

Univerzitet u Novom Sadu  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
Animacija u inženjerstvu  
Predmet: Metode 3D digitalizacije

# 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.



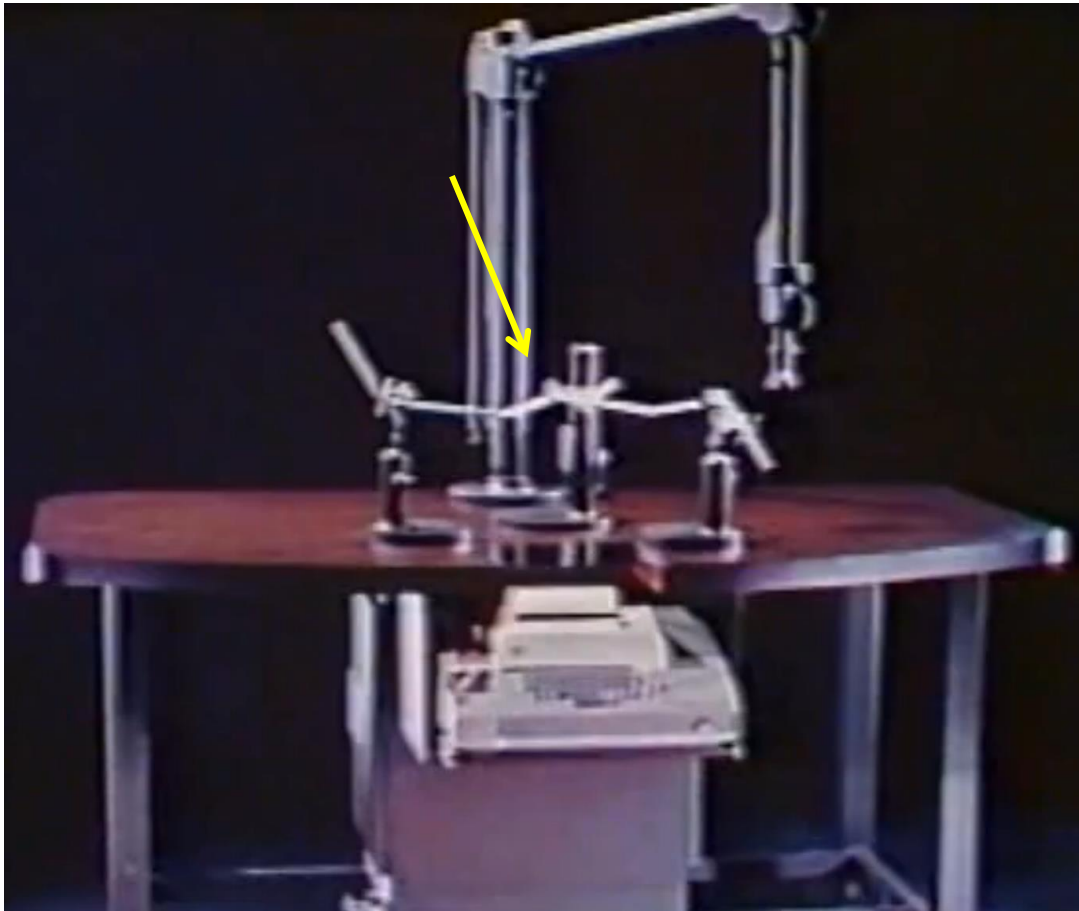
# Istorijski razvoj

- 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.

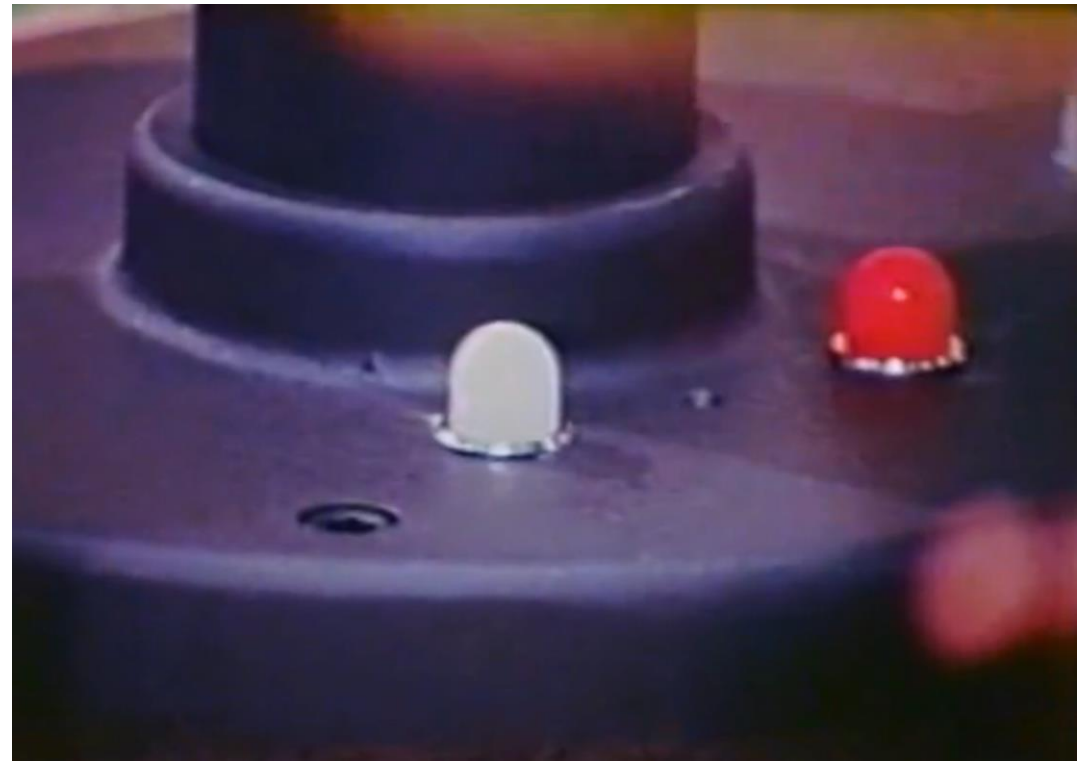


# Istorijski razvoj

- 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.

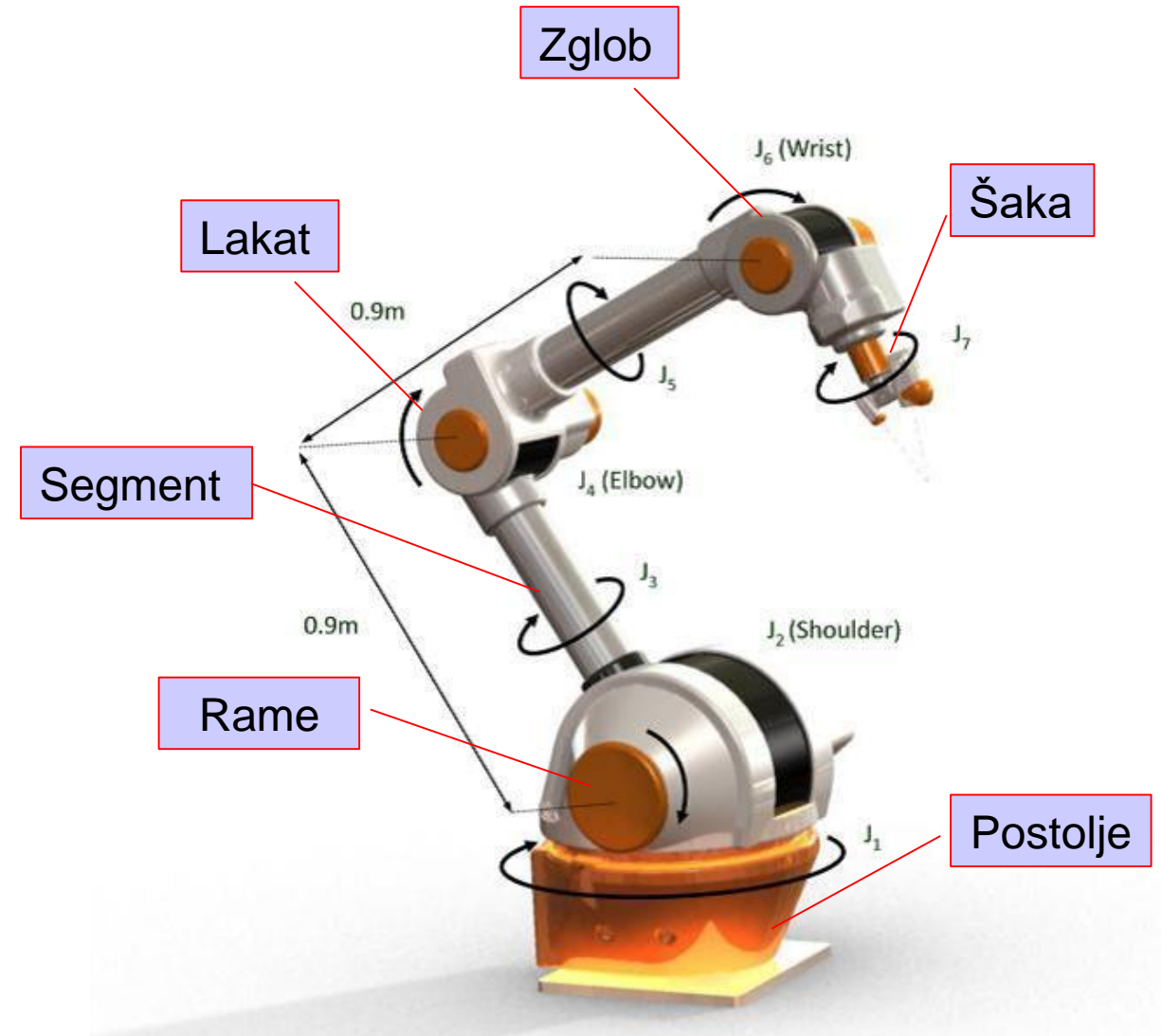
Karakteriše ih veliki broj različitih izvedbi i ...



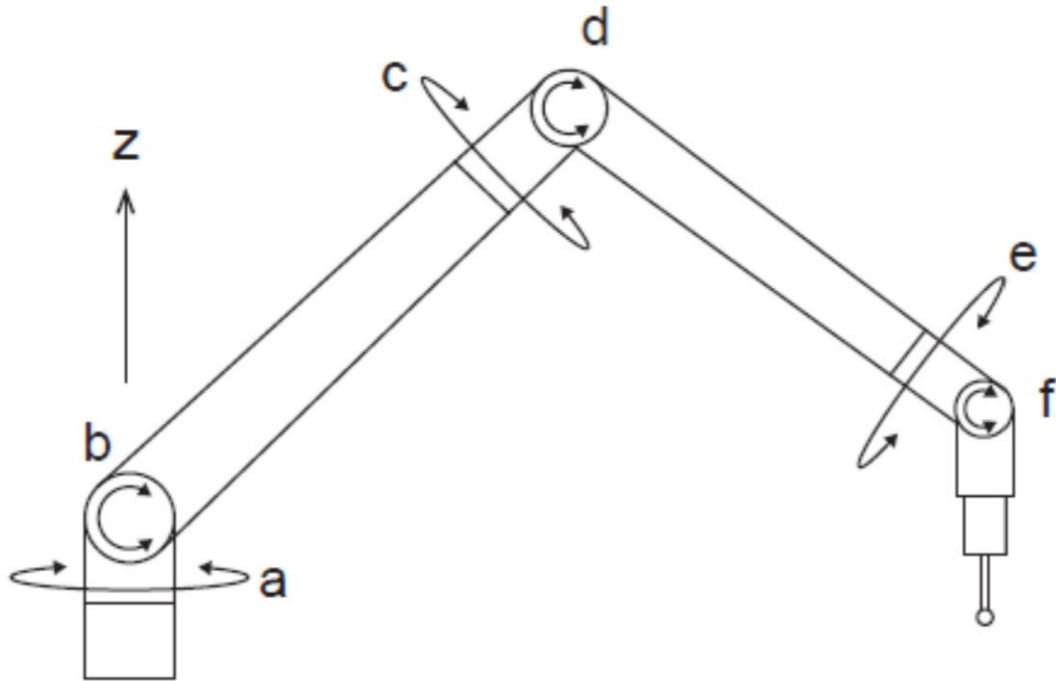
# Arhitektura

Konstrukciju ovih uređaja čine:

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

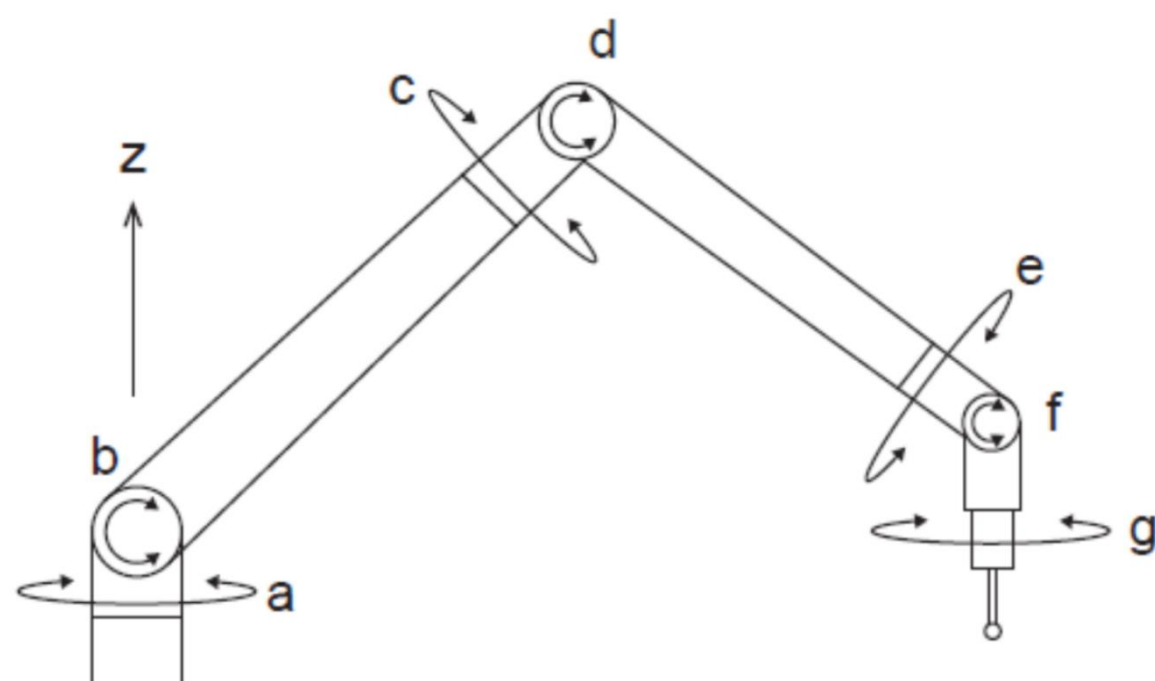


# Arhitektura



6 osa

Kontakni senzorski sistemi

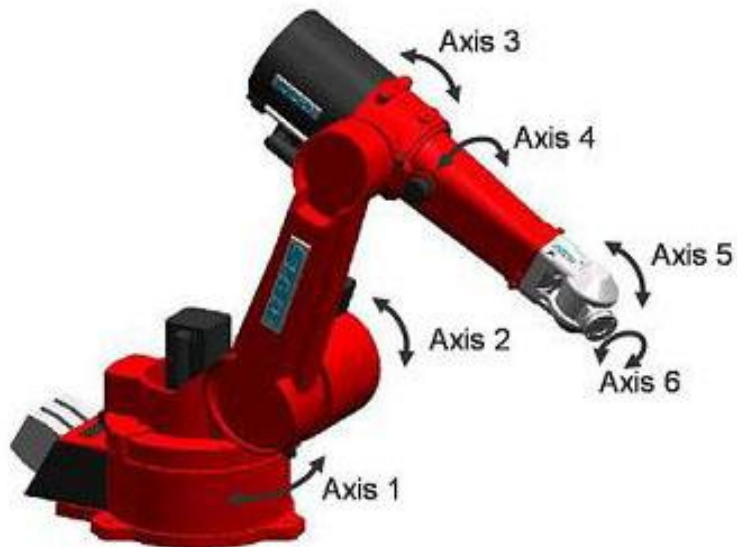


7 osa

Beskontaktni sezorski sistemi

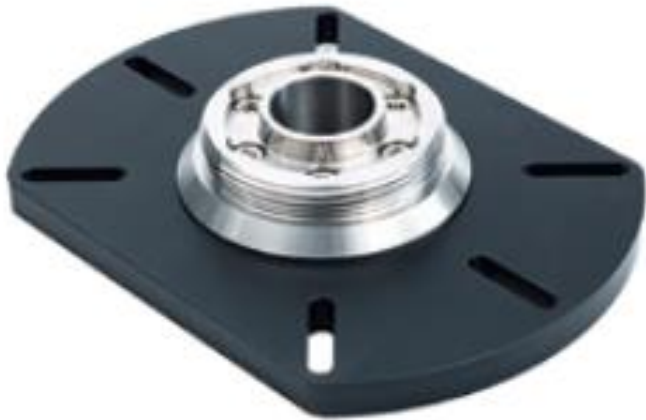
# Arhitektura

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



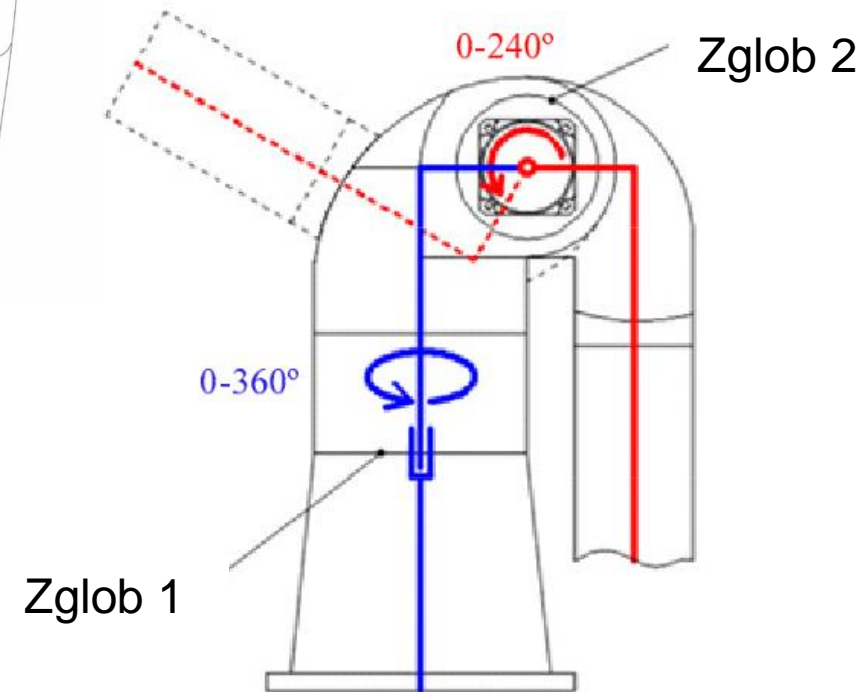
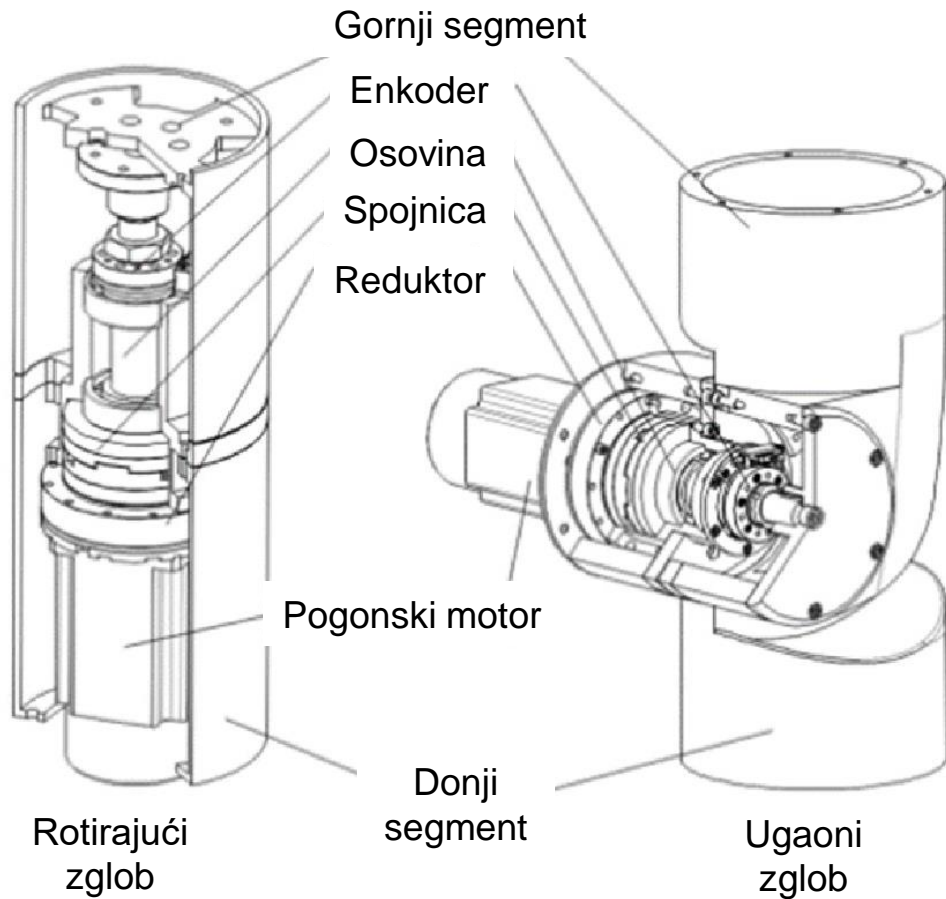
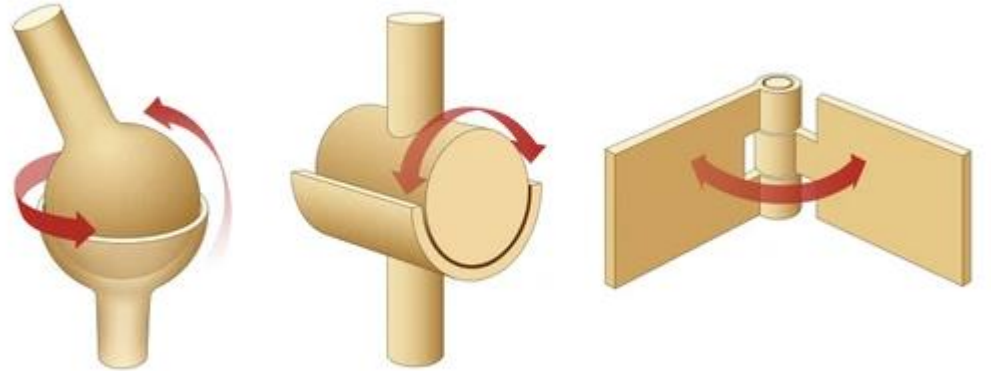
Postolja sa magnetima



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 koju mogu da realizuju 3D digitalizaciju.

**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



# 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 se kod ovih sistema često naziva i **iskoristivom mernom zapreminom** da bi se napravila razlika u odnosu na veličinu koja se naziva **maximalni 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

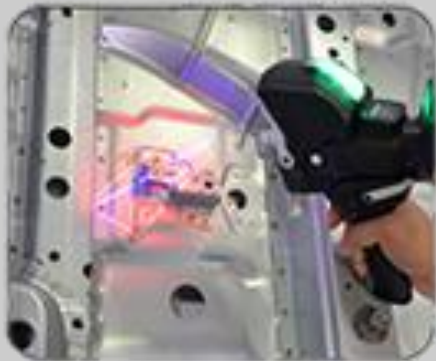
## Kontakt (taktilni)



Merenje diskretnih tačaka.

## Beskontakni

Laserski linijski ili mrežni (grid)



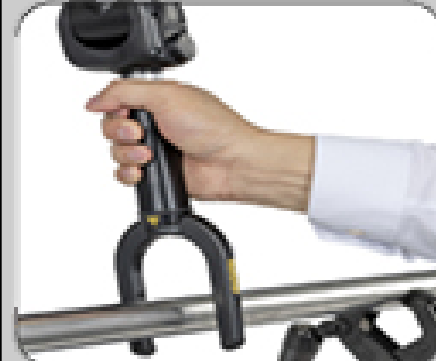
Brza akvizicija tačaka.

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.

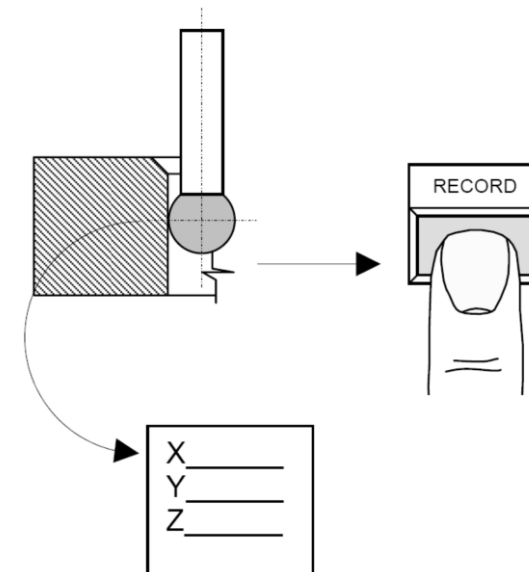
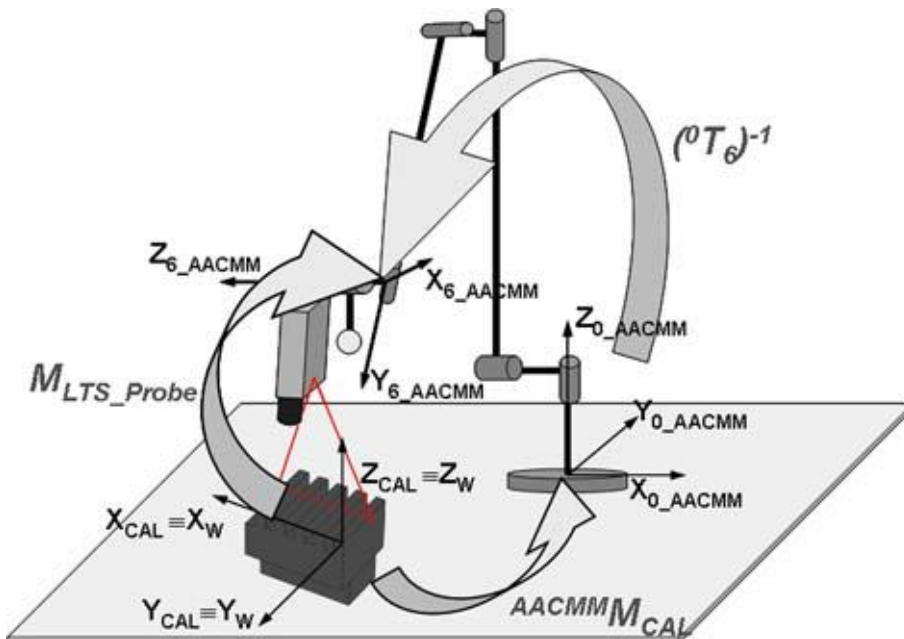
**2) poluautomatska** - na osnovu manuelno zadatog signala, softverska podrška automatski prikuplja podatke u različitim režimima. Režimi mogu biti definisani vremenskim domenom, pređenim putem ili pomoću pre-definisanim paralelnim ravanskim presecima, u skladu sa koordinatnim sistemom i rezolucijom.



# 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.



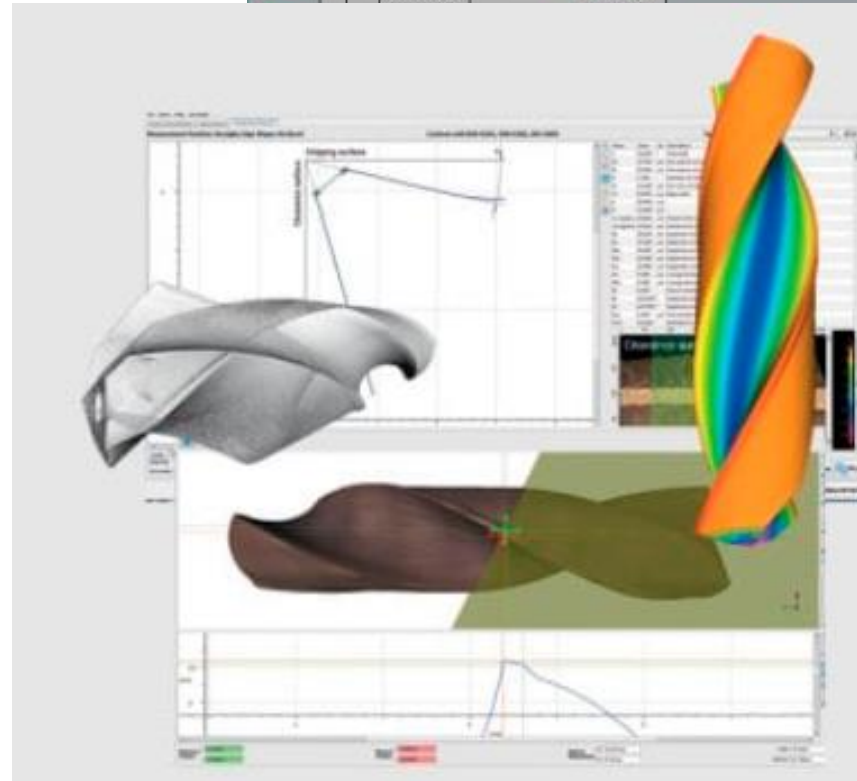
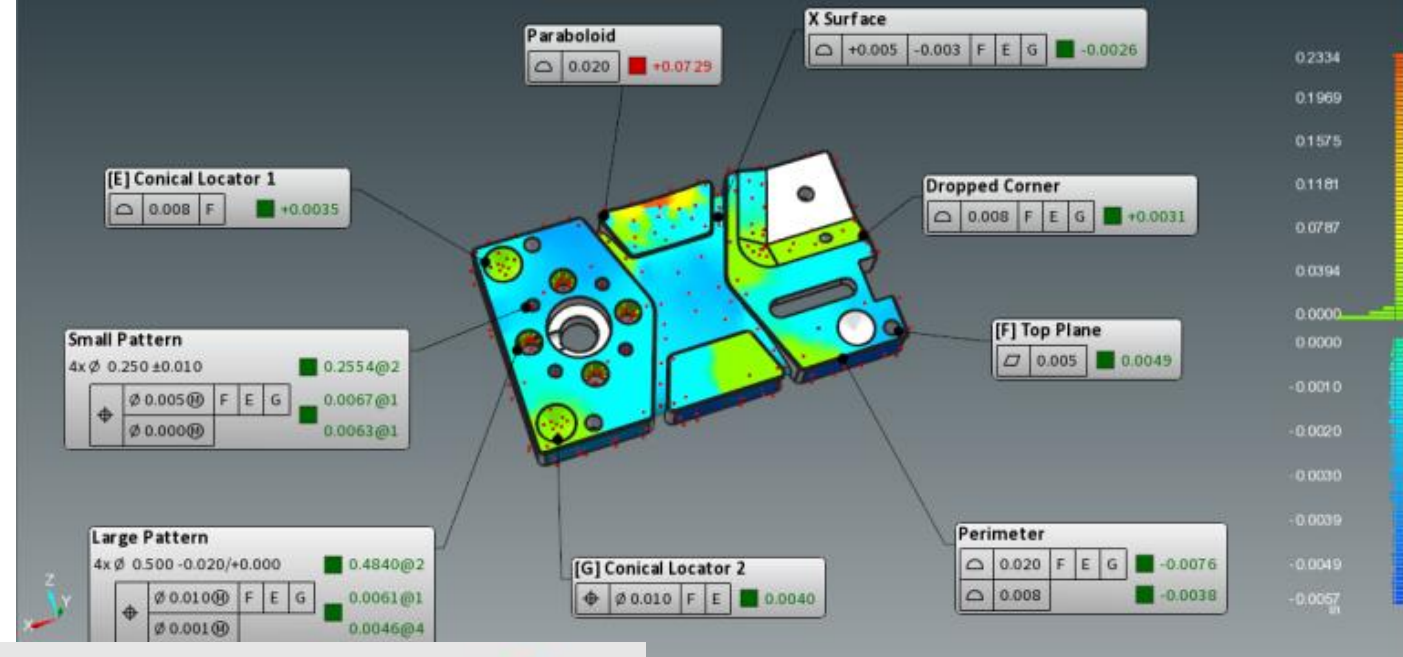
# Kontaktni senzorski sistemi

- 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

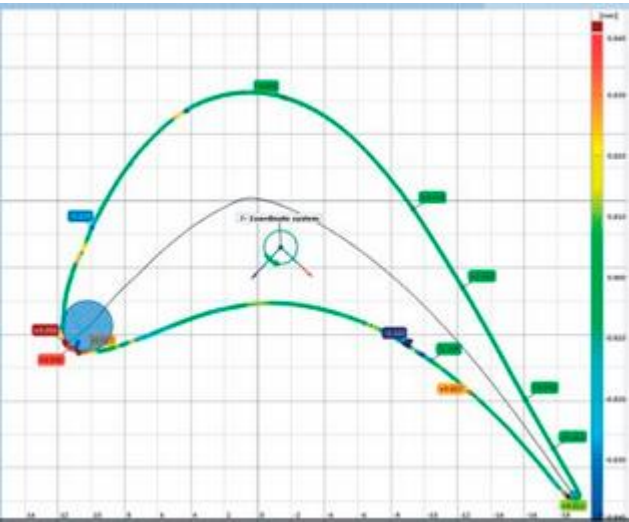
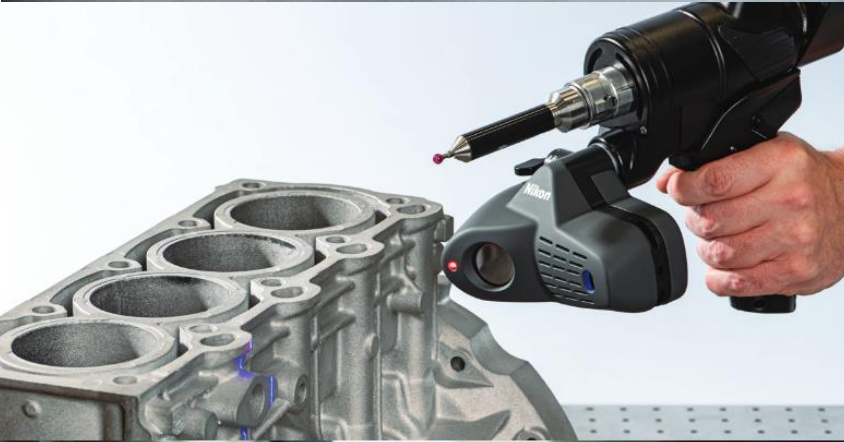
- 3D digitalizacija
- Dimenziona analiza
- Kontrola prvog komada
- CAD- Inspekcija





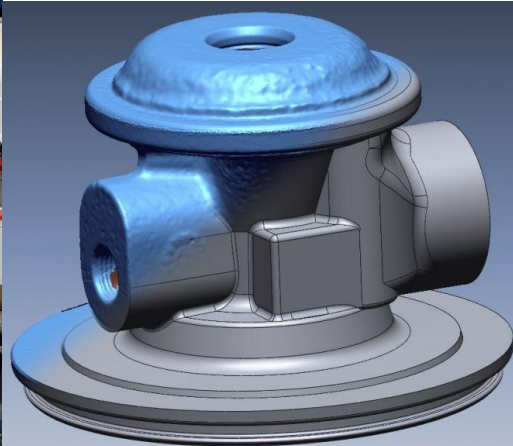
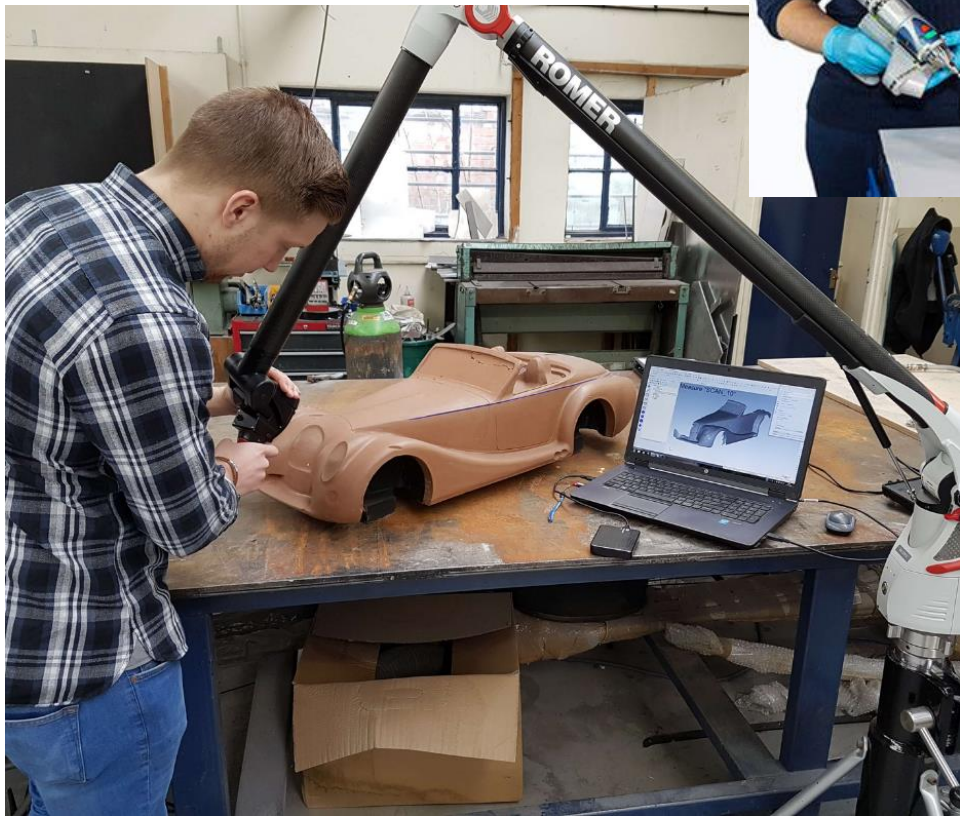
# Primena mernih ruku (industrije)

- 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)



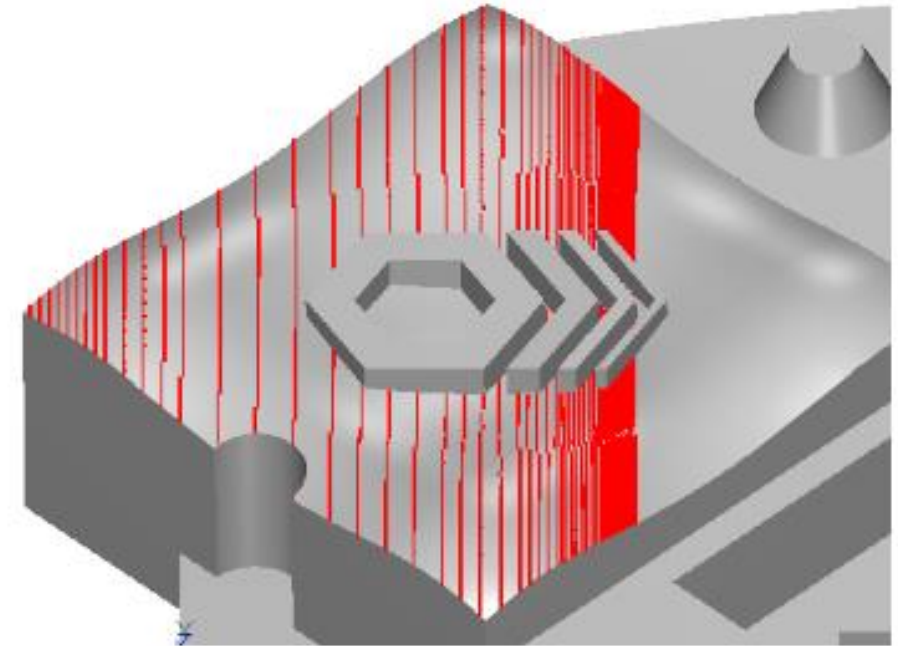
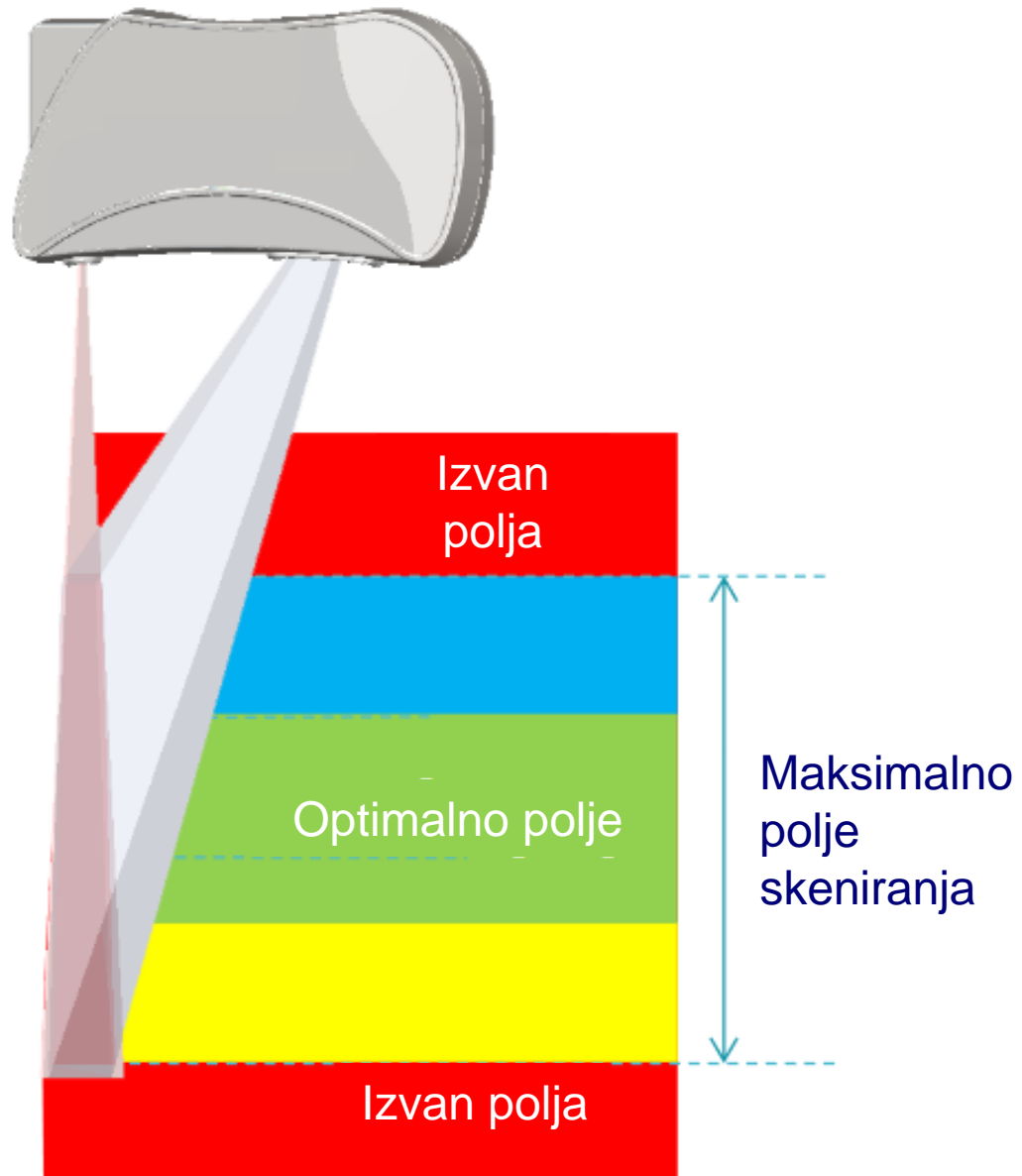
# Laserski senzorski sistemi

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

Usaglašenost sa ISO 10360-8



# Laserski senzorski sistemi

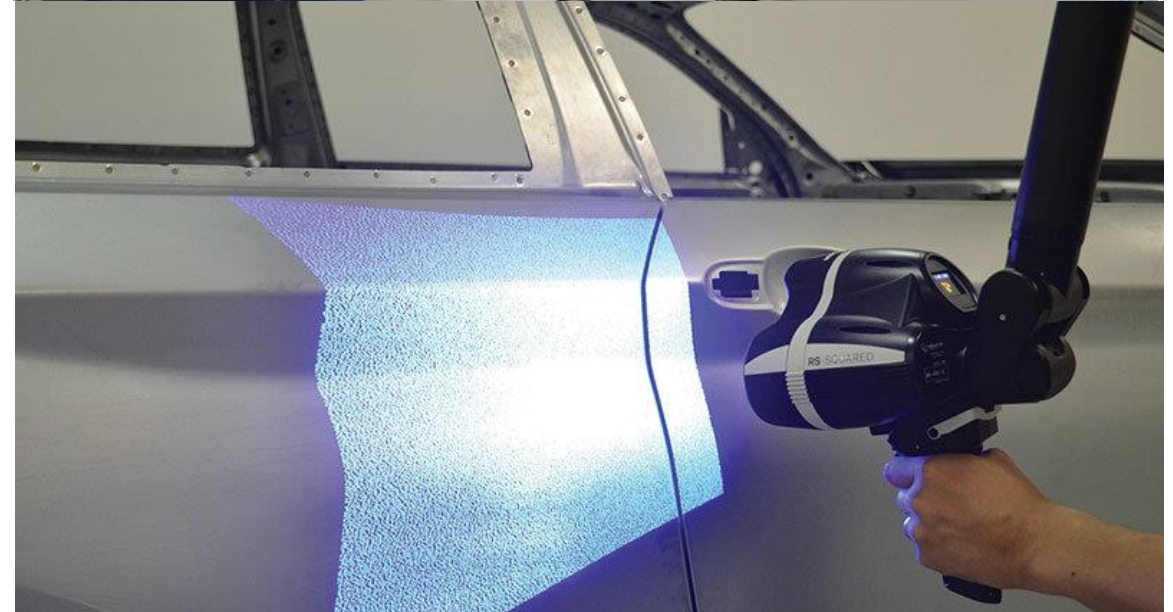




*Kreon*

# 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

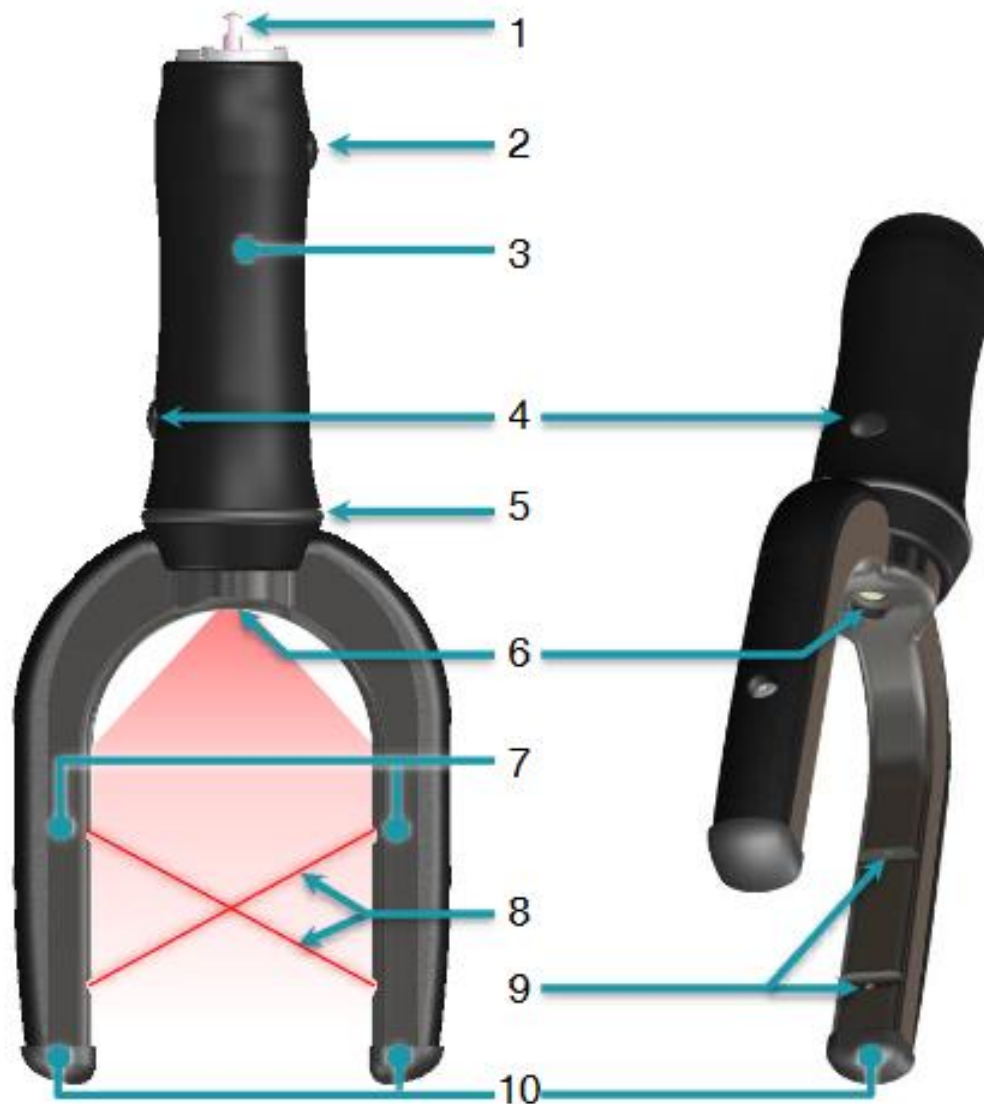


# Infracrveni laserski senzorski sistem

- 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



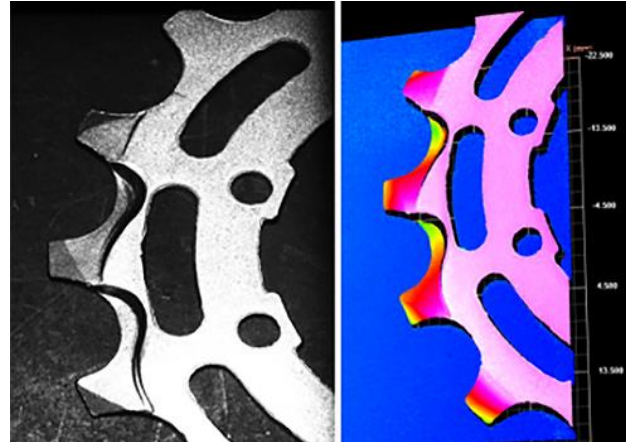
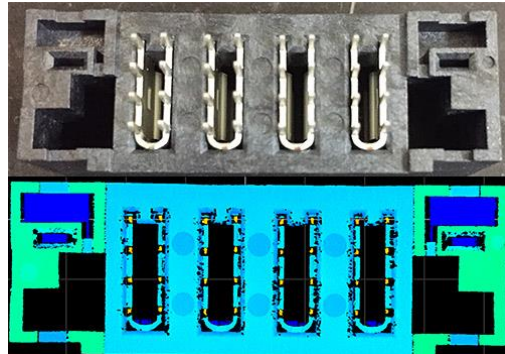
1. Konektor
2. Taster
3. Ručka
4. Laser On/Off dugme
5. Zaštitni O-prsten
6. Laser
7. Viljuška
8. Infracrveni zraci
9. Infracrveni predajnik/prijemnik
10. Zaštitni gumeni čepovi



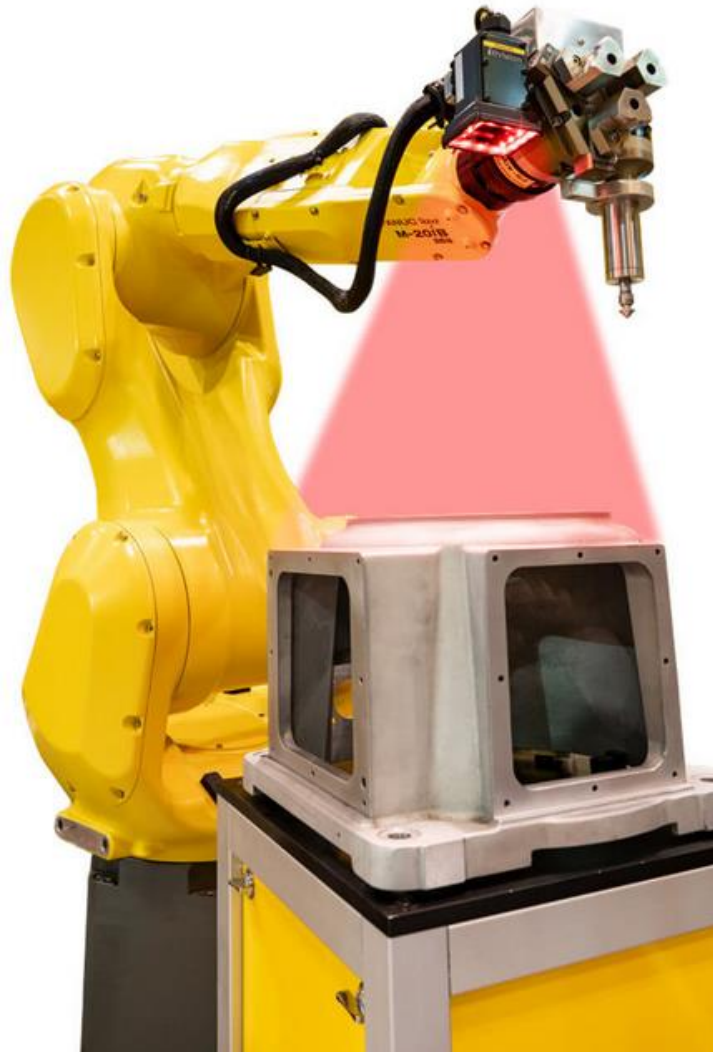
**SIKORA**  
LASER 6040 XY

# 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.

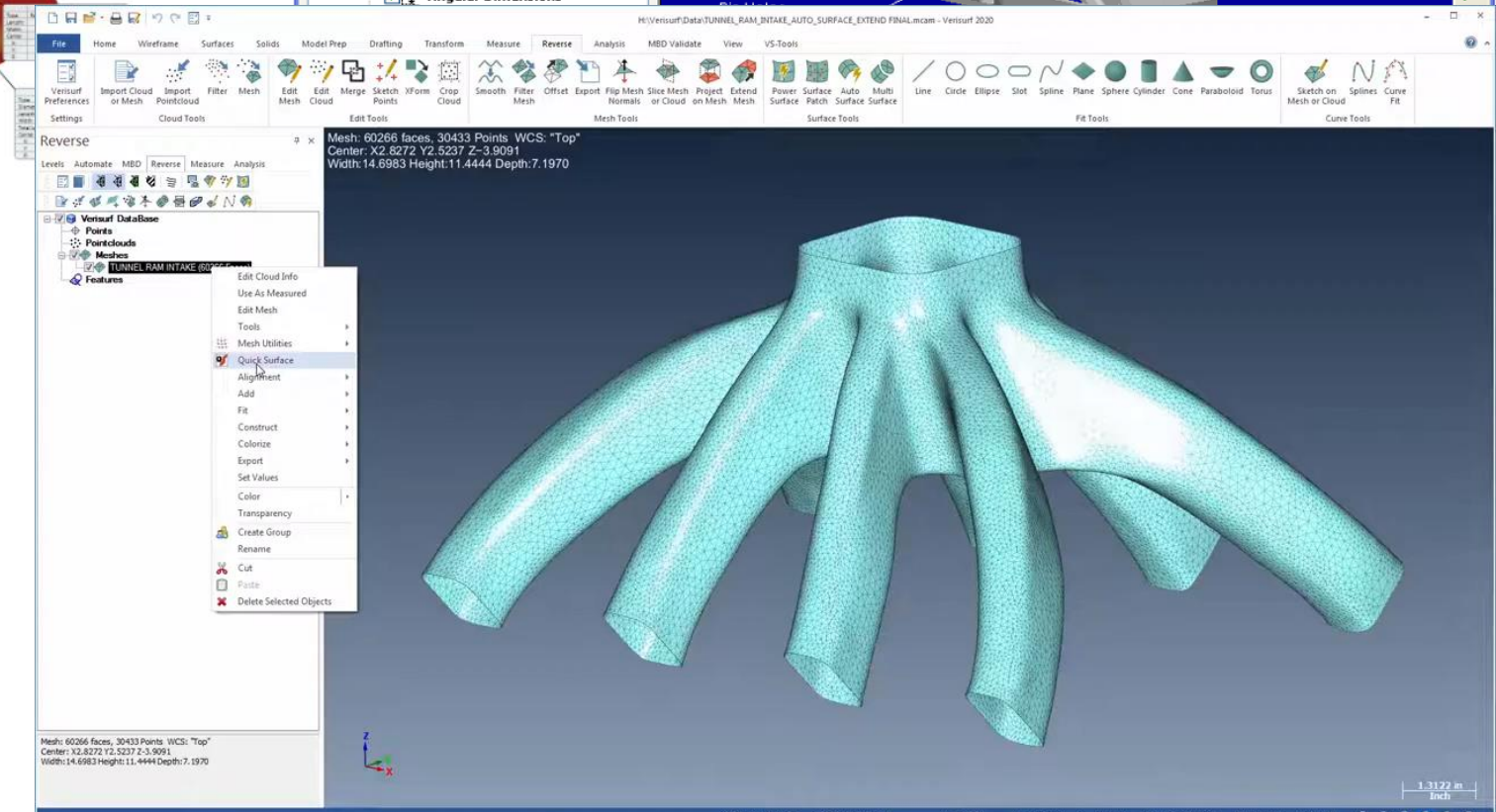
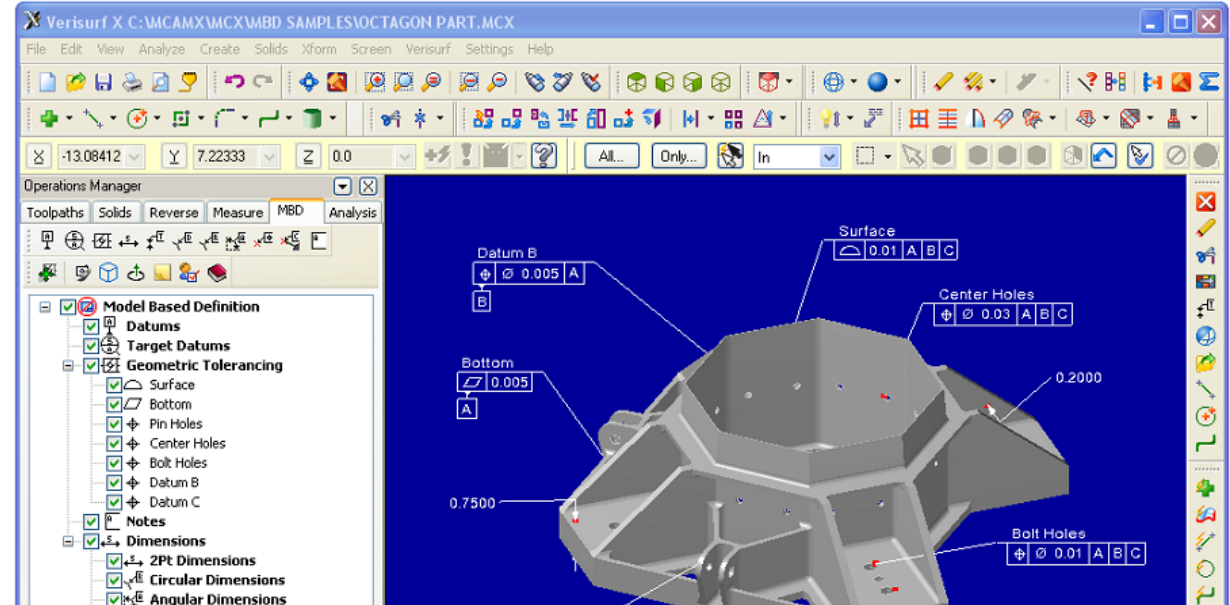
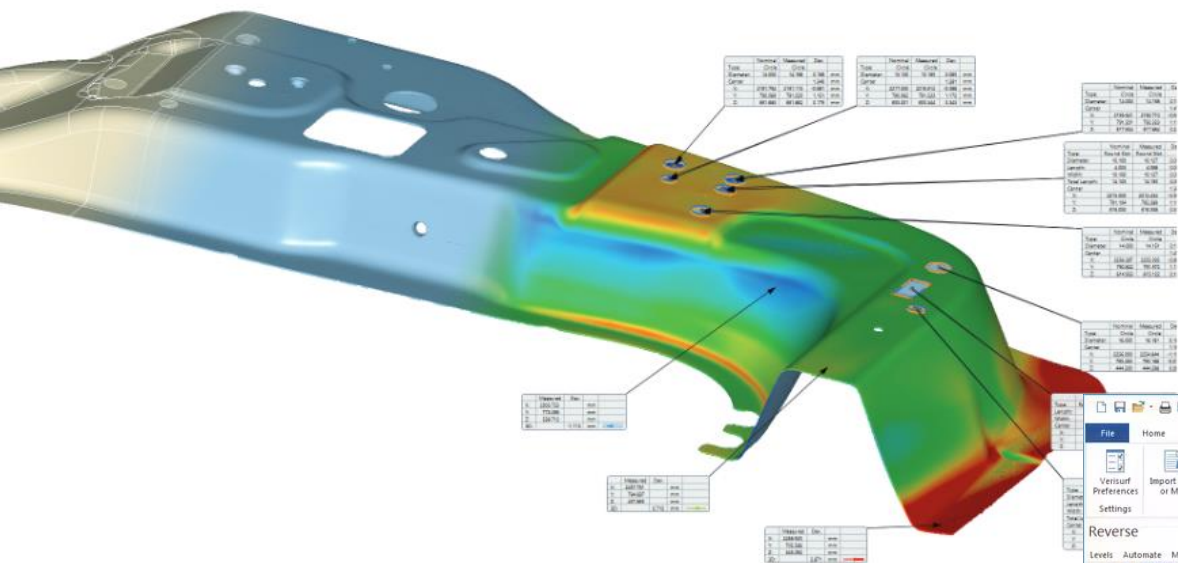


# Senzorski sistem na bazi mašinskog učenja





# 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?

