

Univerzitet u Novom Sadu  
Fakultet tehničkih nauka

OAS: Računarstvo i automatika  
Predmet: 3D digitalizacija objekata

# ZGLOBNE MERNE RUKE



# Zglobne merne ruke

Zglobne merne ruke su prenosivi uređaji za koordinatno merenje dizajnirane da vrše precizna merenja pomoću **kontaktnih mernih sonde** (kontaktna 3D digitalizacija).

Zglobne merne ruke mogu biti opremljene i sa optičkim **senzorskim sistemima za beskontaktnu 3D digitalizaciju**.

ISO 10360-12 je standard kojim su definisane zglobne merne ruke za kontaktno merenje.



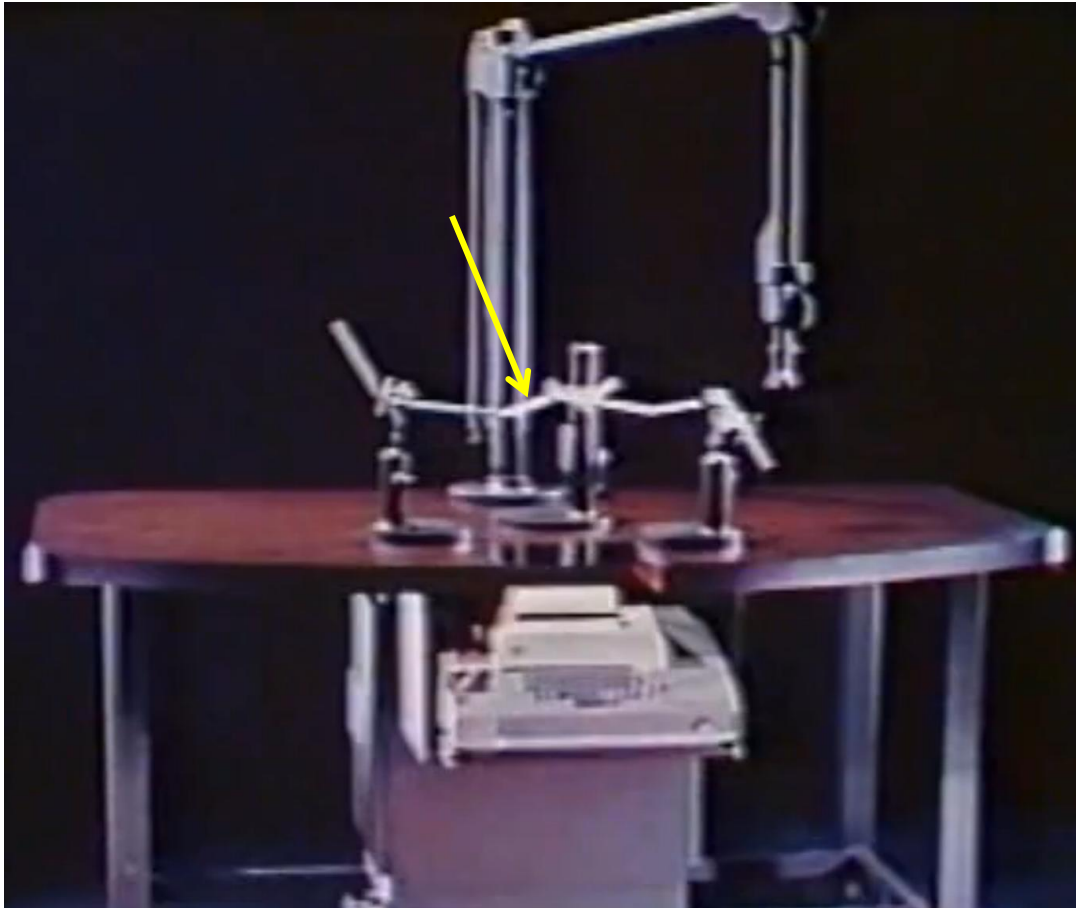
# Istorijski razvoj

- 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.



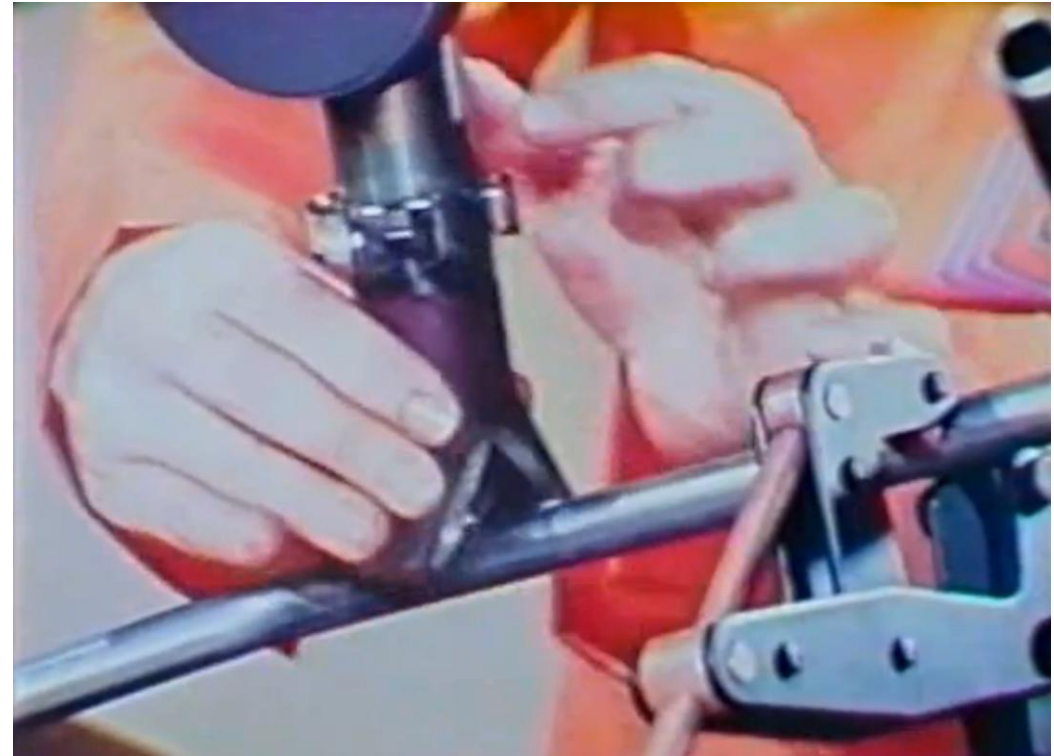
# Istorijski razvoj

- Originalna Vector 1 merna ruka je bila predvidena 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.

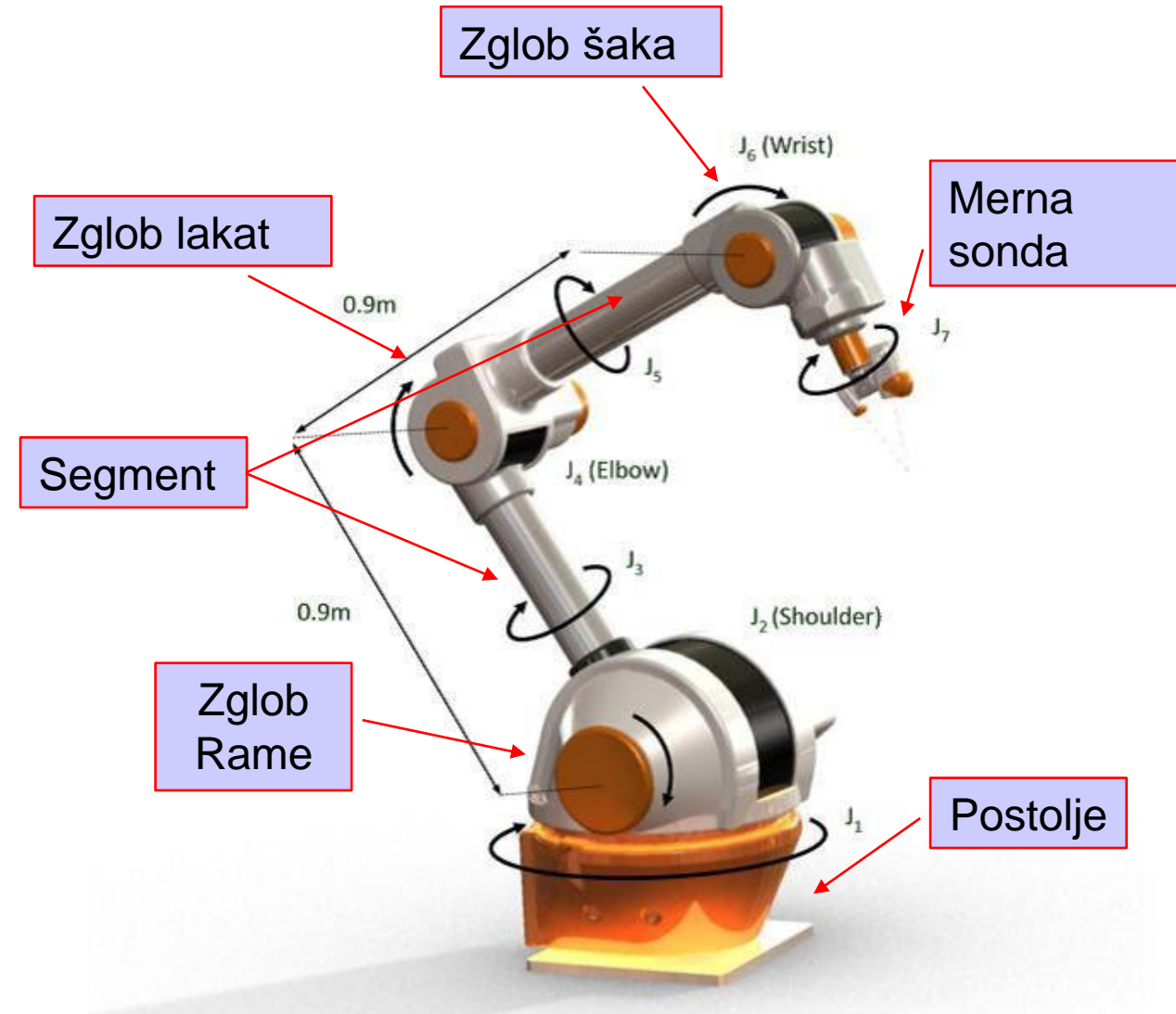




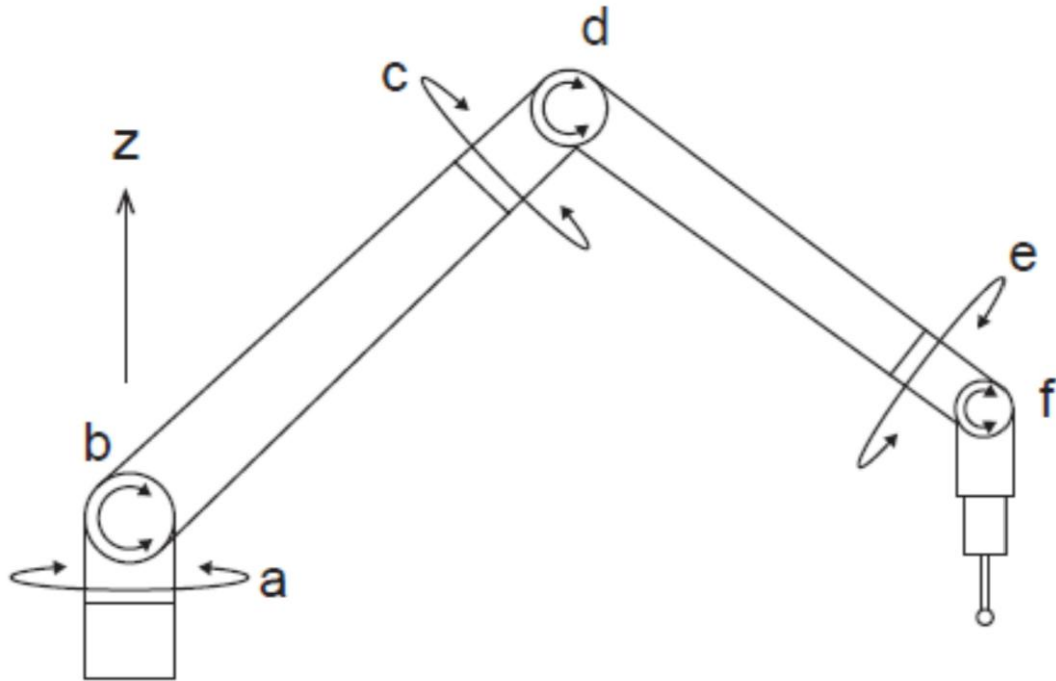
# Arhitektura

**Merne ruke se sastoje od:**

- otvorenog lanca **segmenata fiksne dužine,**
- **sistema merne sonde na slobodnom kraju lanca,**
- **zglobnih veza** koje međusobno povezuju segmente, sistem merne sonde i postolje kao i
- **postolja** koje pričvršćuje zglobnu mernu ruku za stacionarno okruženje.

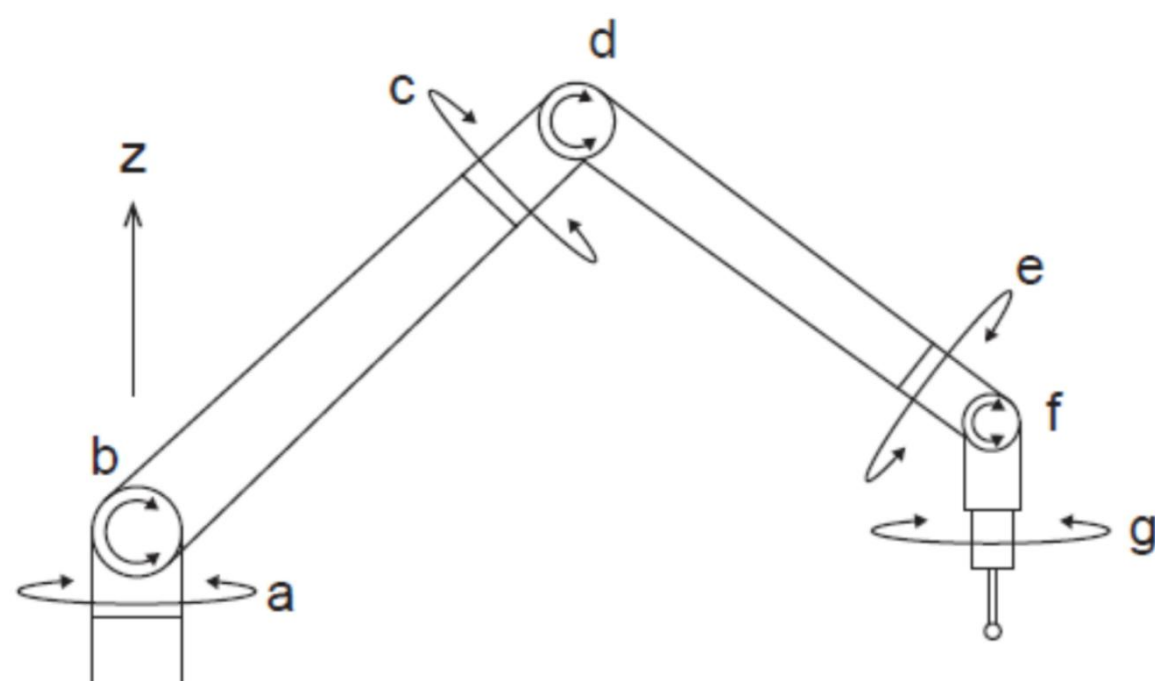


# Arhitektura



6 osa

Kontakni senzorski sistemi



7 osa

Beskontaktni senzorski sistemi

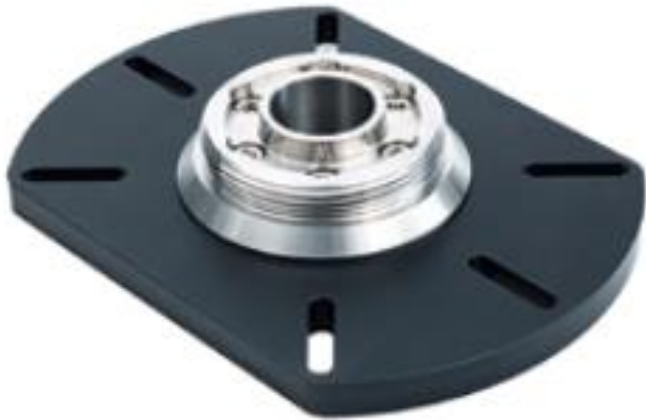
# Arhitektura

Više-osna konstrukcija (broj osa upravljanja se kreće od 5 do 7) omogućuje da merna sonda koja se nalazi na krajnjem segmentu zauzme gotovo bilo koji položaj u prostoru i priđe do teško pristupačnih delova objekta.



# Postolja mernih ruku

- Merne ruke prilikom 3D digitalizacije moraju biti pozicionirane i stegnute za podlogu, stalak ili u krajnjem slučaju za radni predmet ako to dozvoljava.
- **Veza između mernih ruku i podloge mogu biti preko:**



Postolja sa mehaničkim pričvršćivanjem



Postolja sa magnetima



Postolja sa vakumom

# Postolja mernih ruku

**Stalci i tripodi** su dizajnirani da čvrsto prihvate sve tipove 3D metroloških instrumenata uključujući zglobne merne ruke obezbeđujući na taj način tačnost 3D digitalizacije. Stalci i tripodi su opremljeni masivnim stubom (fiksni i/ili podešavajući), dok je mobilnost obezbeđena pomoću točkića.

**Stalci**

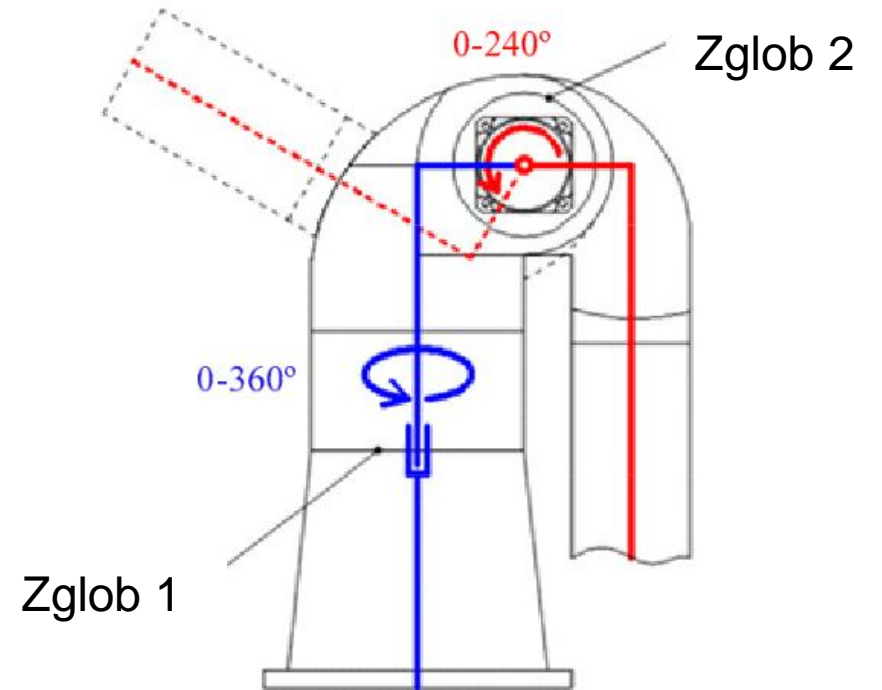
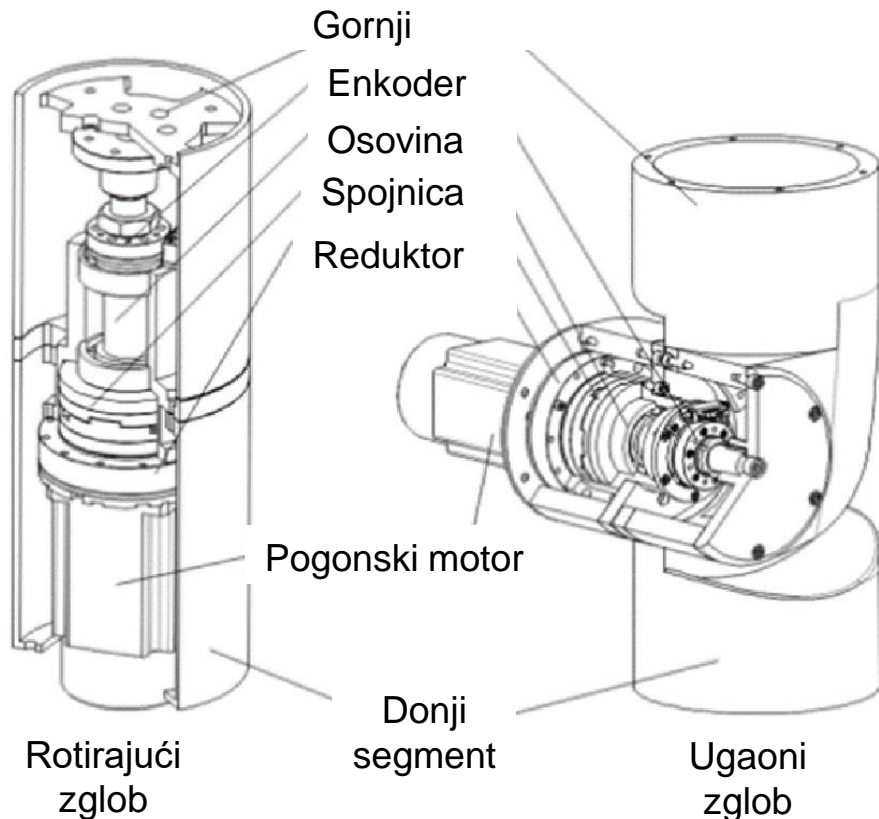
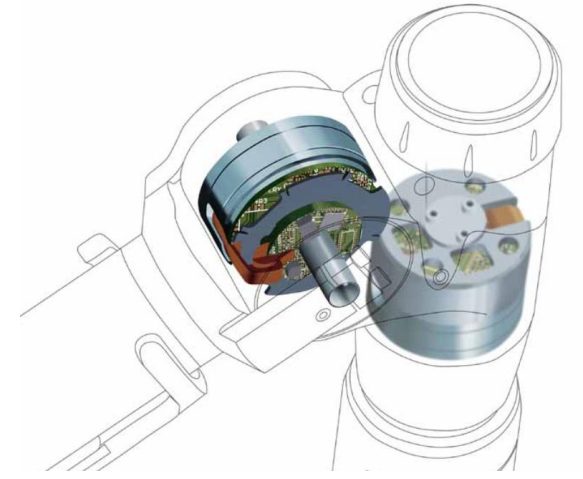


**Tripodi**



# Zglobne veze

U zglobovima su smešteni enkoderi (davači pozicije) koji u realnom vremenu očitavaju i šalju računaru informaciju o položaju zgloba. **Izbor enkodera i njihova rezolucija je važan kriterijum za konačnu tačnost merne ruke.**



# 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 9 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.

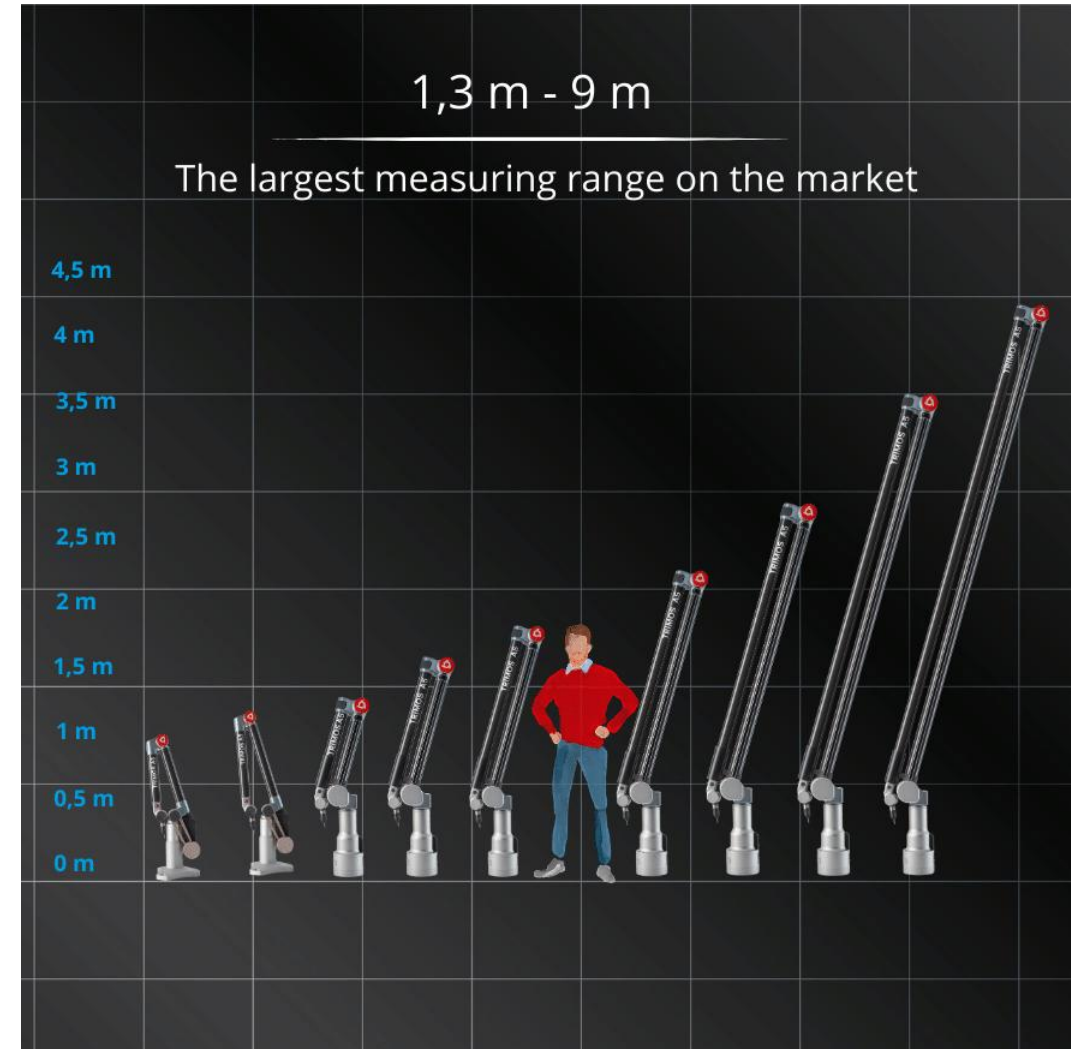
Merna zapremina se kod ovih sistema često naziva i **iskoristivom mernom zapreminom** da bi se napravila razlika u odnosu na veličinu koja se naziva **maximalni doseg** zglobne merne ruke, a koja je oko 10 do 15 % veći od prečnika iskoristive merne zapremine.



# 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.



# Savremene zglobne merne ruke

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



# Pravci razvoja

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





... različita i široka primena.

Karakteriše ih veliki broj različitih izvedbi i ...



# Sistemi za akviziciju podataka

## Kontaktne merne sonde

KURTA MERN  
SONDA



Merenje diskretnih tačaka.

## Beskontakni senzorski sistemi

### Laserski

linijski ili mrežni (grid)



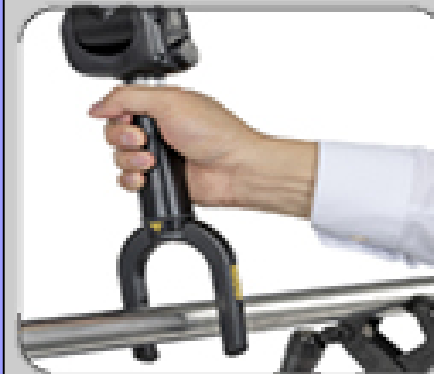
Brza akvizicija tačaka.

### Senzorski sistem na bazi strukturane



Skeniranje većih površina.

### Infracrveni laserski senzorski sistem



Za merenje cevi kružnog poprečnog preseka.

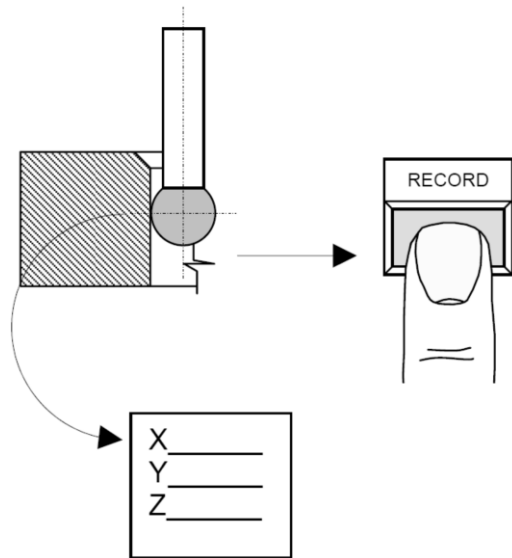
### Senzorski sistem na bazi mašinskog učenja



Za kontrolu teksture i vizuelnih grešaka na materijalu.

# Akvizicija podataka (kurta merna sonda)

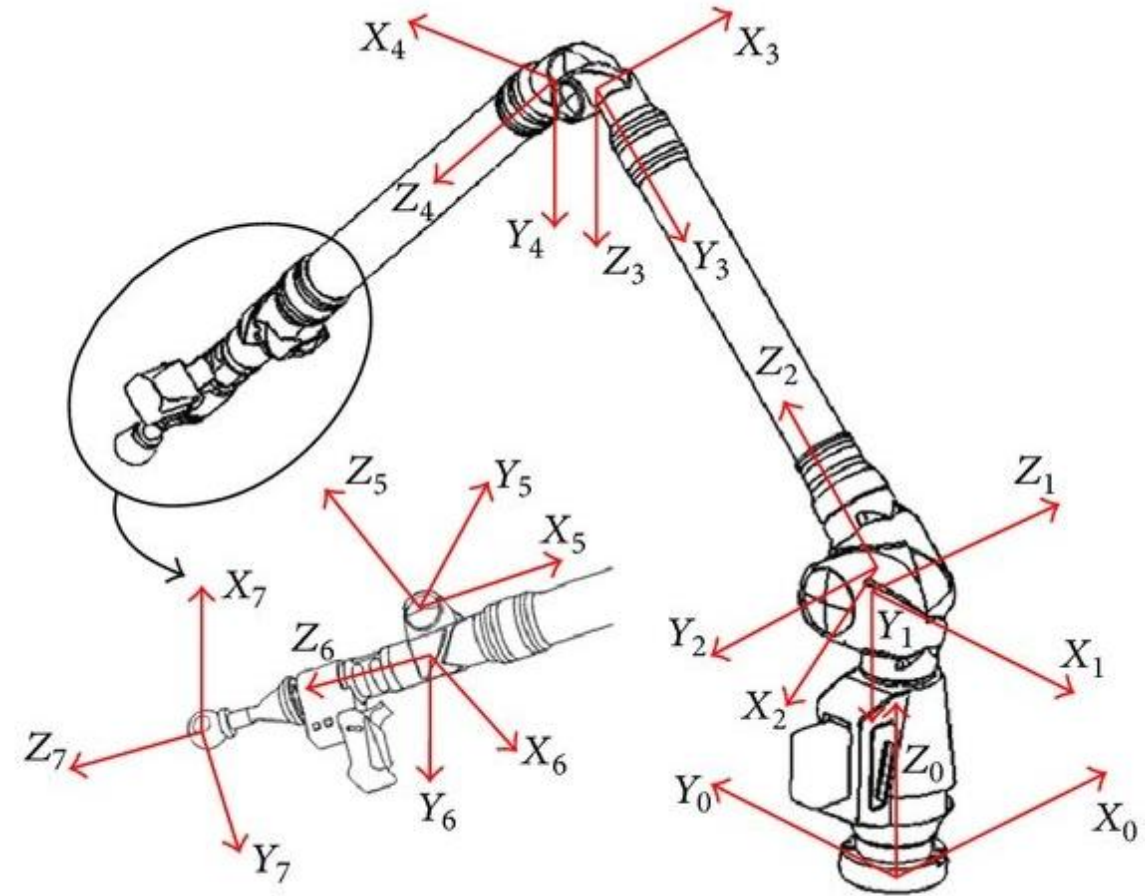
**Akvizicija tačaka** počinje tako što se sferni ili konusni merni pipak ručno dovodi u fizički kontakt sa površinom koja se digitalizuje, a zatim pritiskom na taster snima koordinata vrha mernog pipka ili centar sfere ukoliko se radi o sferičnom mernom pipku.



# Akvizicija podataka (kurta merna sonda)

Princip merenja je zasnovan na **Denavit Hartenbergovom** metodi direktne kinematike.

Pozicija vrha mernog pipka određuje se preko (opto-elektronskih) senzora položaja koji se nalaze u zglobovima i koji daju informaciju o uglovima zakretanja segmenata, kao i na osnovu poznatih dužina segmenata.

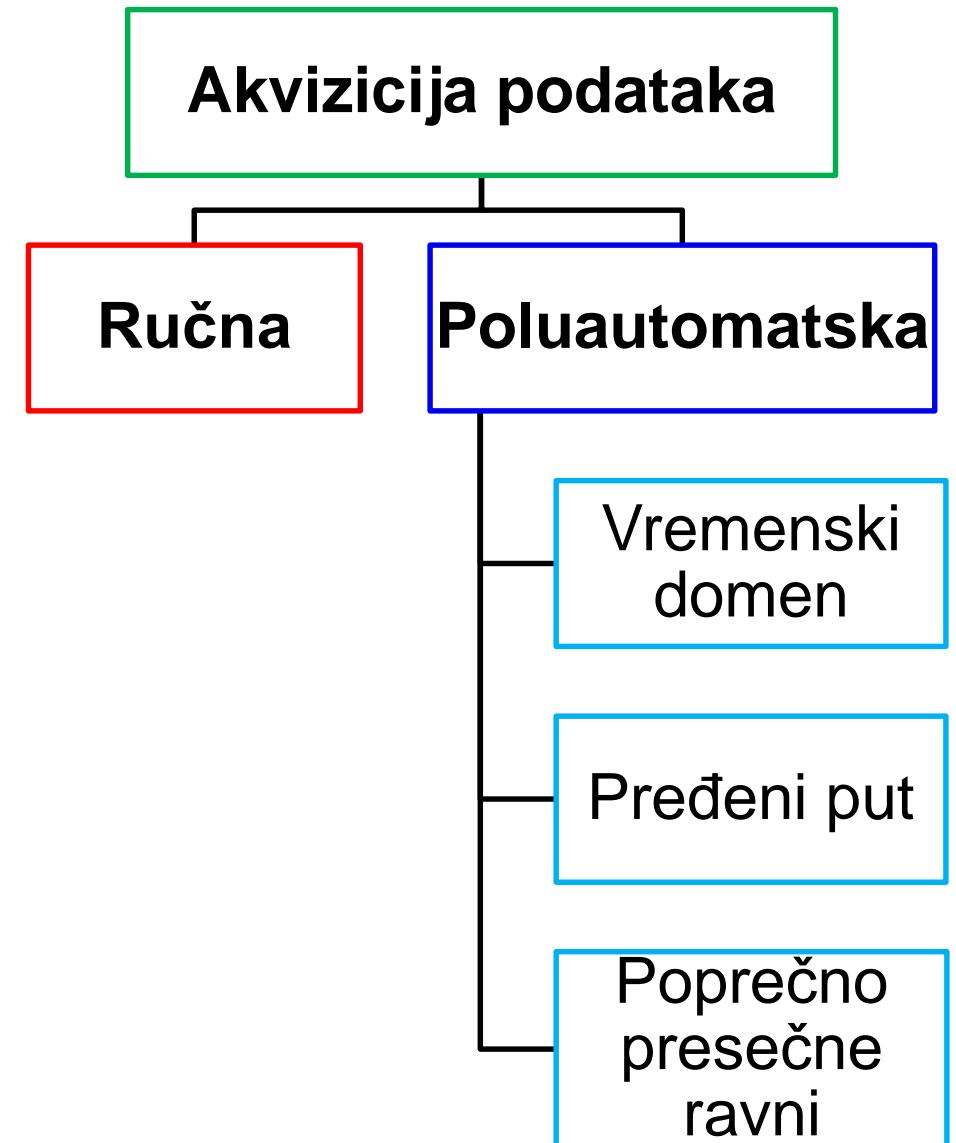


# Akvizicija podataka (kruta merna sonda)

Akvizicija podataka može biti:

**1) Ručna** - 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 poprečno presečnim ravnima**, u skladu sa koordinatnim sistemom i rezolucijom.



# MERNI PIPCI

- 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.





**HEXAGON**  
MANUFACTURING INTELLIGENCE

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



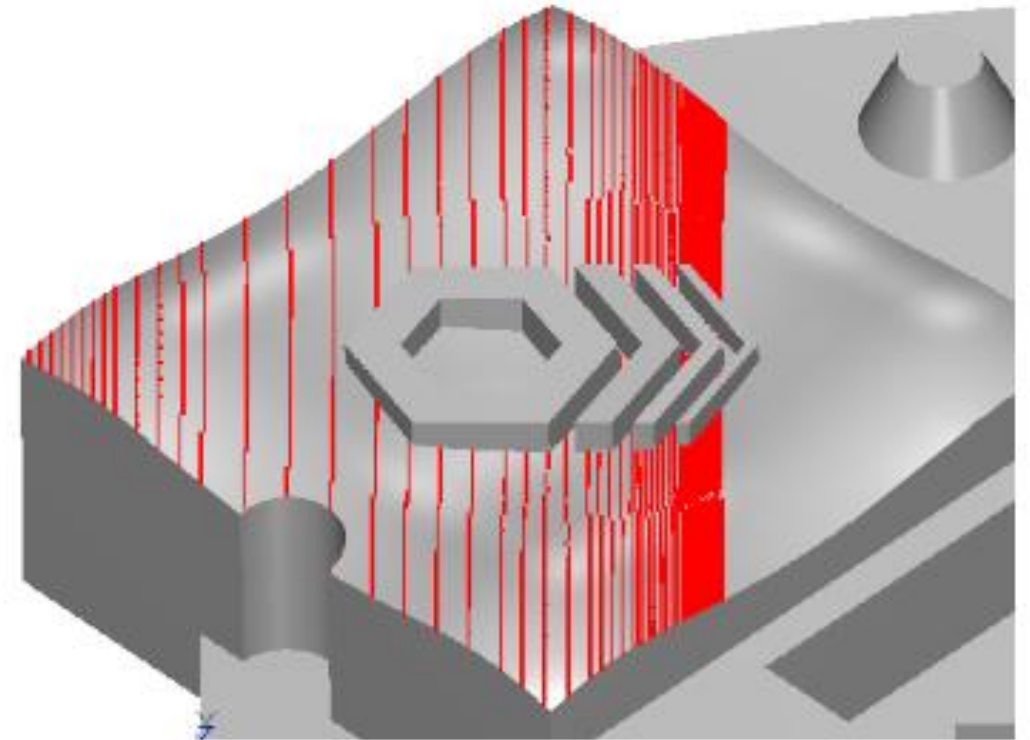
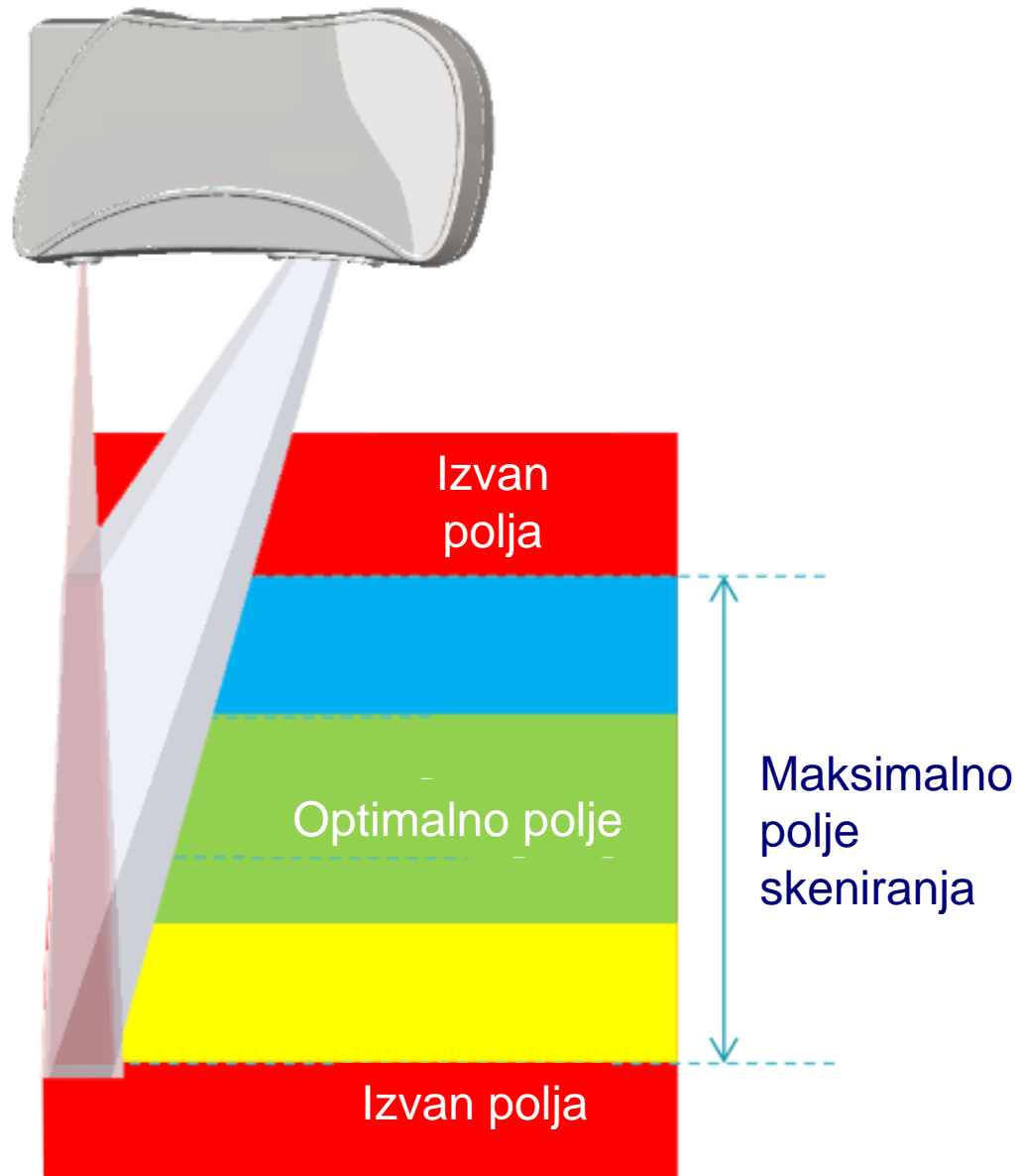
# Laserski senzorski sistemi

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

Usaglašenost sa ISO 10360-8



# Laserski sistemi

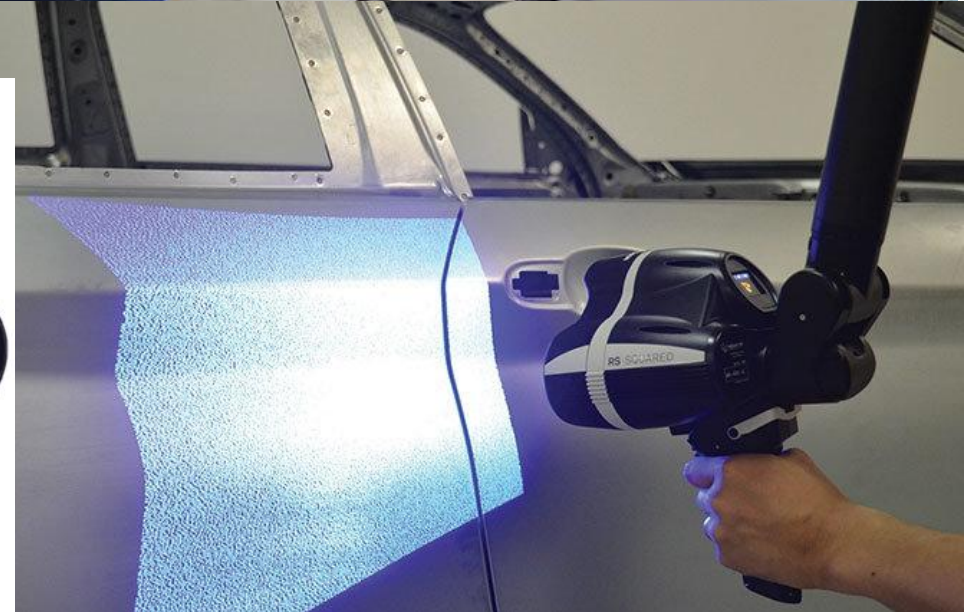




*Kreon*

# 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

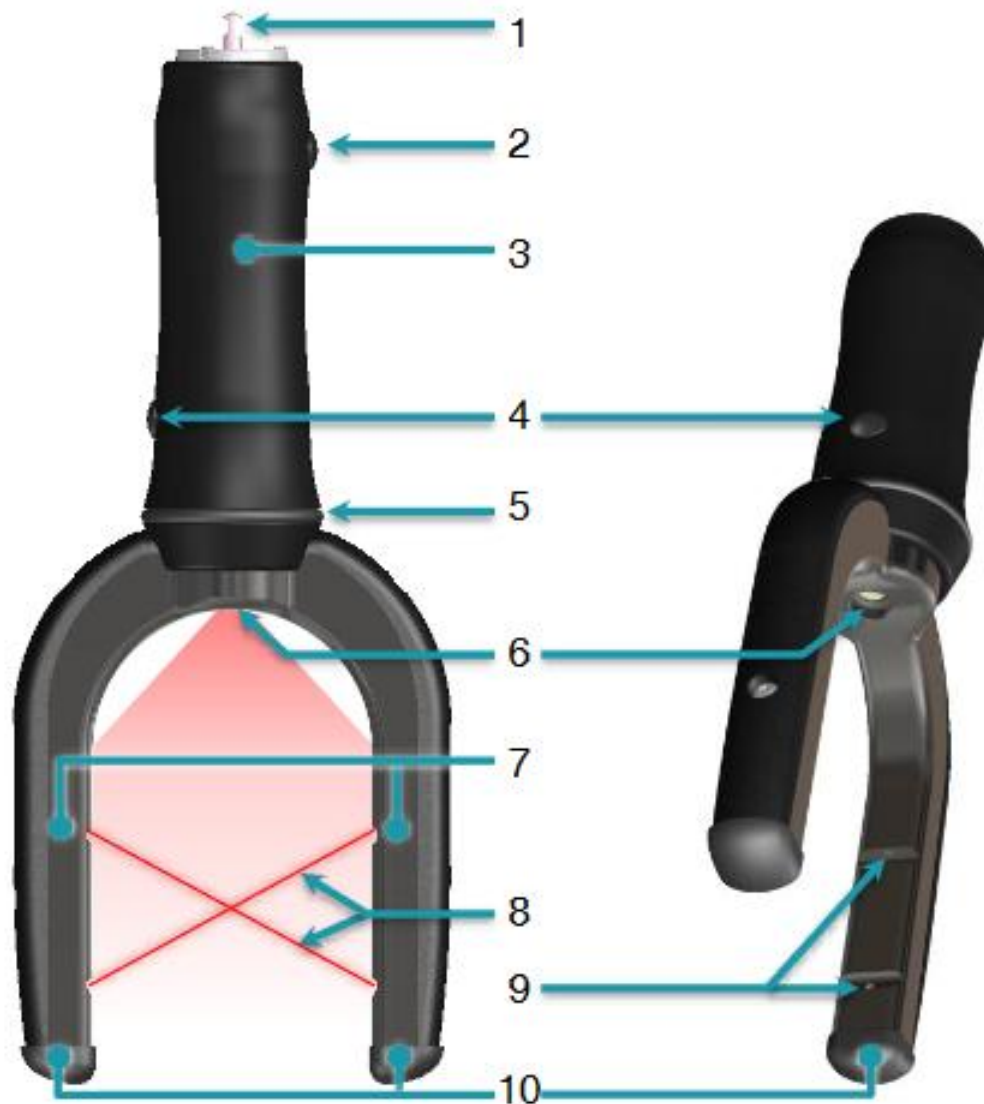


# Infracrveni laserski senzorski sistem

- 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



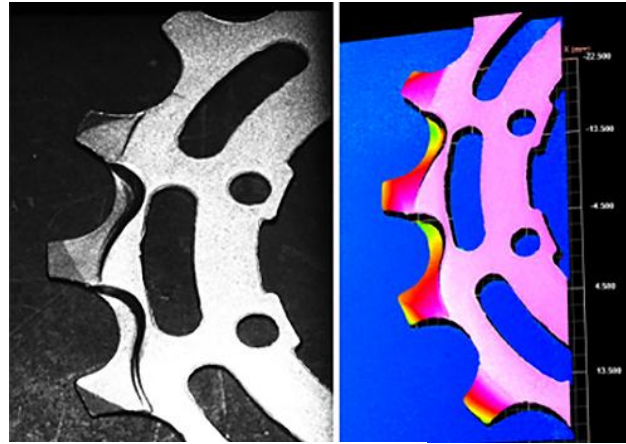
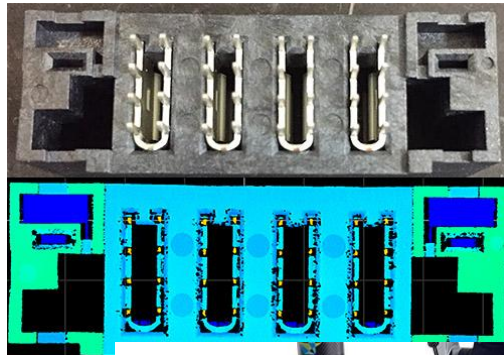
1. Konektor
2. Taster
3. Ručka
4. Laser On/Off dugme
5. Zaštitni O-prsten
6. Laser
7. Viljuška
8. Infracrveni zraci
9. Infracrveni predajnik/prijemnik
10. Zaštitni gumeni čepovi



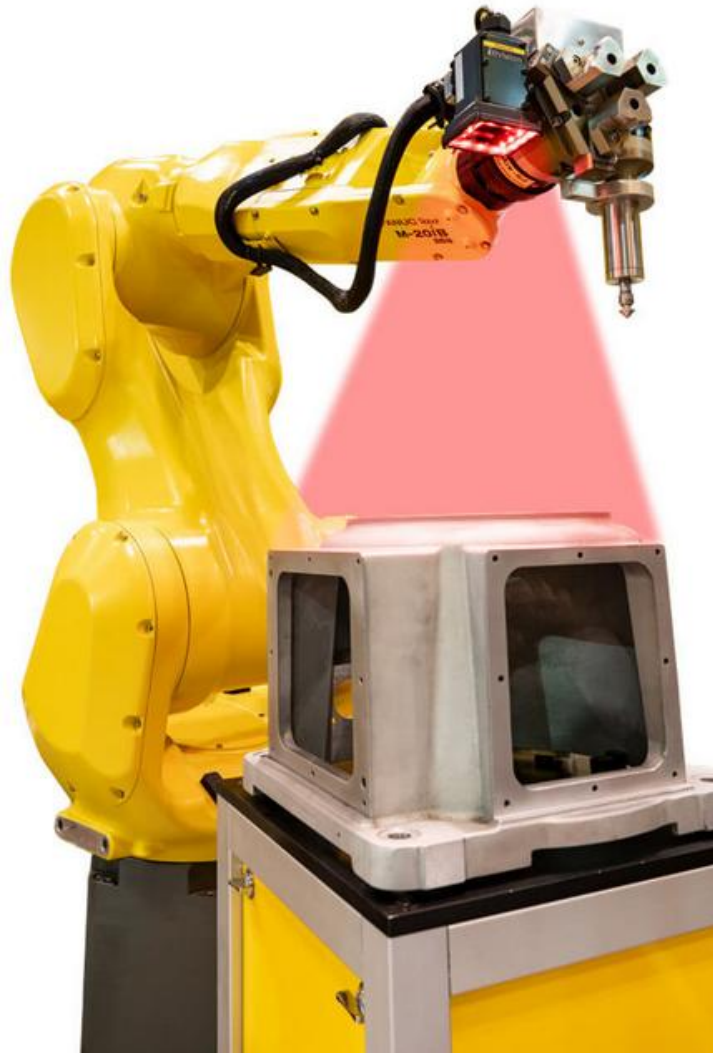
**SIKORA**  
LASER 6040 XY

# Sistemi na bazi mašinskog učenja

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

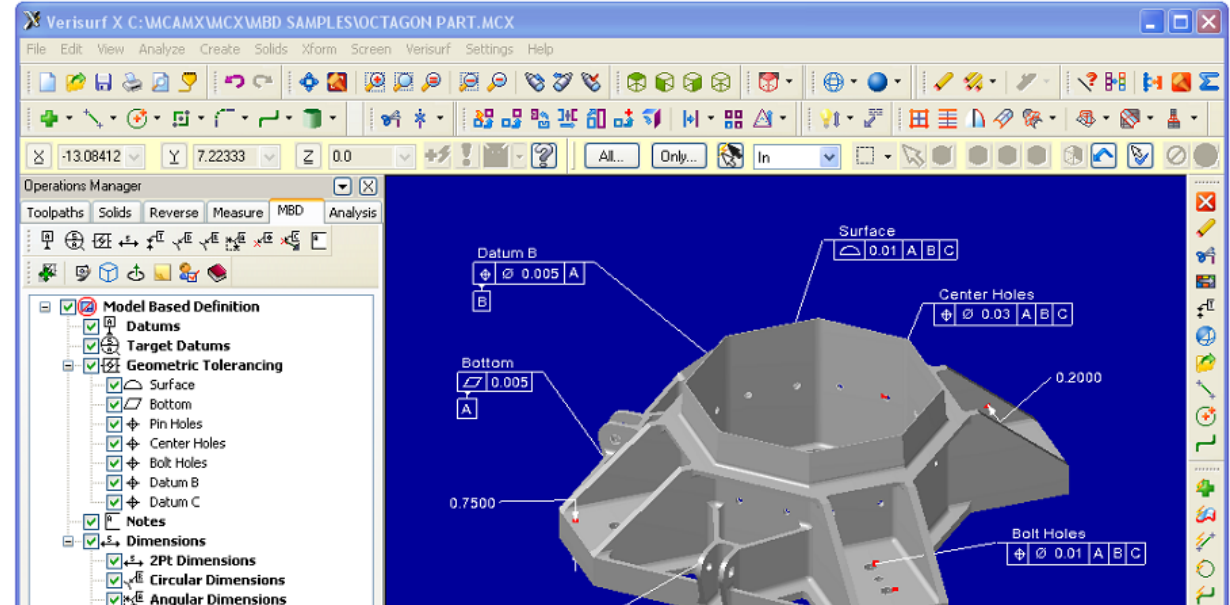
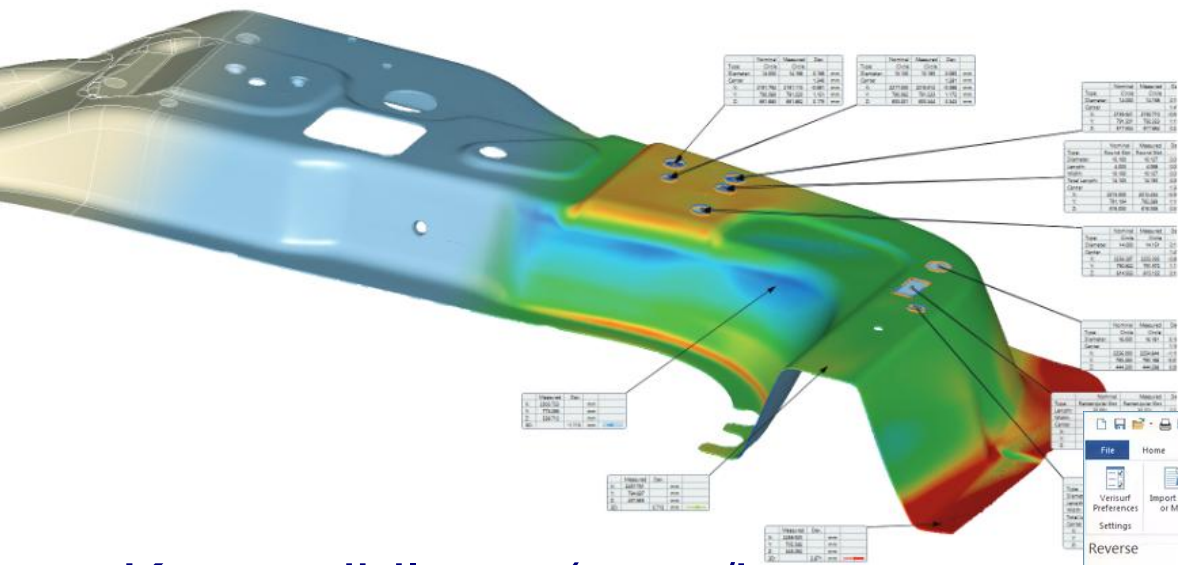


# Sistemi na bazi mašinskog učenja

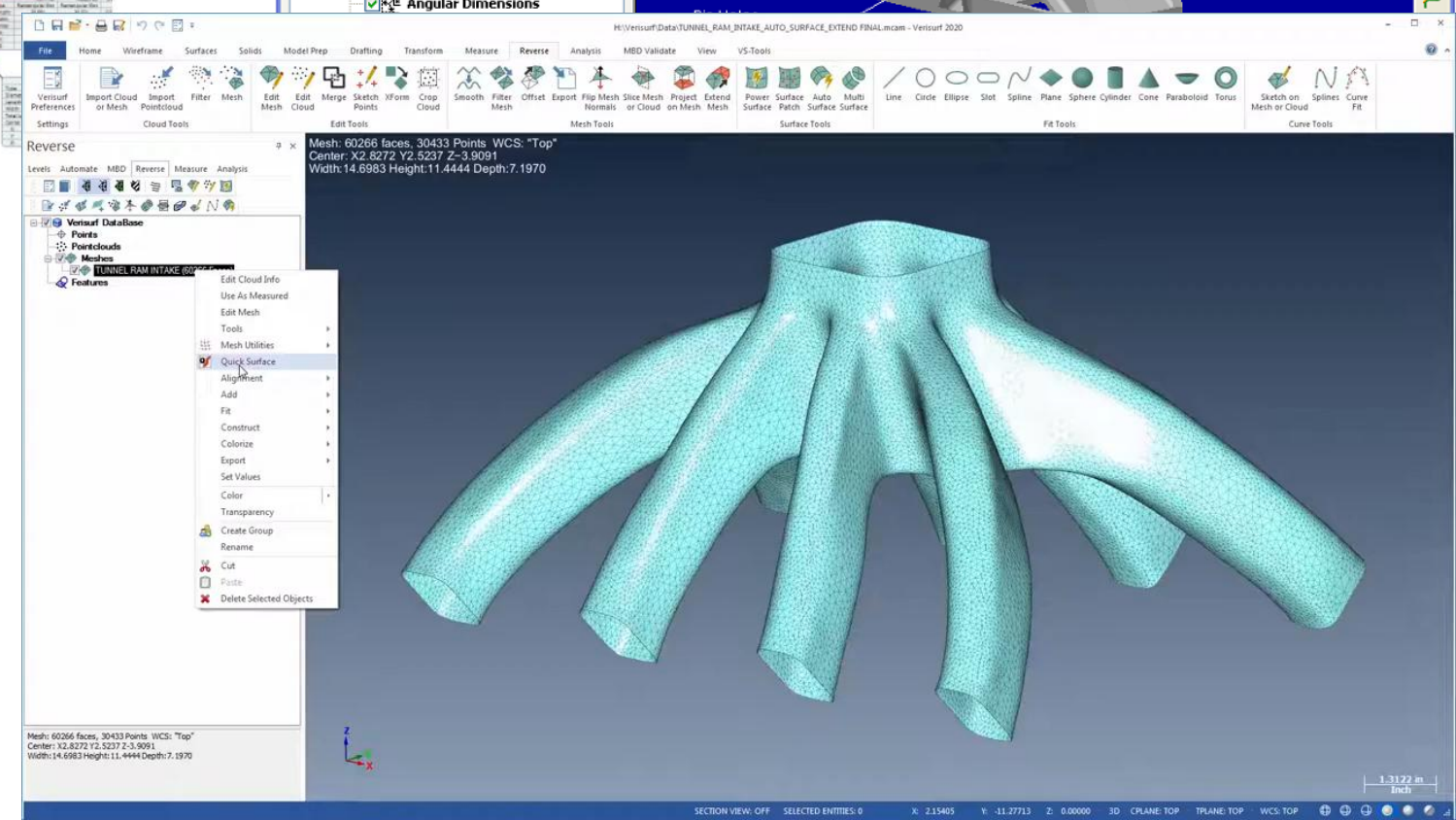




# Softverska podrška

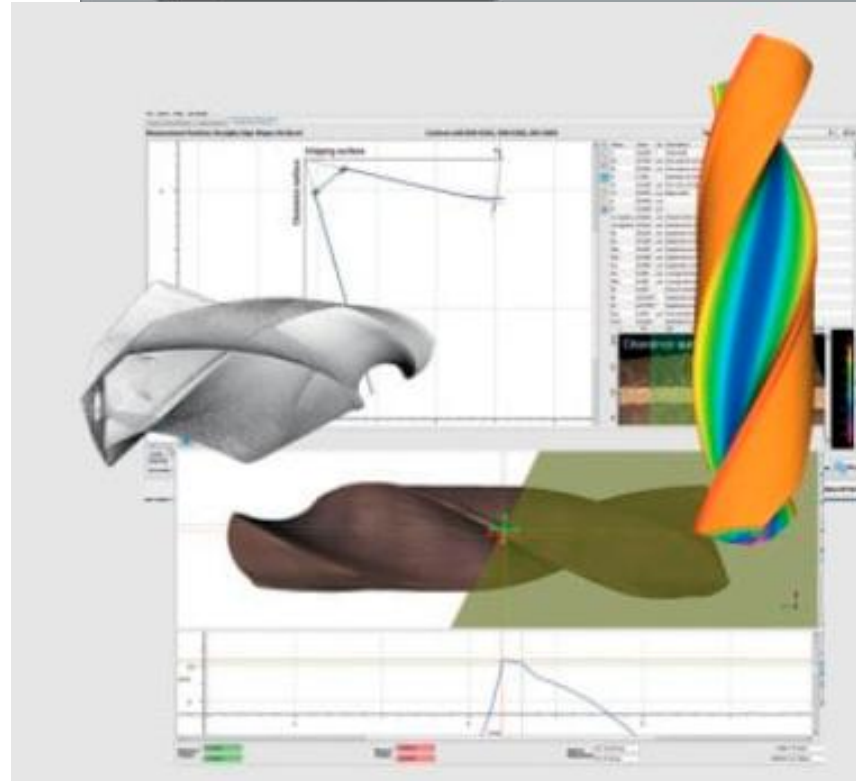
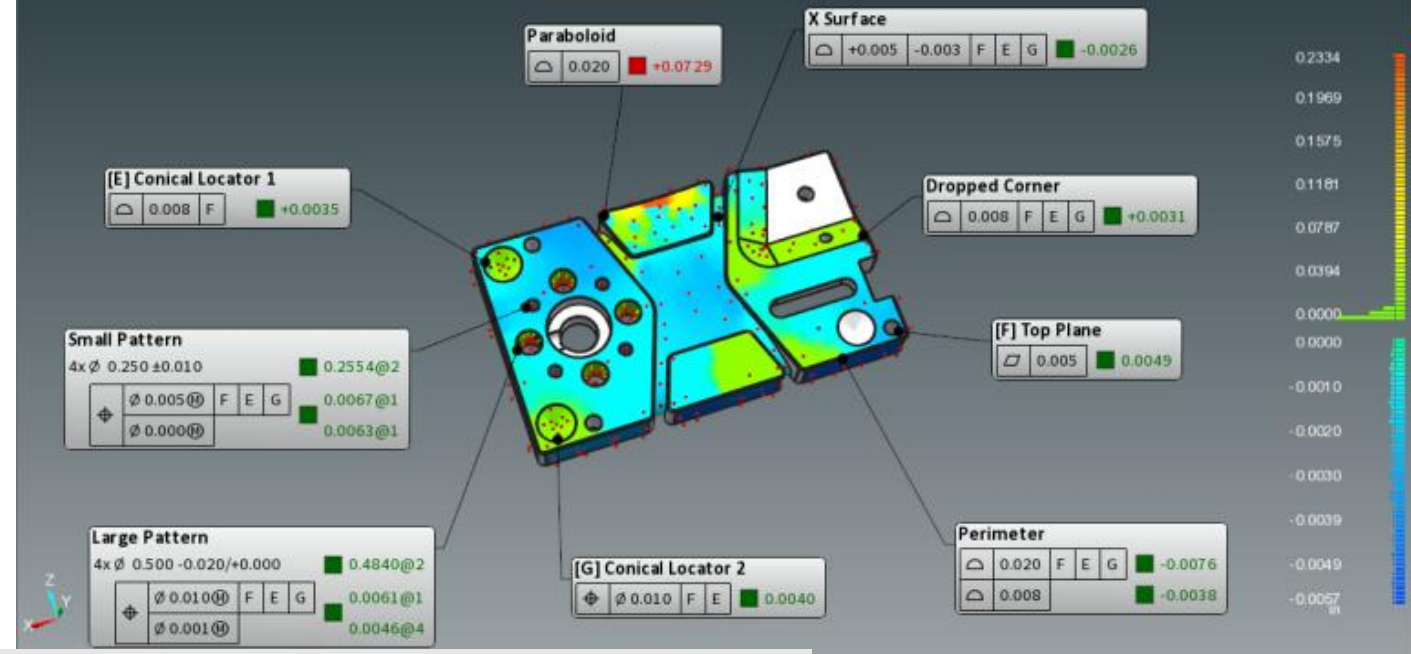


- Kompatibilnost (uvoz/izvoz različnih formata)
- Rekonstrukcija geometrijskih primitiva
- Parametarsko modelovanje
- Automatska ekstrakcija površina
- CAD inspekcija
- Kreiranje izveštaja



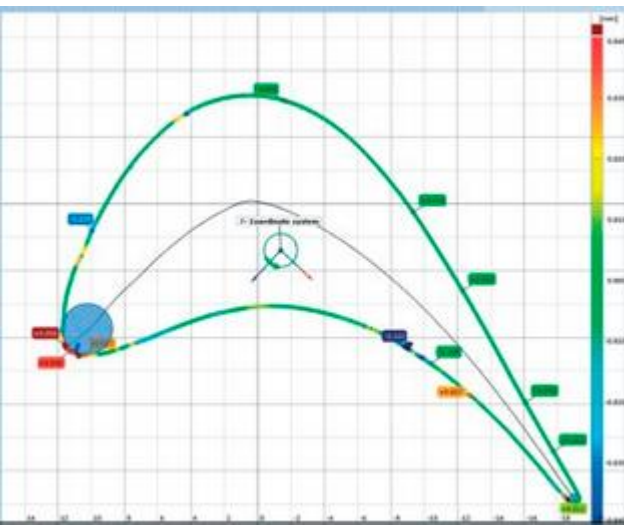
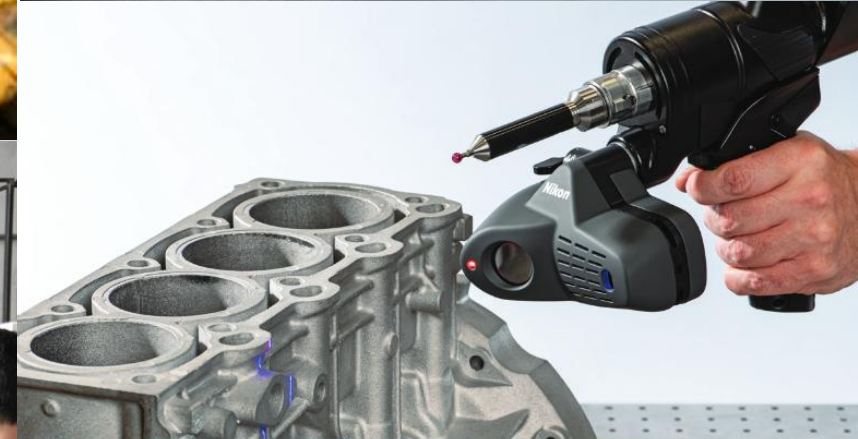
# Primena mernih ruku

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



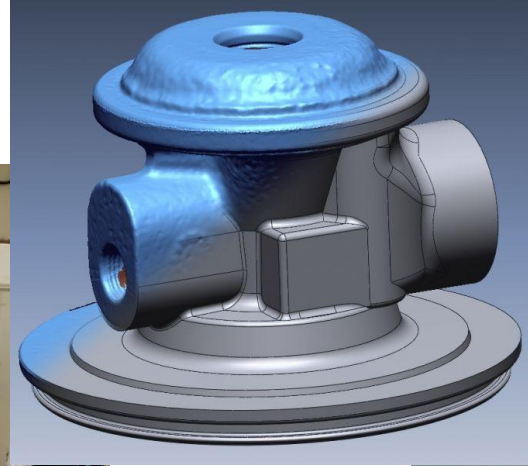
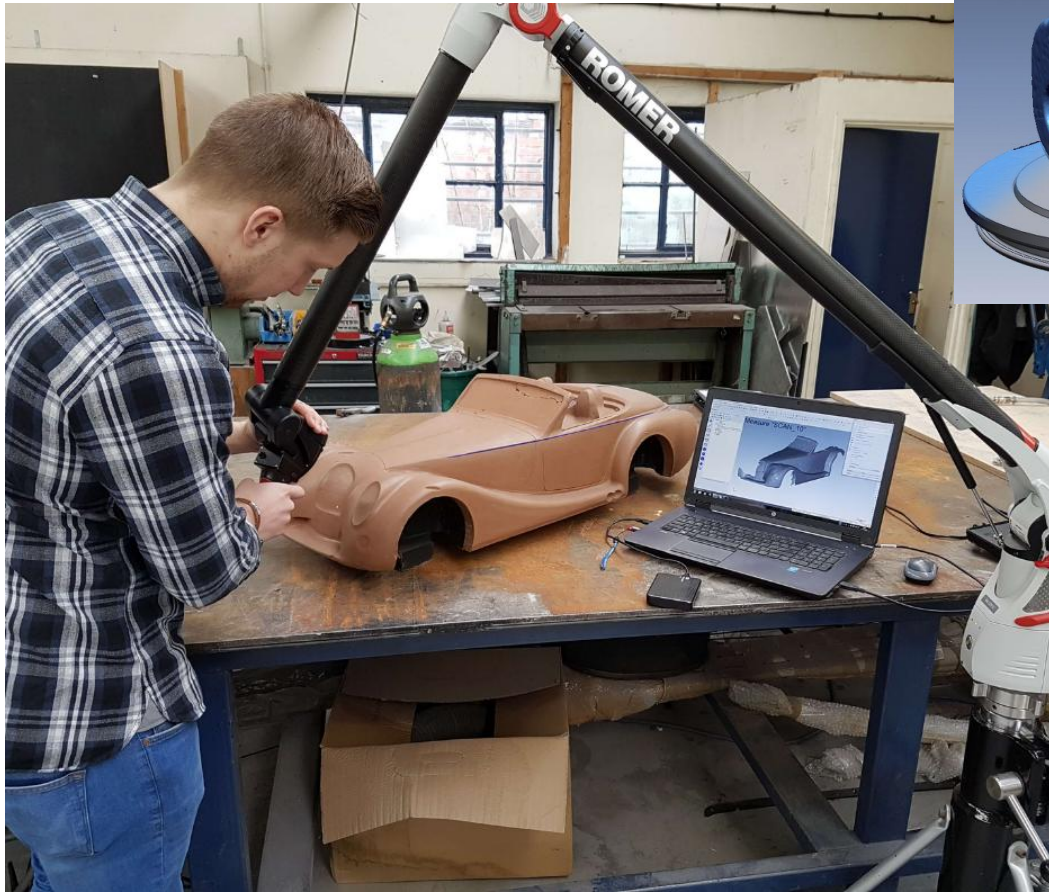
# Primena mernih ruku (industrije)

- Mašinska industrija
- Auto industrija
- Avio industrija itd.



# Primena mernih ruku

- Reverzibilno inženjerstvo
- 3D digitalizacija



# Primena mernih ruku

- Pozicioniranje alata, pribora i obradaka



# Prednosti / Nedostaci zglobnih mernih ruku

**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,
- nemogućnost potpune automatizacije,
- optički senzori mogu biti osetljivi na refleksiju i tamne boje materijala.

# Pitanja?

