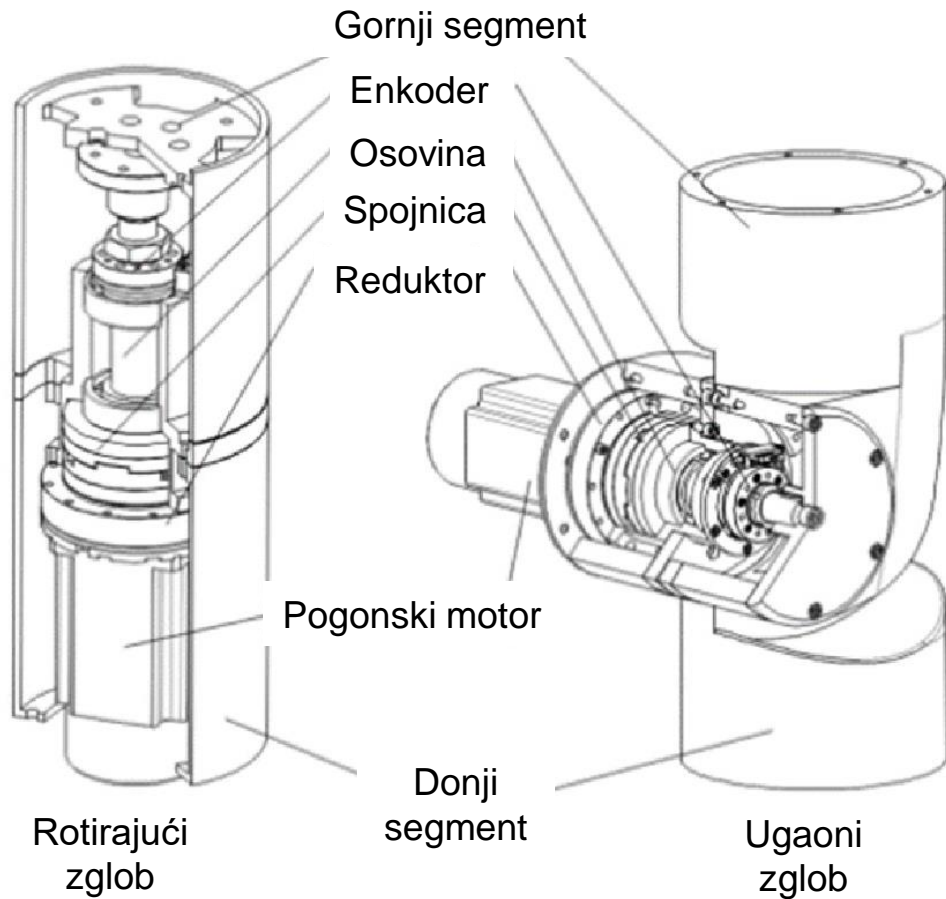
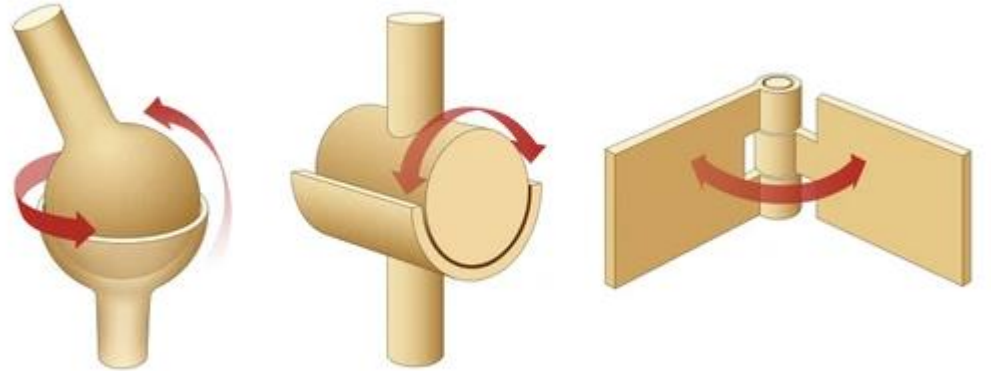
Postolja sa magnetima



Postolja sa vakumom

# Zglobne veze

U zglobovima su smešteni enkoderi (davači pozicije) koji u realnom vremenu očitavaju i šalju računaru informaciju o položaju zgloba.



# Merna zapremina (prostor 3D digitalizacije)

Zglobne merne ruke se mogu značajno razlikovati u pogledu merne zapremine u okviru koje mogu da mere radne predmete.

**Veličina merne zapremine je u direktnoj zavisnosti od broja i dužine segmenata.**

Na tržištu su danas dostupne zglobne merne ruke koje karakterišu merne zapremine prečnika od 1 m do 5 m.



# Merna zapremina (prostor 3D digitalizacije)

Veličina merne zapremine zglobne merne ruke je 3D prostor oblika sfere u kojem je datim mernim senzorom moguće realizovati 3D digitalizaciju.



Merna zapremina



# Merna zapremina (prostor 3D digitalizacije)

Merna zapremina se kod ovih sistema često naziva i **iskoristivom mernom zapreminom** da bi se napravila razlika u odnosu na veličinu koja se naziva **maksimalni doseg** zglobne merne ruke, a koja je oko 10 do 15 % veća od prečnika iskoristive merne zapremine.



# Merna zapremina (prostor 3D digitalizacije)

Tačnost je obično obrnuto proporcionalna veličini merne zapremine zglobne merne ruke – manja merna zapremina implicira veću mernu tačnost.

Razlog za ovo su bolje kinematske karakteristike kraćih segmenata.

# Senzorski sistemi

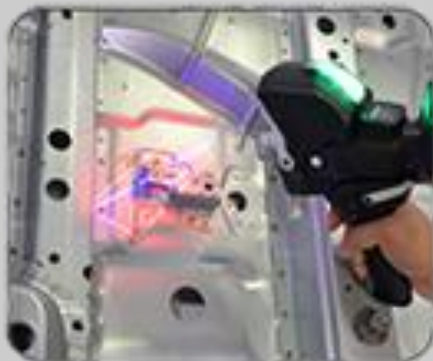
## Kontakt (taktilni)



Merenje diskretnih tačaka.

## Beskontakni

### Laserski linijski ili mrežni (grid)



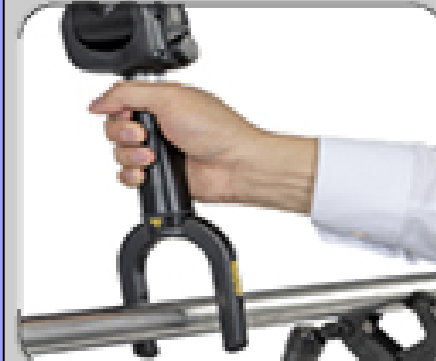
Brza akvizicija tačaka.

### Senzorski sistem na bazi strukturirane svetlosti



Skeniranje većih površina.

### Infracrveni laserski senzorski sistem



Za merenje cevi kružnog poprečnog preseka.

### Senzorski sistem na bazi mašinskog učenja



Za kontrolu teksture i vizuelnih grešaka na materijalu.

# Kontaktни (taktilni) senzori

Ova grupa senzora omogućava merenje na bazi kontakta sa merenim delom.

Taktilni senzori se dele na:

- Krute senzore
- „Tačka-po-tačka“ senzore
- Kontinualne senzore.



# Kontaktne senzorske sisteme

- Kontaktne merni senzor kod ove vrste uređaja može biti krutog tipa, ali se danas se sve češće sreću i “tačka po tačka” i kontinualni senzori. Osetljivost ovih senzora ide i do 0,01N.
- Upravljanje 3D mernim rukama, odnosno dovođenje senzora u mernu poziciju je ručno.

Set ROMER kontaktnih senzora



# Akvizicija podataka

Akvizicija podataka može biti:

**1) manuelna** - operater pritiskom na taster (ili papučicu) daje signal softverskoj podršci da memoriše koordinate trenutne pozicije vrha mernog pipka.

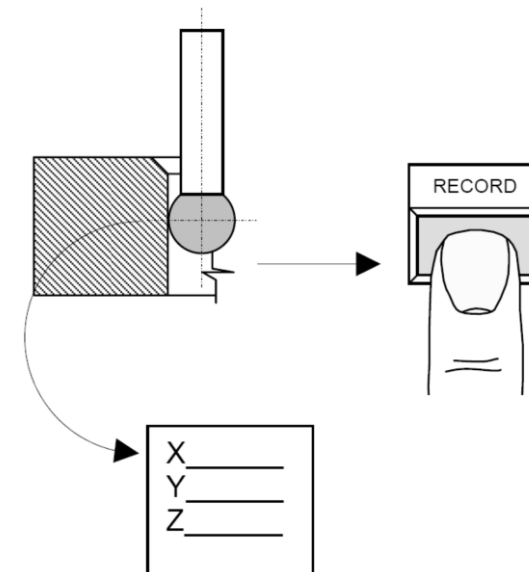
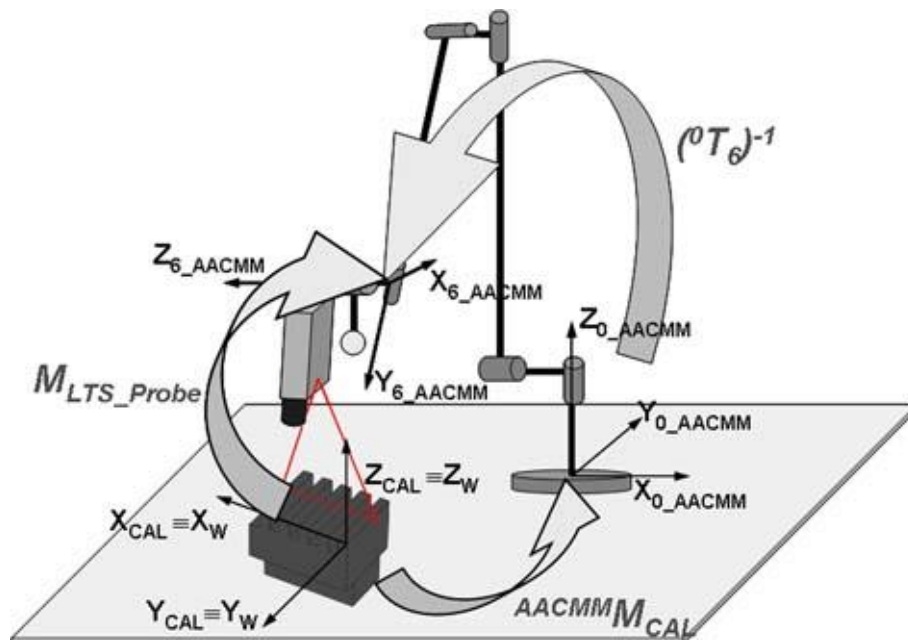
**2) poluautomatska** - na osnovu manuelno zadatog signala, softverska podrška automatski prikuplja podatke u različitim režimima. Režimi mogu biti definisani vremenskim domenom, pređenim putem ili pomoću pre-definisanim paralelnim ravanskim presecima, u skladu sa koordinatnim sistemom i rezolucijom.



# Akvizicija podataka (tačka po tačka)

Sferni kruti senzori koriste se tako što korisnik ručno dovodi sferu u fizički kontakt sa površinom koju digitalizuje, a zatim dugmetom (ili pedalom) omogućava snimanje koordinata centra sfere senzora putem mernog sistema koji objedinjuje segmente i ose.

Princip merenja je zasnovan na vektorskom izračunavanju pozicije vrha mernog pipka preko (opto-elektronskih) senzora položaja u zglobovima, koji daju informaciju o uglovima zakretanja segmenata i poznatih dužina segmenata koji se zatim transformišu u x, y i z koordinate.



# Kontaktni senzorski sistemi

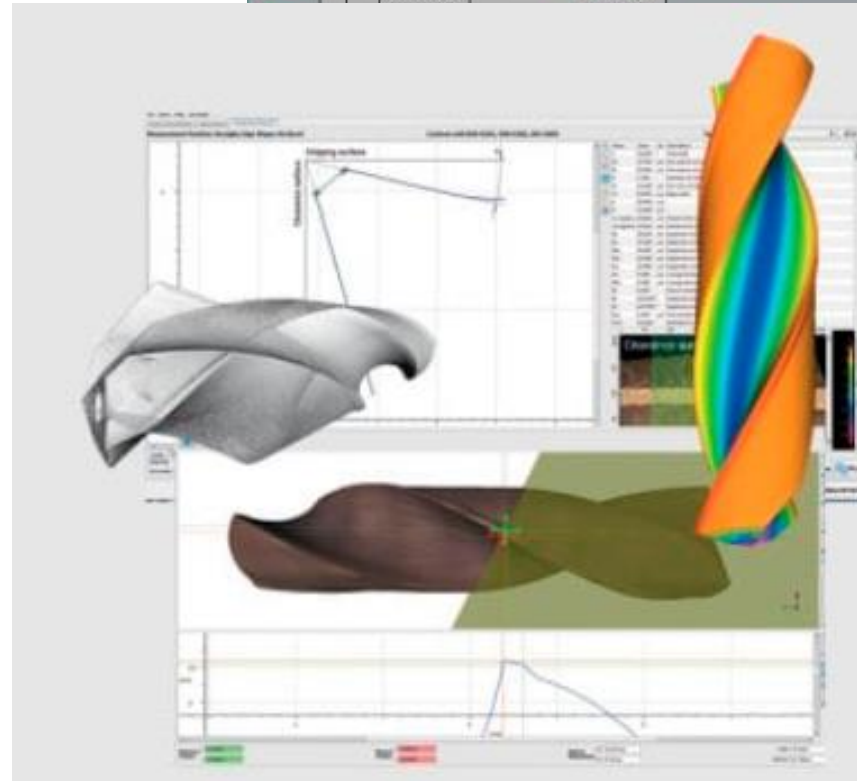
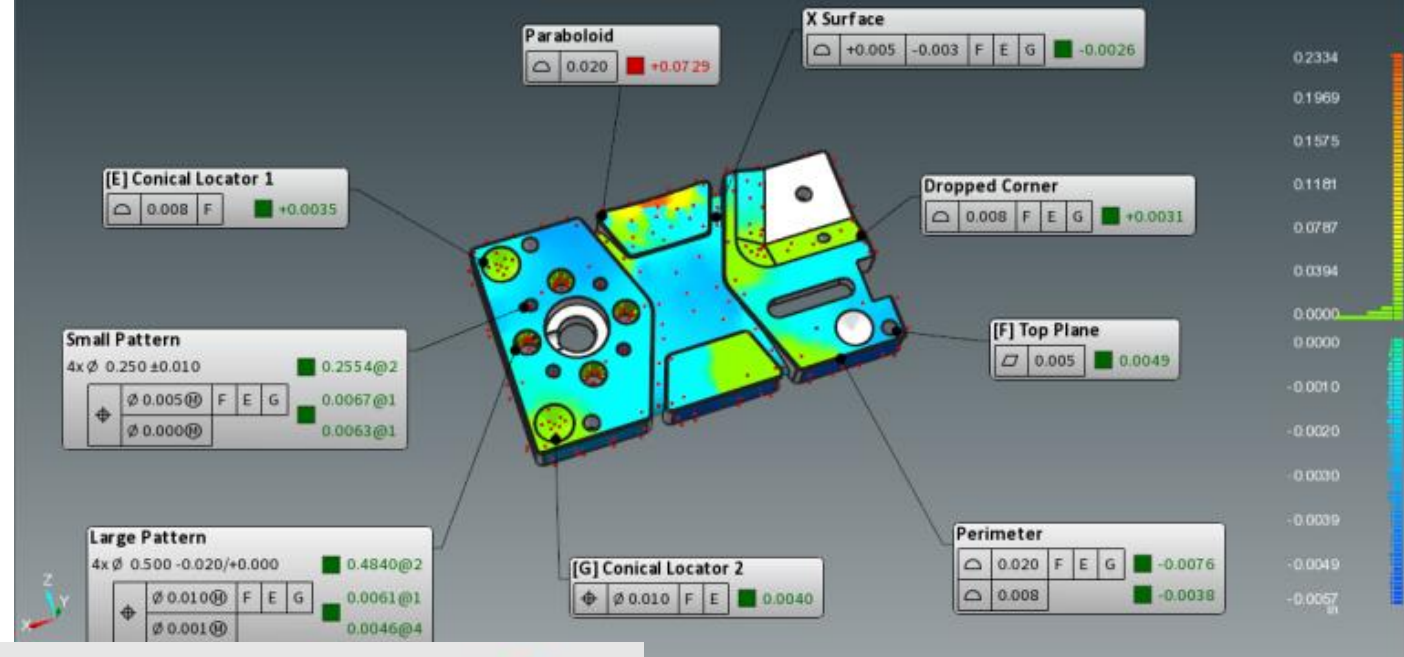
- Merni pipci se najčešće izvode kao sferni, ili konični,
- Prečnik sfere se kreće od 2 do 20mm,
- Dužina mernog pipka može da varira do čak 250mm,
- Prema obliku merni pipci mogu biti pravi ili zakrivljeni,
- Prema nameni mogu biti i specijalni.





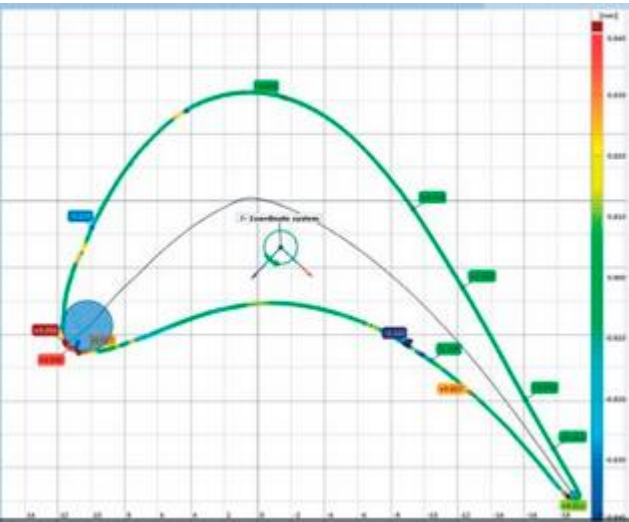
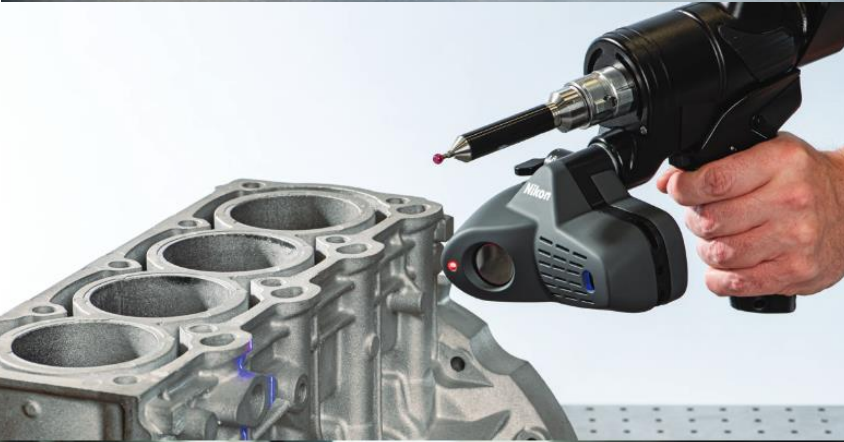
# Primena mernih ruku

- 3D digitalizacija
- Dimenziona analiza
- Kontrola prvog komada
- CAD- Inspekcija



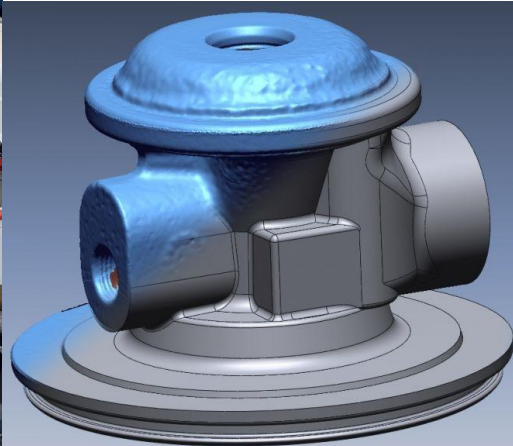
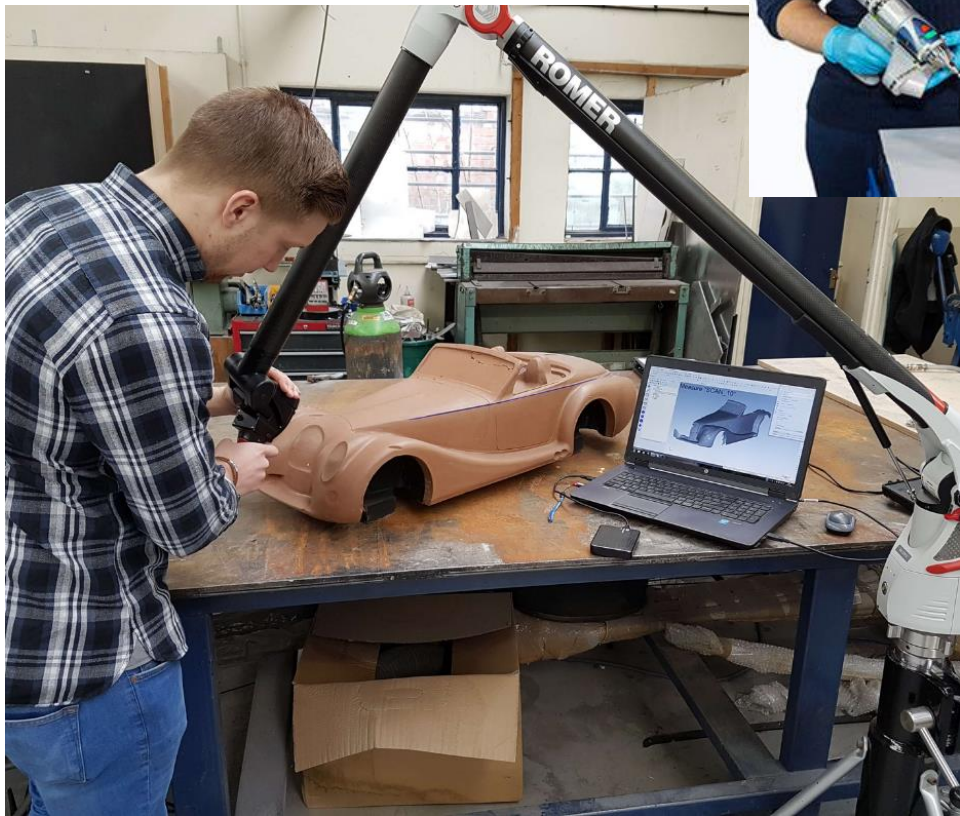
# Primena mernih ruku (industrije)

- Mašinska industrija
- Auto industrija
- Avio industrija itd.



# Primena mernih ruku

- Reverzibilno inženjerstvo
- 3D digitalizacija



# Primena mernih ruku

- Pozicioniranje alata, pribora i obradaka





**HEXAGON**  
MANUFACTURING INTELLIGENCE

[hexagonmi.com](http://hexagonmi.com) | [@hexagonmi](https://twitter.com/hexagonmi)



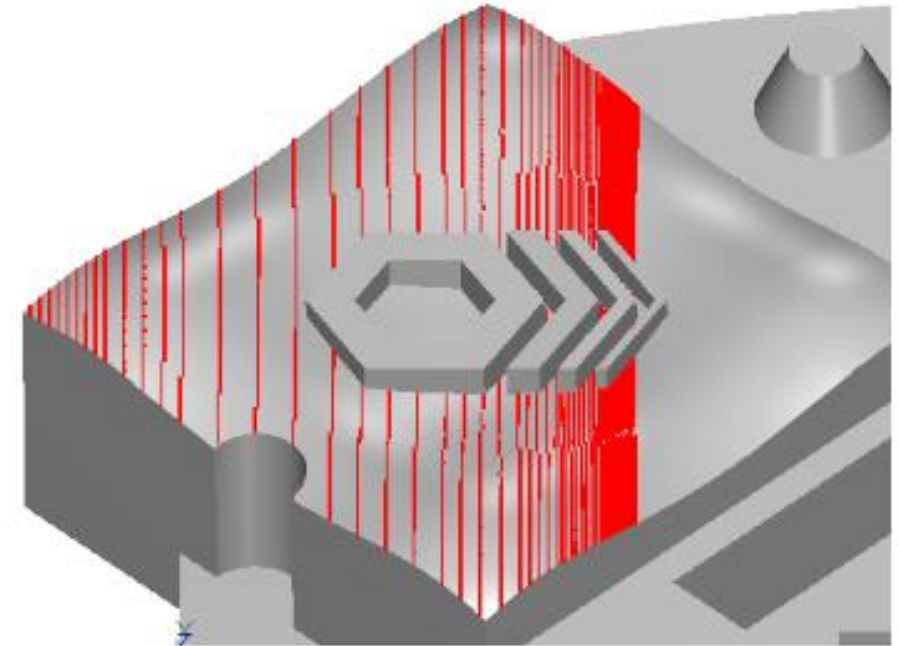
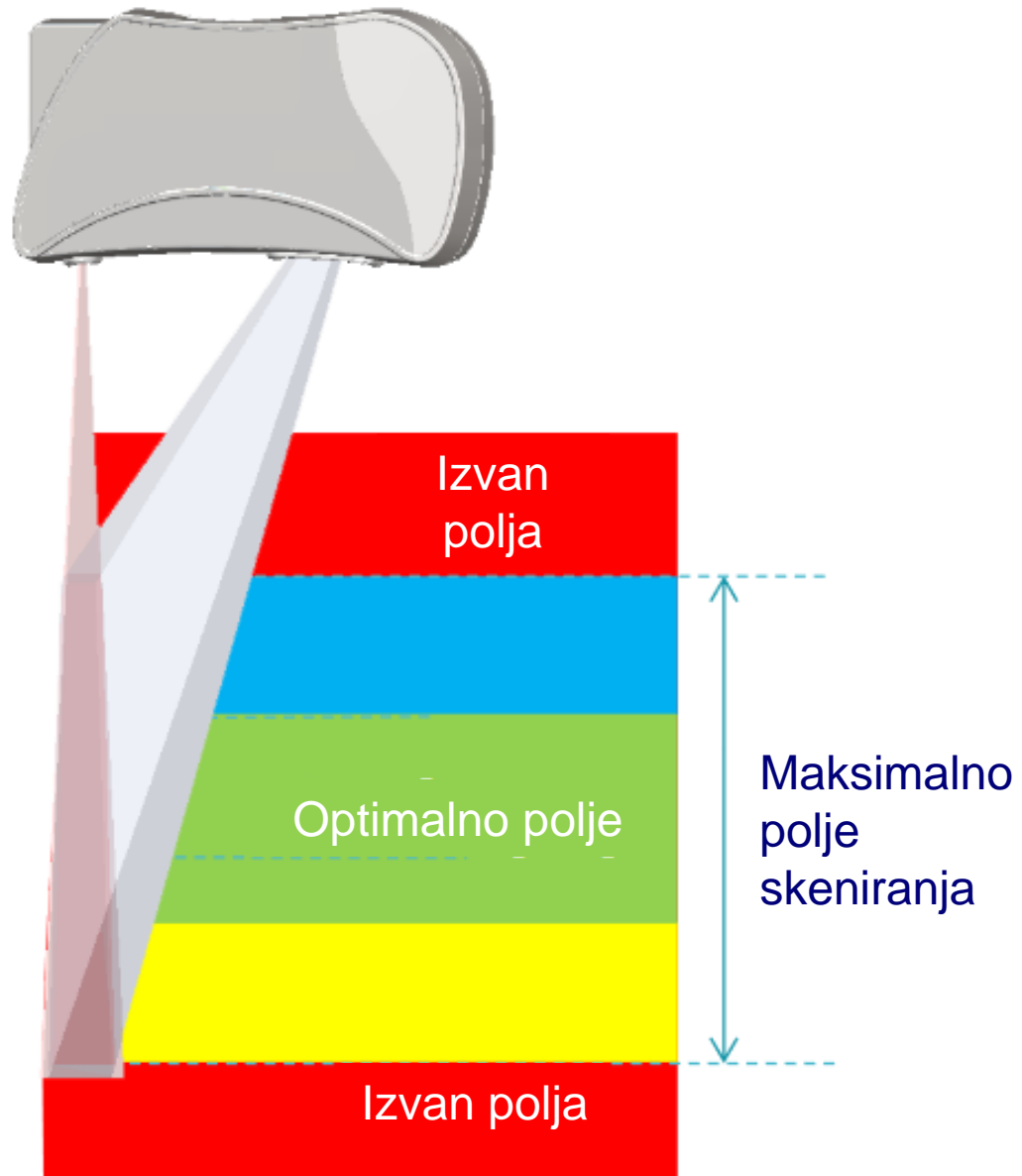
# Laserski senzorski sistemi

- Dužina laserske linije najčešće se kreće oko 150 - 200
- Bazirani na triangulaciji

Usaglašenost sa ISO 10360-8



# Laserski senzorski sistemi



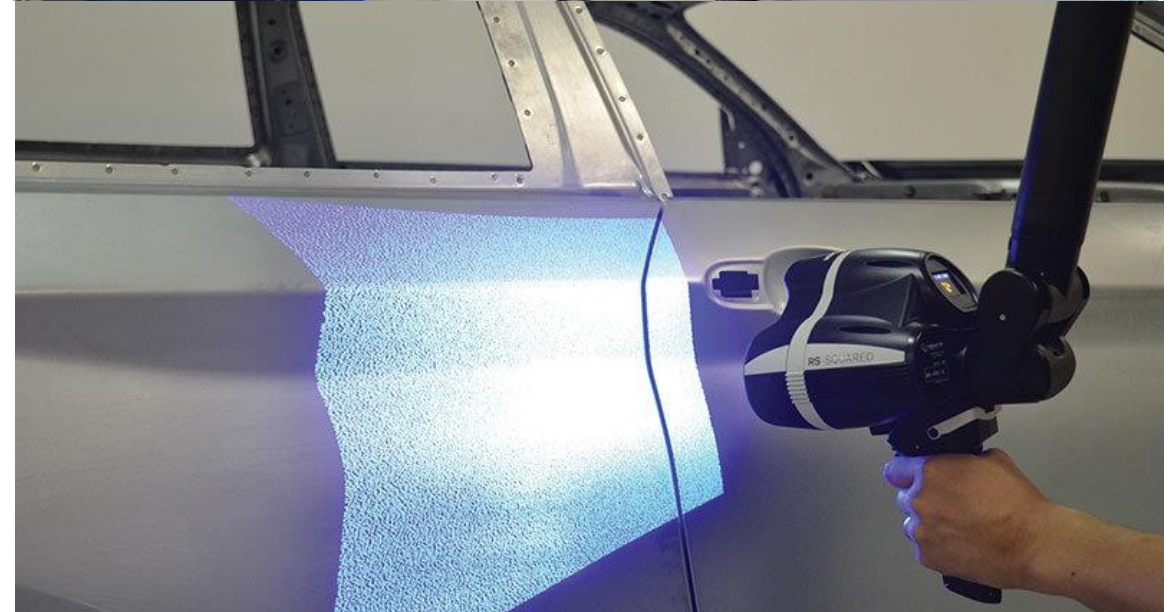
The image features a dark blue background with a subtle network of white nodes and lines, resembling a molecular or data structure. A gradient of red and orange light is visible at the bottom. The word "Kreon" is written in a white, cursive font in the top right corner.

*Kreon*



# Senzorski sistemi na bazi strukturiranog svetla

- Bazirani su na naprednoj tehnologiji skeniranja pomoću strukturiranog svetla.
- Koristi se bela svetlost prilikom projektovanja paterna na površinu koja se skenira.
- Omogućavajući veliku površinu skeniranja.



# **RS-SQUARED Area Scanner**

High-speed structured light scanning  
for the Absolute Arm

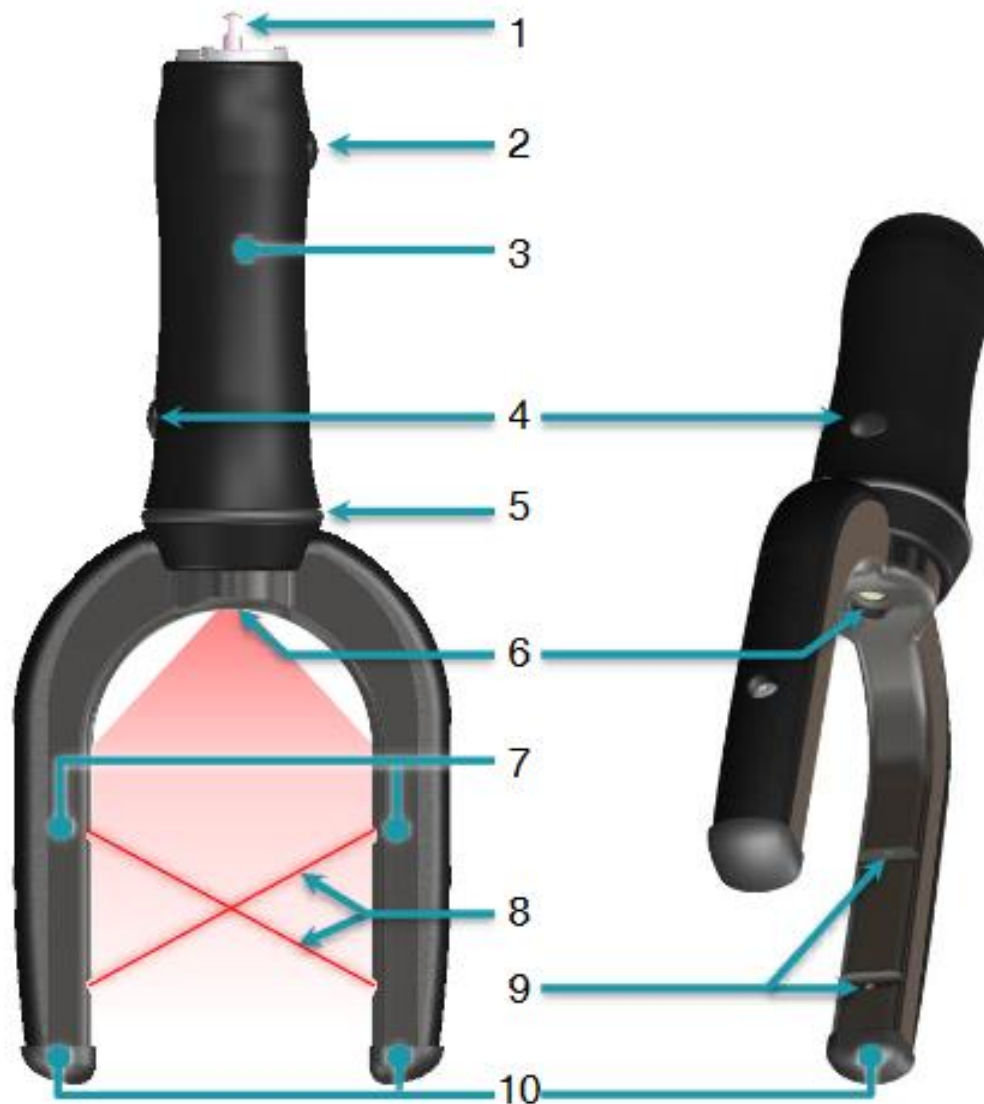


# Infracrveni laserski senzorski sistem

- Beskontaktna sonda u obliku viljuške služi za merenje svih vrsti cevi i creva kružnog poprečnog preseka.
- Laserska tačka vodi korisnika kako bi izvršio što tačnije merenje.
- Viljuške se izrađuju u različitim veličinama.



# Infrared laserski senzorski sistem



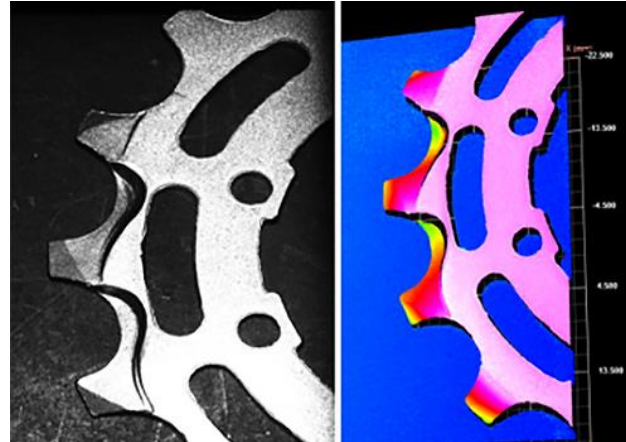
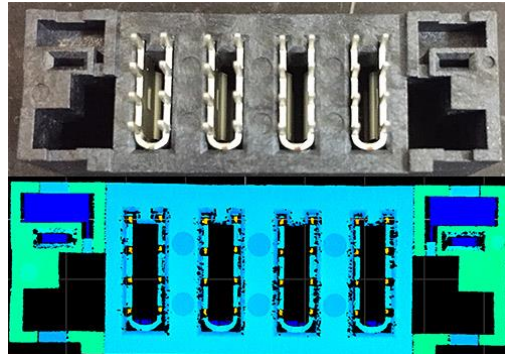
1. Konektor
2. Taster
3. Ručka
4. Laser On/Off dugme
5. Zaštitni O-prsten
6. Laser
7. Viljuška
8. Infracrveni zraci
9. Infracrveni predajnik/prijemnik
10. Zaštitni gumeni čepovi



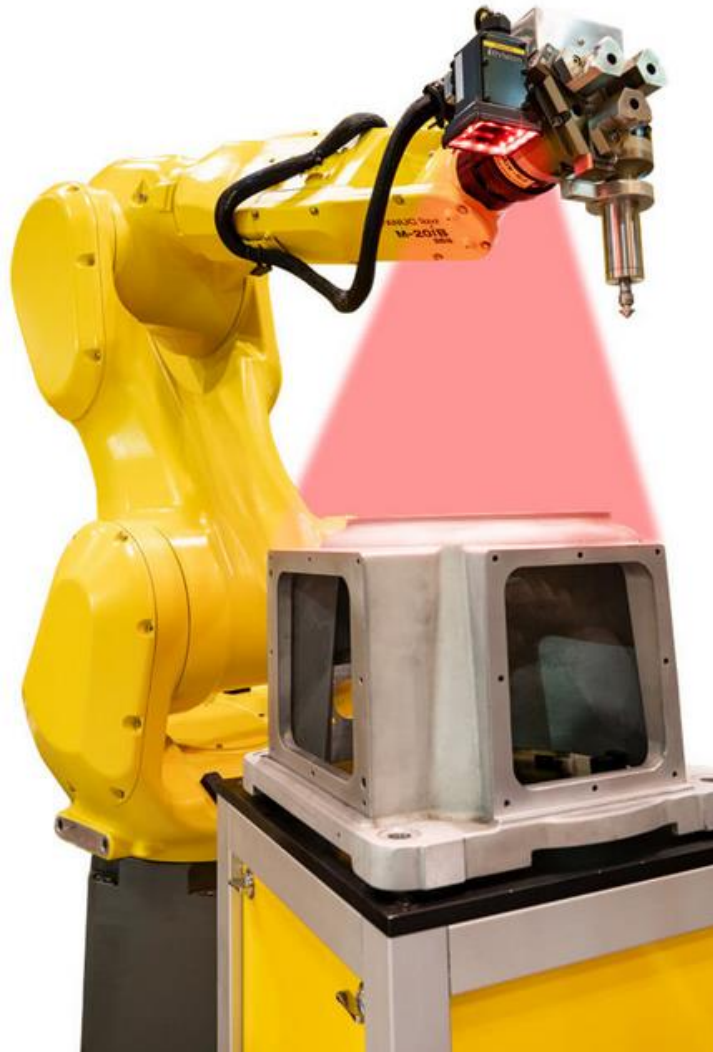
**SIKORA**  
LASER 6040 XY

# Senzorski sistem na bazi mašinskog učenja

- Koristi principe mašinskog učenja.
- Služe za prepoznavanje nasumično složenih delova u tri dimenzije, omogućavajući tako brzu kontrolu povećavajući proizvodnost.



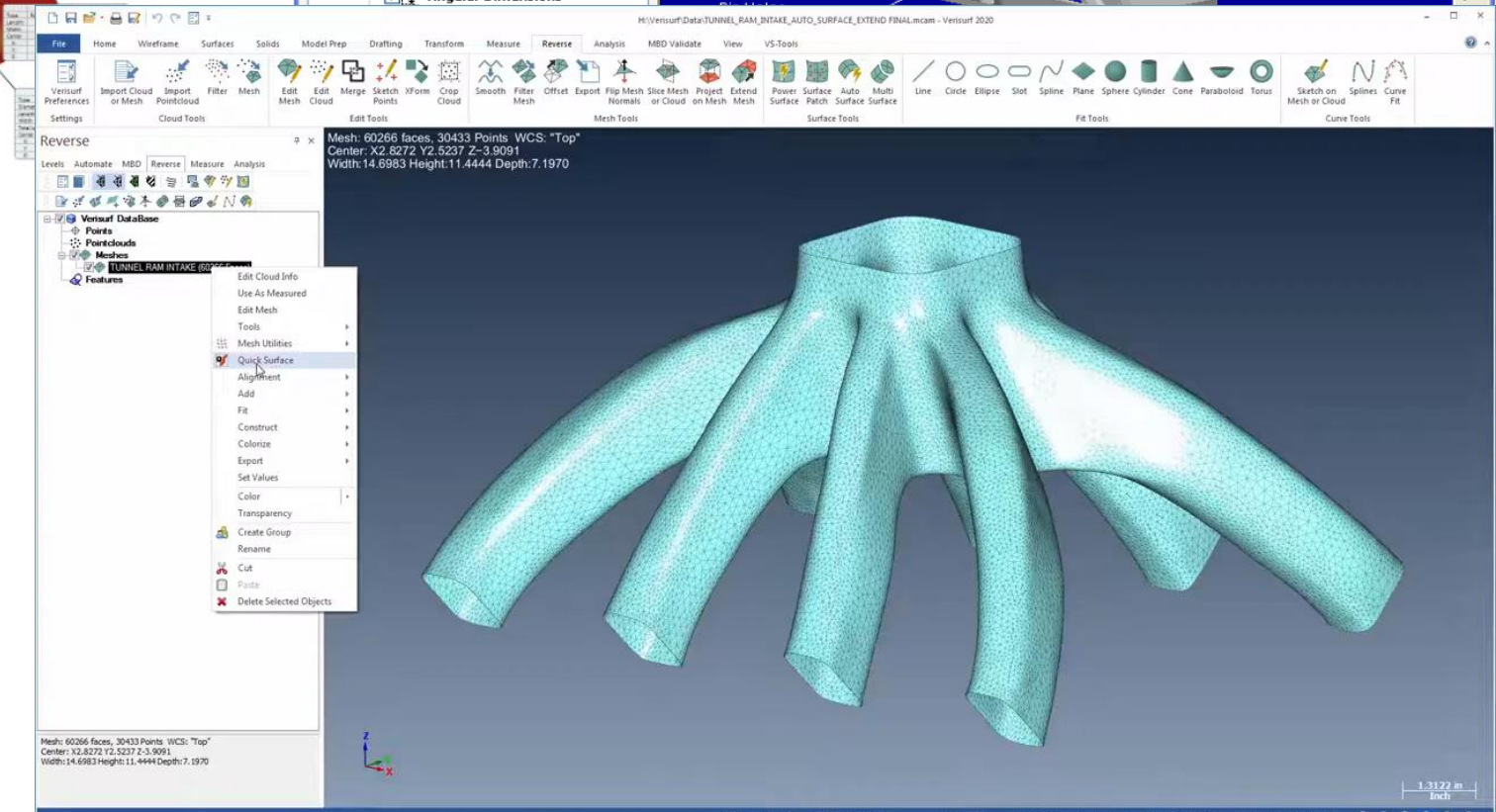
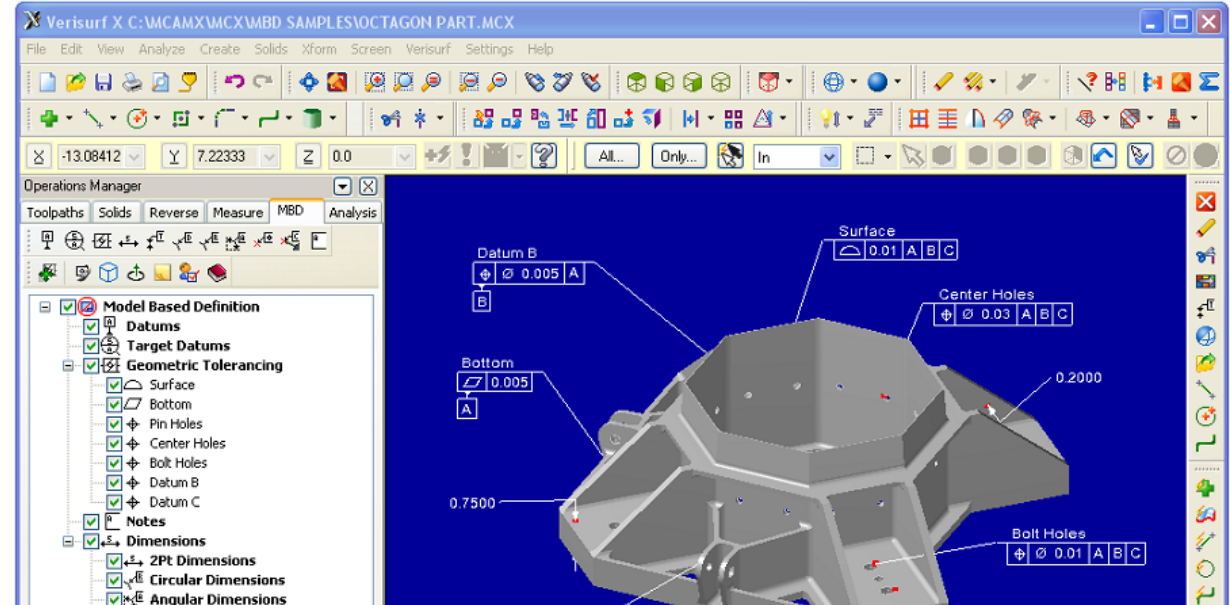
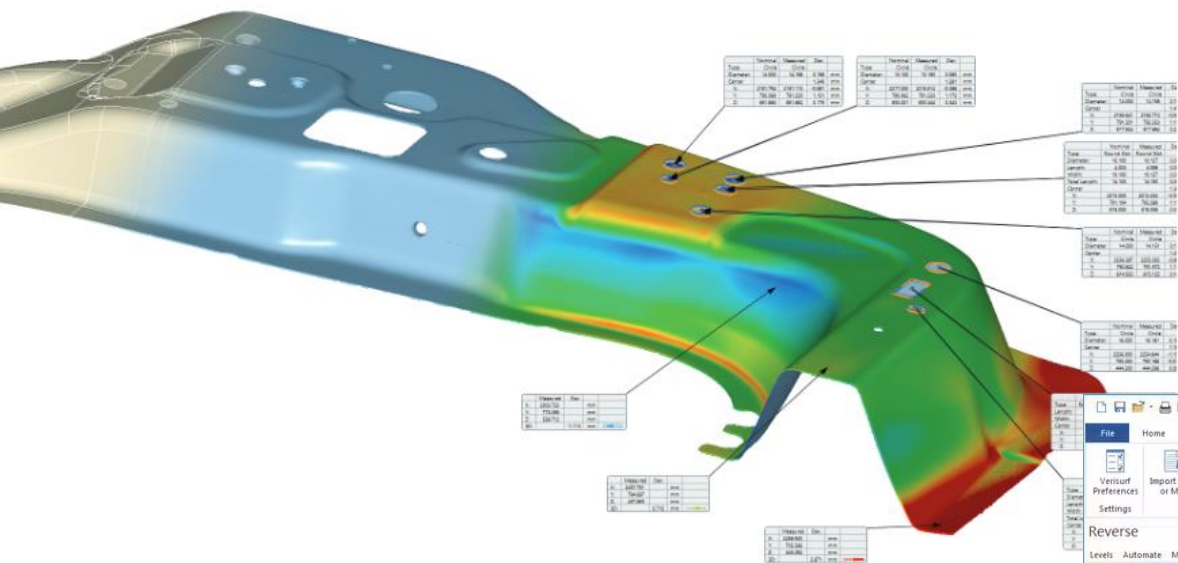
# Senzorski sistem na bazi mašinskog učenja







# Softverska podrška



- Kompatibilnost (uvoz/izvoz različnih formata)
- Rekonstrukcija geometrijskih primitiva
- Parametarsko modelovanje
- Automatska ekstrakcija površina
- CAD inspekcija
- Kreiranje izveštaja

# Prednosti / Nedostaci

**Prednosti** ove vrste uređaja za 3D-digitalizaciju:

- + mobilnost,
- + primenljivost u različitim okruženjima (od pogona do otvorenih prostora),
- + mogućnost jednostavne 3D-digitalizacije većih objekata (iz nekoliko mernih pozicija).
- + hibridni senzorski sistemi

**Nedostaci** su:

- manja tačnost u odnosu na stacionarne merne mašine,
- optički senzori mogu biti osetljivi na refleksiju i tamne boje materijala

# Pitanja?

