

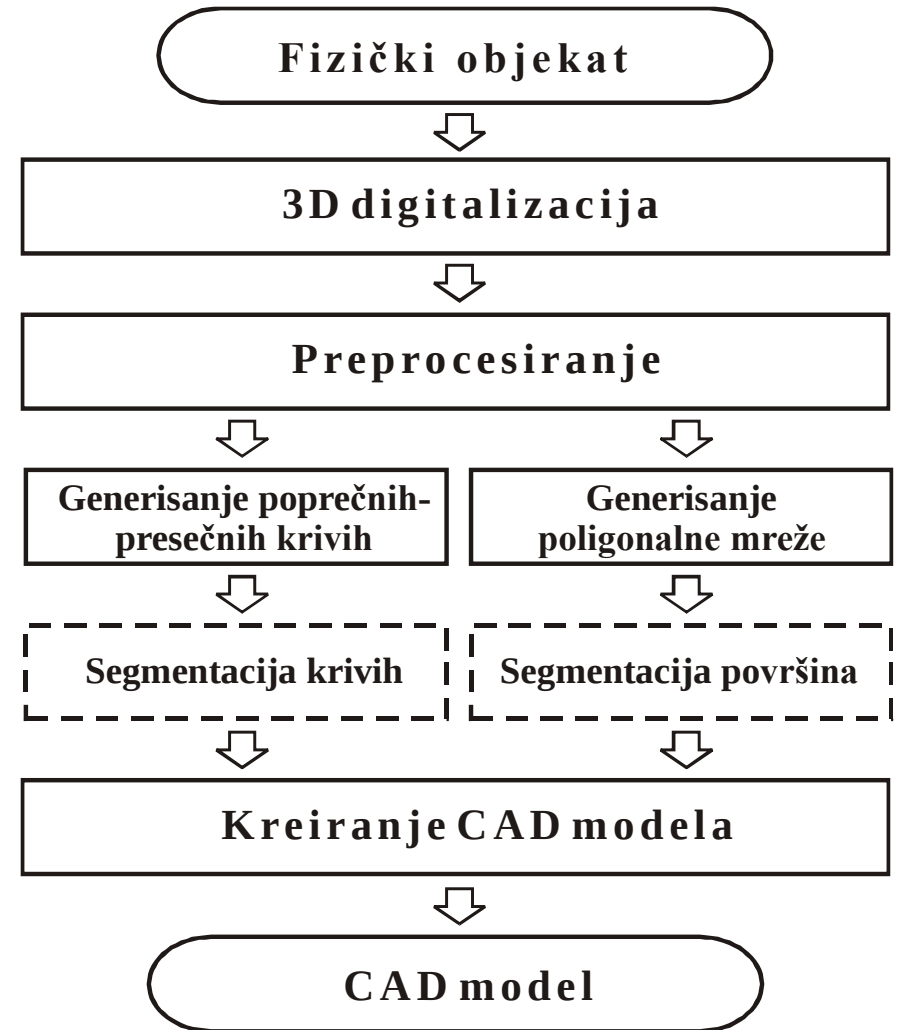
Univerzitet u Novom Sadu
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
Industrijsko inženjerstvo
Predmet: Reverzibilni inženjerski dizajn i 3D štampa

**METODOLOGIJA REVERZIBILNOG
INŽENJERSKOG DIZAJNA MERNE RUKE I KMM**
Predavanje 2

METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSKOG DIZAJNA

U mnoštvu različitih sistema za RID-a, koji su se pojavili tokom poslednjih nekoliko godina, mogu se identifikovati dve, dominantne metodologije:

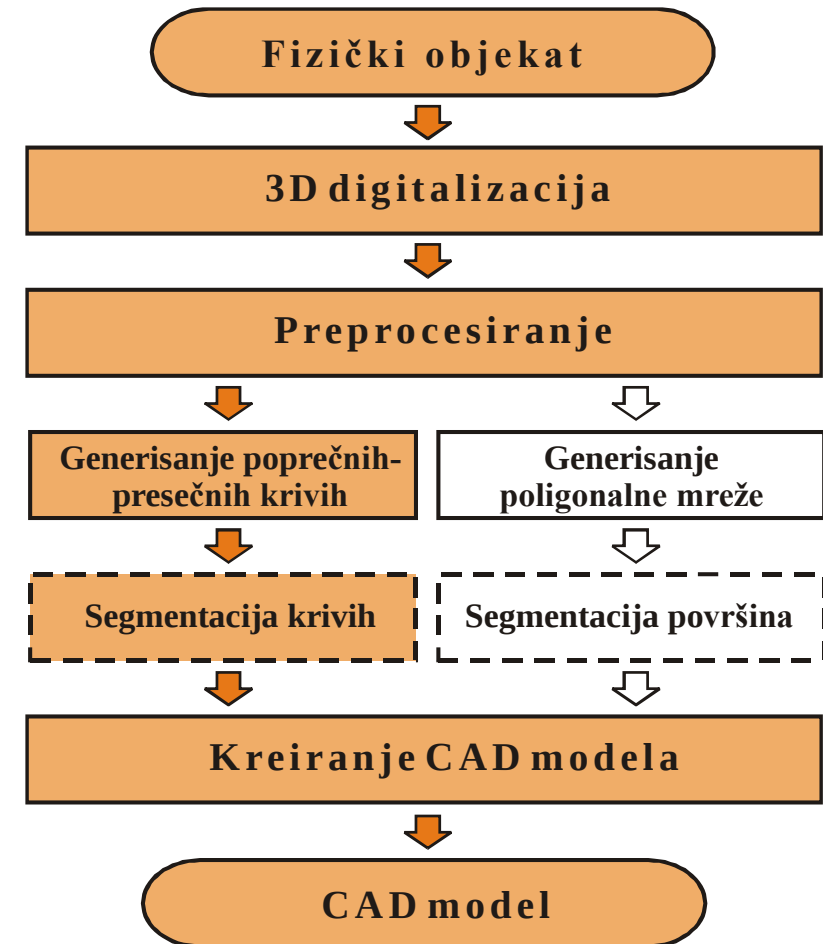
- 1. Metodologija poprečnih preseka**
- 2. Metodologija poligonalnih modela**



METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSKOG DIZAJNA

Metodologija poprečnih preseka (*cross-sectional*) je, do skora, bila dominantno zastupljena u industriji.

Zasnovana je na generisanju površinskog modela na bazi poprečnih-presečnih (konturnih) krivih.

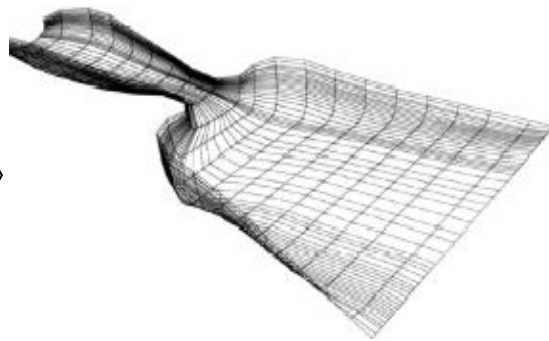


METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSKOG DIZAJNA

Metodologija poprečnih preseka



oblak tačaka



poprečno-presečne krive



površinski model

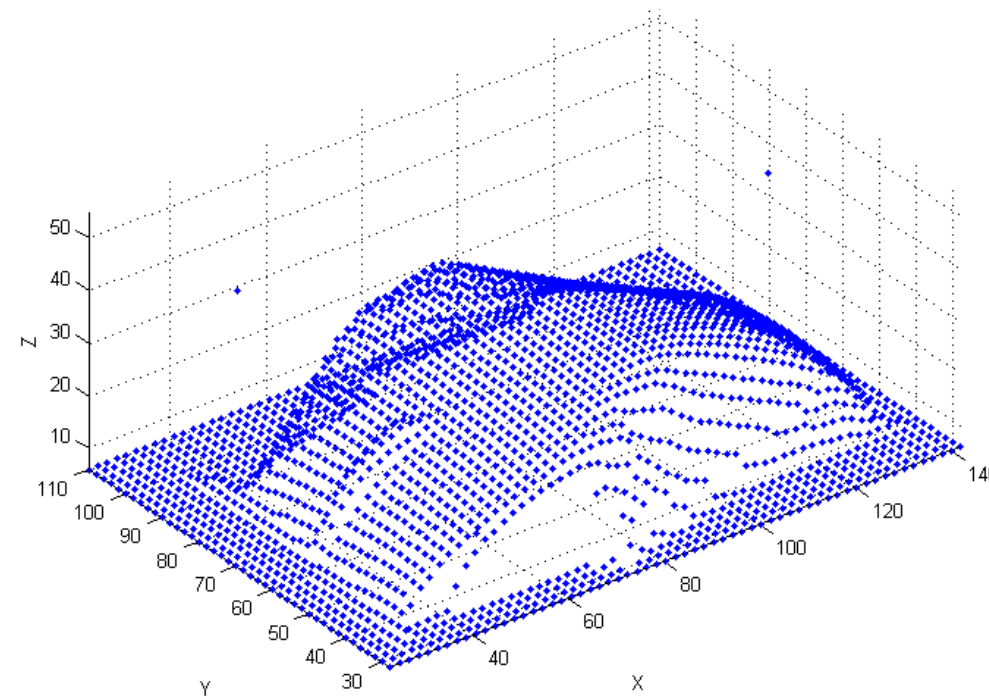
RID kompjuterskog miša

Kolaborativni dizajn: Fizičko modelovanje računarskog miša



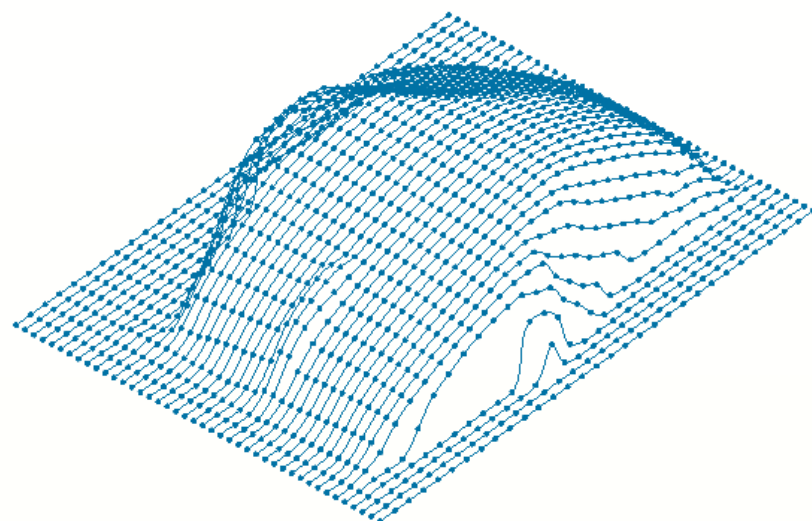
RID kompjuterskog miša

3D digitalizacija kompjuterskog miša

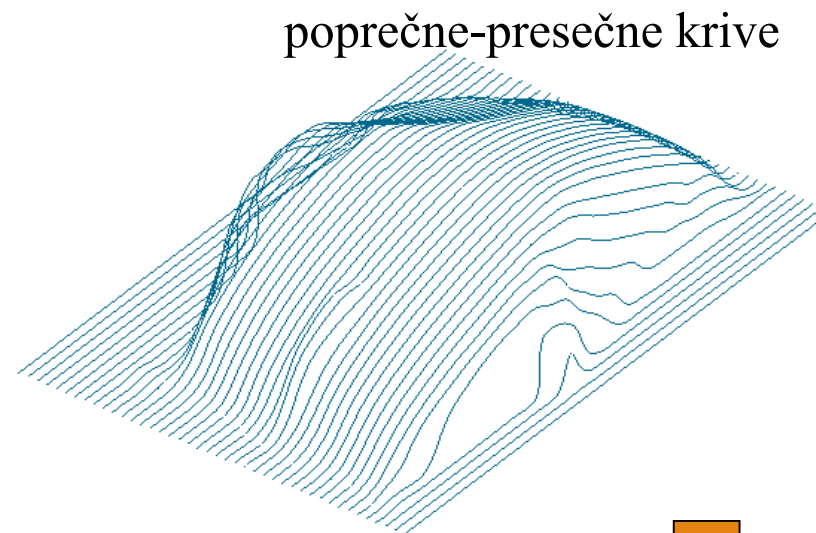
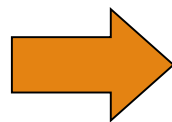


Rezultat 3D digitalizacije
(oblak tačaka)

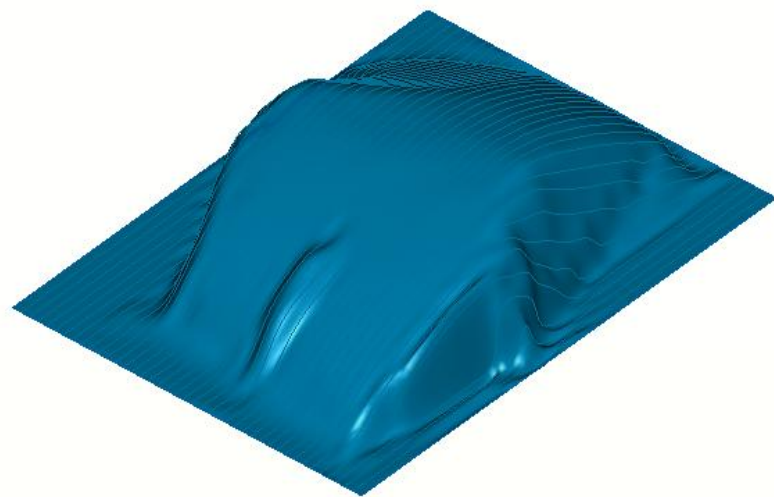
RID kompjuterskog miša



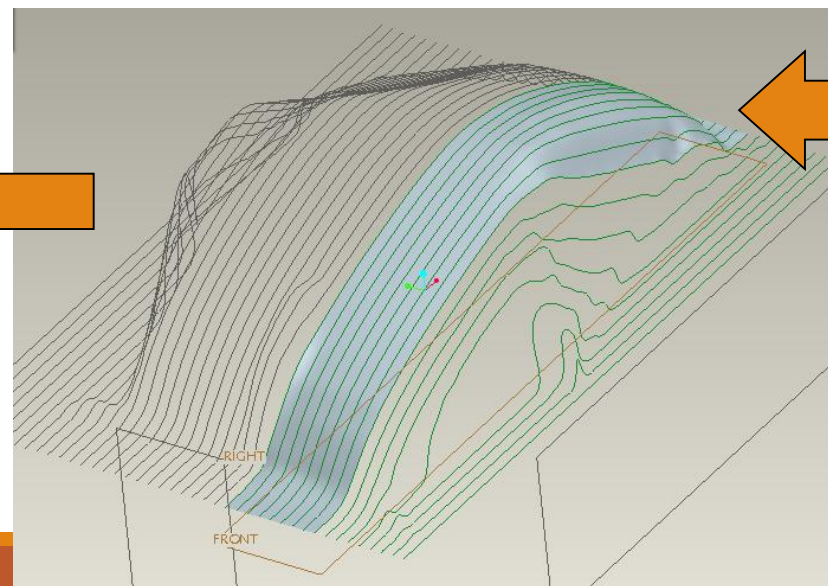
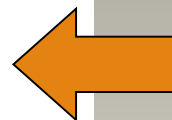
oblak tačaka



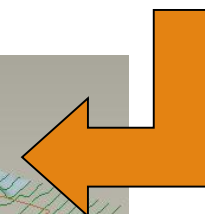
poprečne-presečne krive



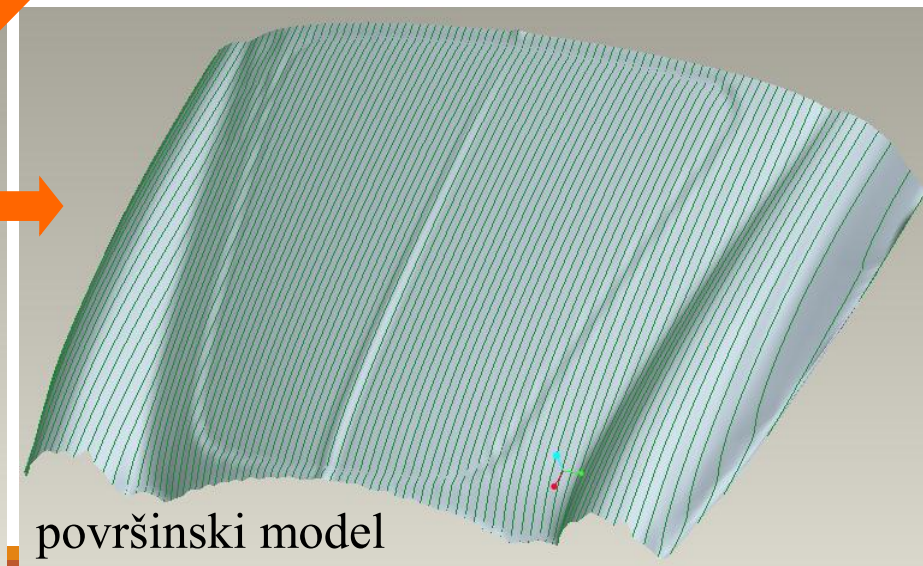
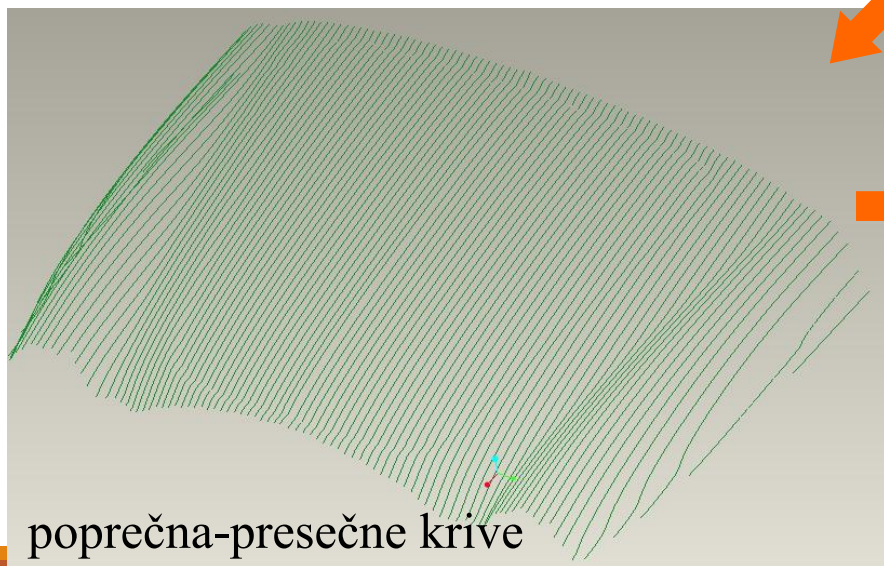
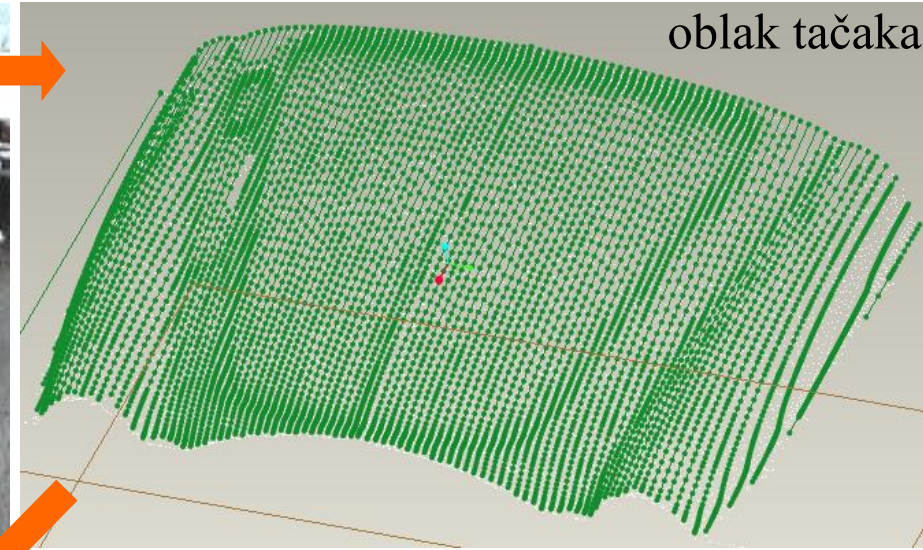
površinski model



"provlačenje" površi kroz krive



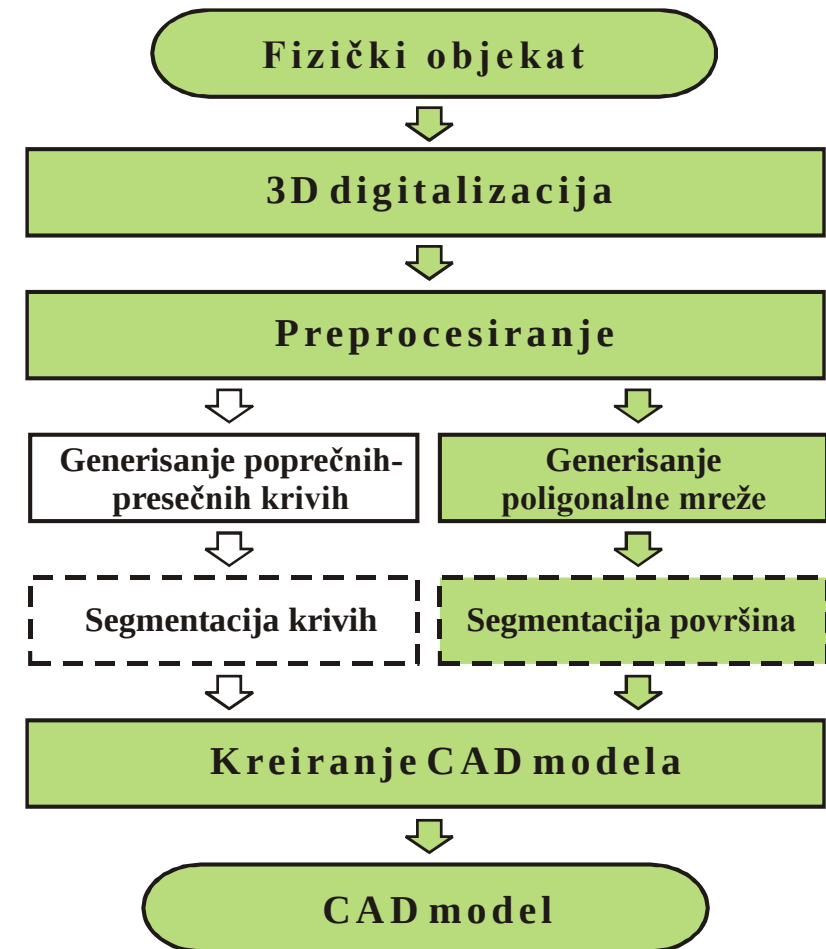
RID haube automobila *Karmann-Ghia* Volkswagen modela iz '60-tih godina XX veka



METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSKOG DIZAJNA

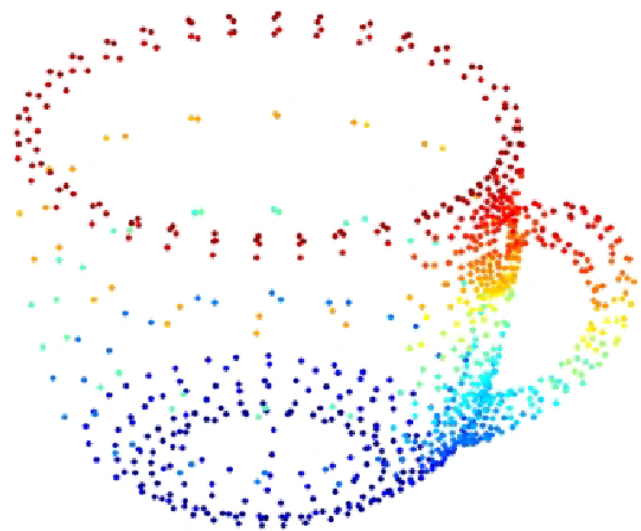
Kod **poligonalnog pristupa**, koji se danas sve više primenjuje u svim oblastima - od mašinstva preko računarskih animacija do bimoedicinskog inženjerstva.

3D površinski model se kreira konvertovanjem oblaka tačaka u poligonalnu mrežu iz koje se zatim generiše površinski model.



METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSKOG DIZAJNA

Metodologija poligonizacije modela



oblak tačaka



poligonizovani
model



površinski model

METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSKOG DIZAJNA

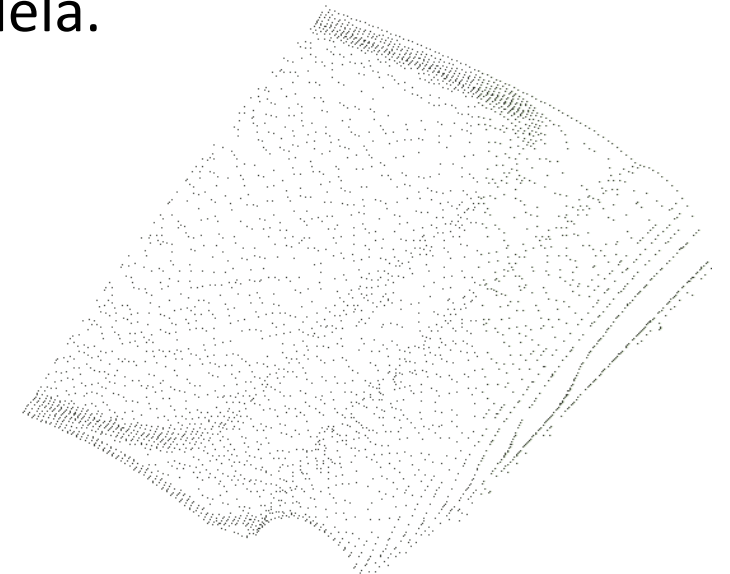
3D DIGITALIZACIJA

Prva faza procesa RID-a je **3D digitalizacija**, u okviru koje se vrši prikupljanje podataka o koordinatama tačaka sa površina objekta i njihovo prevođenje u digitalni oblik, odakle i potiče termin 3D digitalizacija.

3D digitalizacija, odnosno akvizicija podataka ili skeniranje, kako se još naziva, je prva i nezaobilazna faza, koja se smatra ključnom u procesu RID-a, s obzirom da, u najvećem broju slučajeva određuje kvalitet rezultujućeg modela.

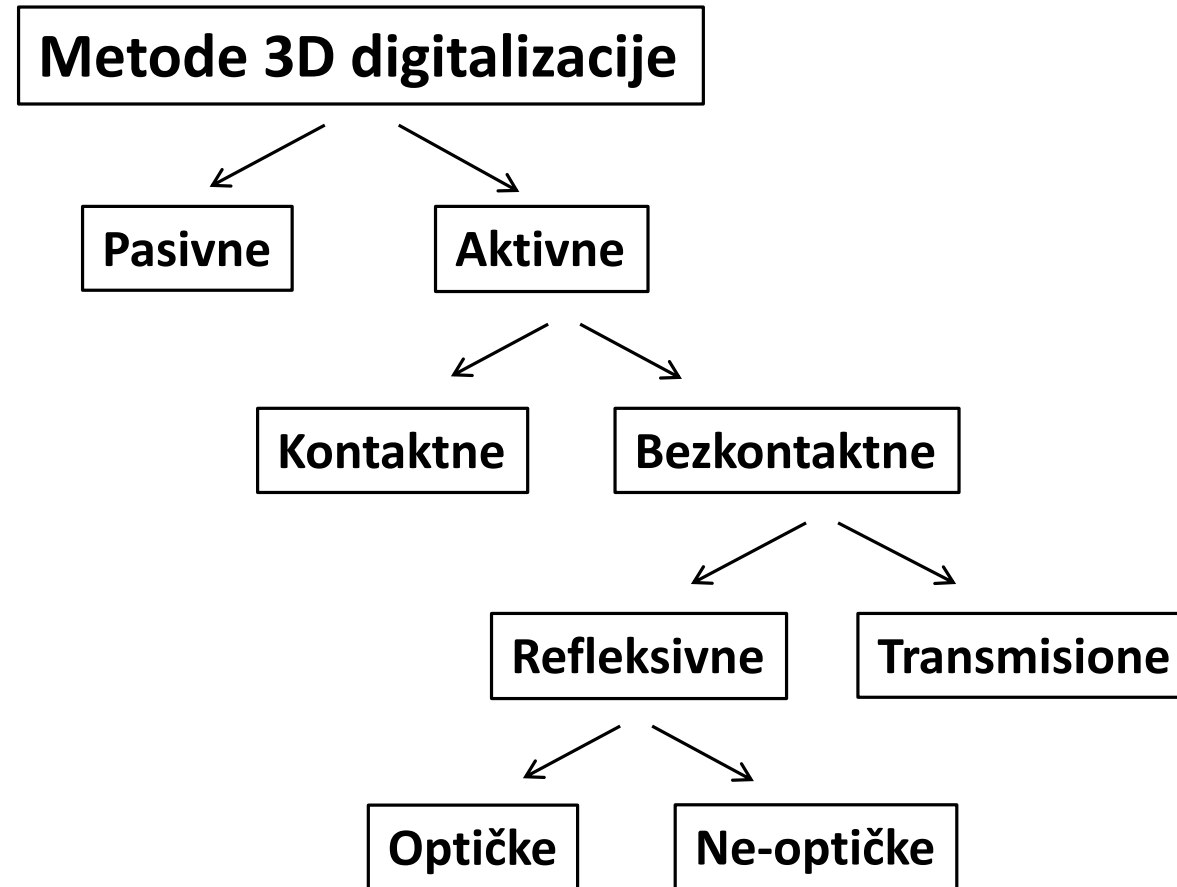
Rezultat 3D digitalizacije je skup tačaka, koji se često u literaturi, zbog oblika koji zauzima u prostoru, naziva - **OBLAK TAČAKA** (engl. point cloud).

Svaka tačka u oblaku tačaka je definisana prostornim Dekartovim koordinatama x , y i z .



METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA

Podela metoda



Kontaktne metode, kao što i sam naziv sugeriše, karakteriše kontakt objekta i merne sonde (senzora), koja na svom kraju obično ima merni pipak.

Kontaktne metode 3D digitalizacije

Koordinatne merne mašine

Zglobne merne ruke

Merni senzor na CNC mašinama



KONTAKTNA 3D DIGITALIZACIJA

Prednosti:

- Visoka tačnost prikupljenih podataka.
- 3D digitalizacija transparentnih i visokorefleksivnih površina.
- Mogućnost 3D digitalizacije pravih uskih i dubokih otvora.

Nedostaci:

- Spora akvizicija podataka.
- Nemogućnost 3D digitalizacije deformabilnih i osetljivih površina.
- Prikupljanje samo geometrijskih podataka.

Zglobne merne ruke

Zglobne merne ruke su prenosive mašine za koordinatno merenje dizajnirane da vrše precizna merenja pomoću **sistema pipaka** (kontaktno merenje) kao i sa **3D skenerom** (beskontaktno merenje).

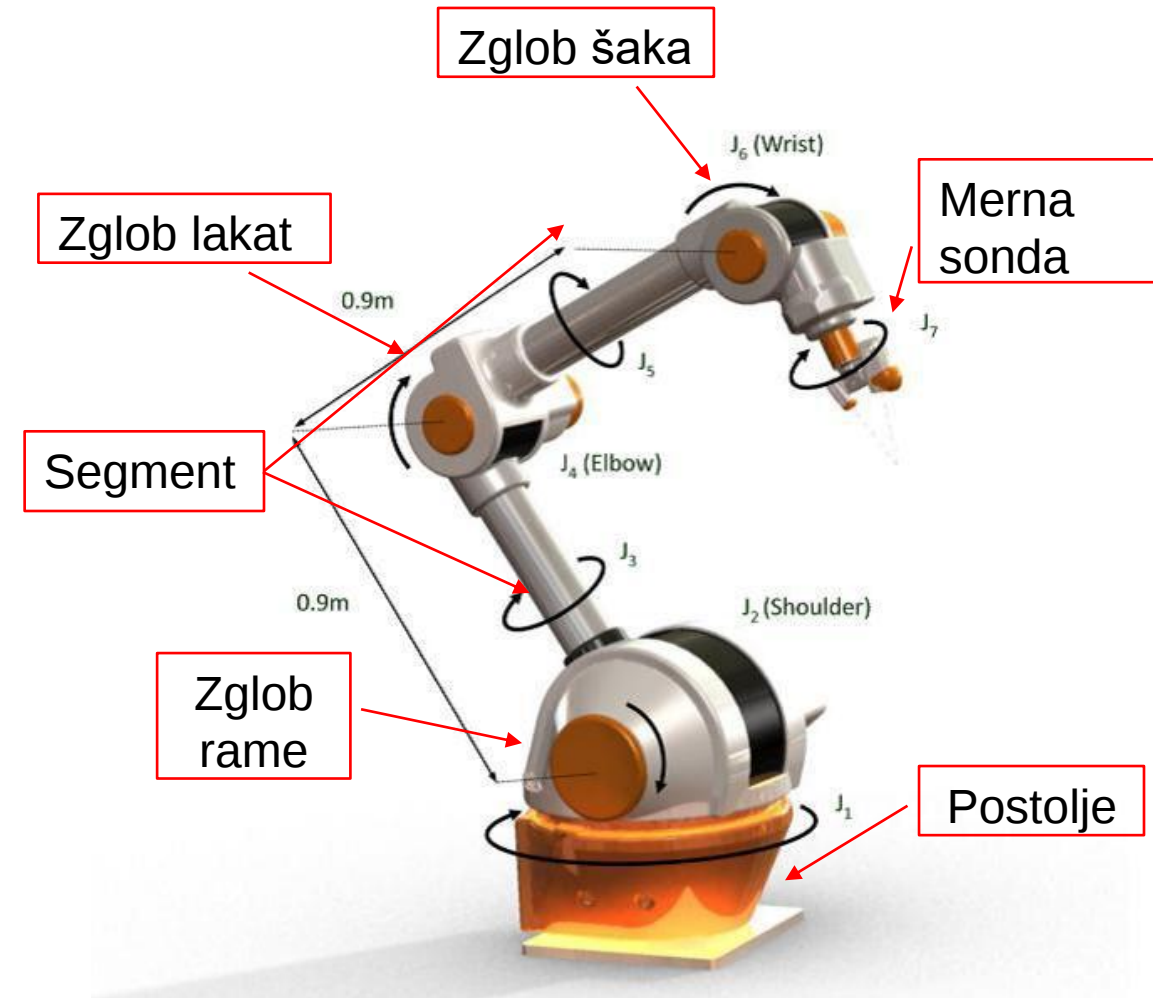
ISO 10360-12 je standard kojim su definisane zglobne mrene ruke za kontaktno merenje.



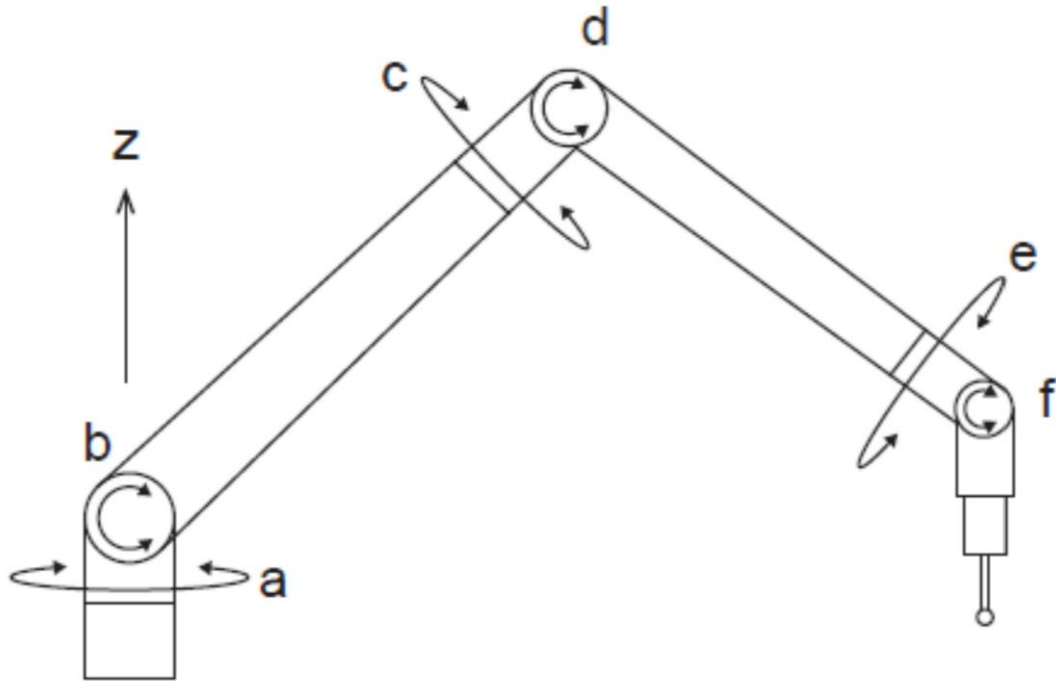
Arhitektura zglobnih mernih ruku

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.

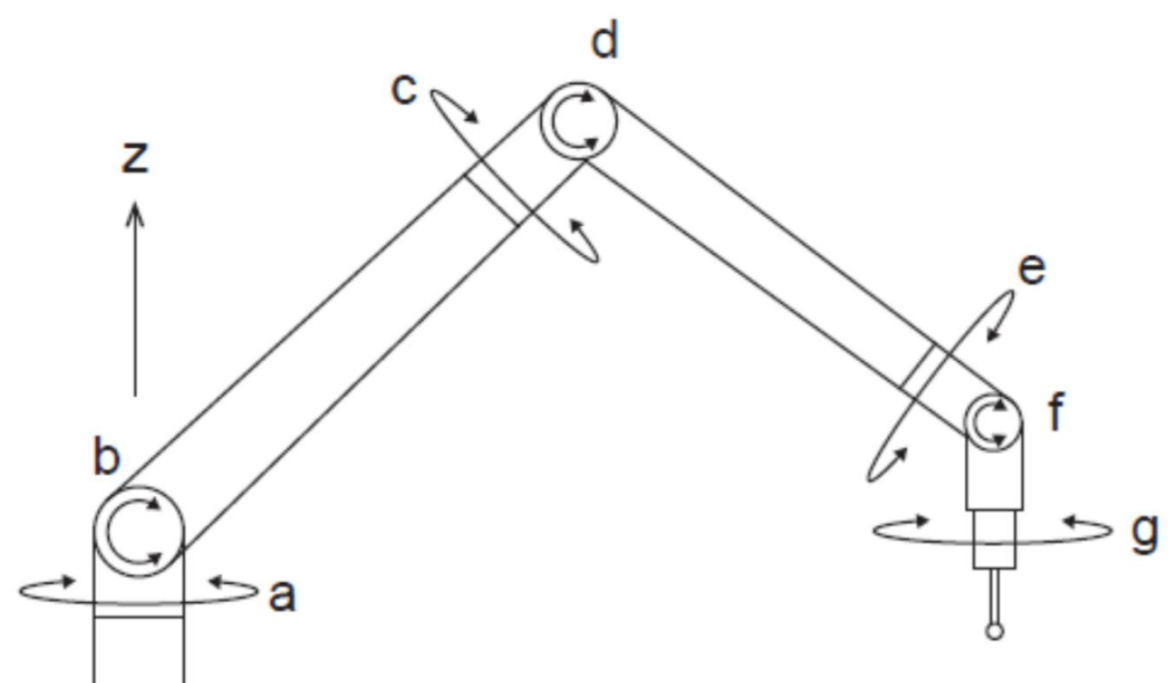


Arhitektura zglobnih mernih ruku



6 osa

Kontakni senzorski sistemi



7 osa

Beskontaktni seznorski sistemi

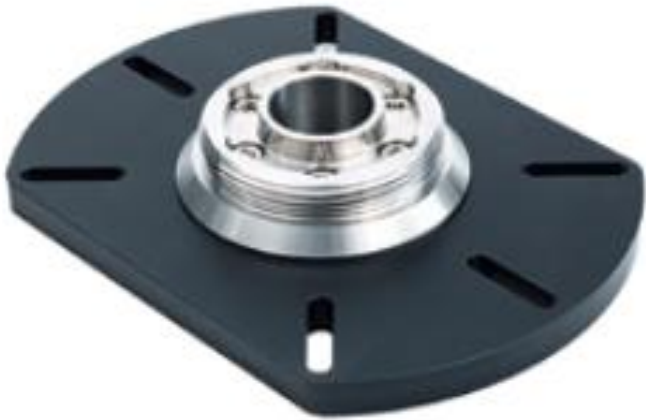
Arhitektura zglobnih mernih ruku

Više-osna (i do 7 osa) konstrukcija omogućuje da senzor (koji se nalazi na krajnjem segmentu) 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, 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 za teške uslove rada su dizajnirani da čvrsto prihvate sve tipove 3D metroloških instrumenata uključujući zglobne merne ruke i na taj način obezbede tačnost 3D digitalizacije. Opremljeni su sa masivnim stubom (fiksni i/ili podešavajući), dok je mobilnost obezbeđena pomoću točkića.

Pokretni stalci

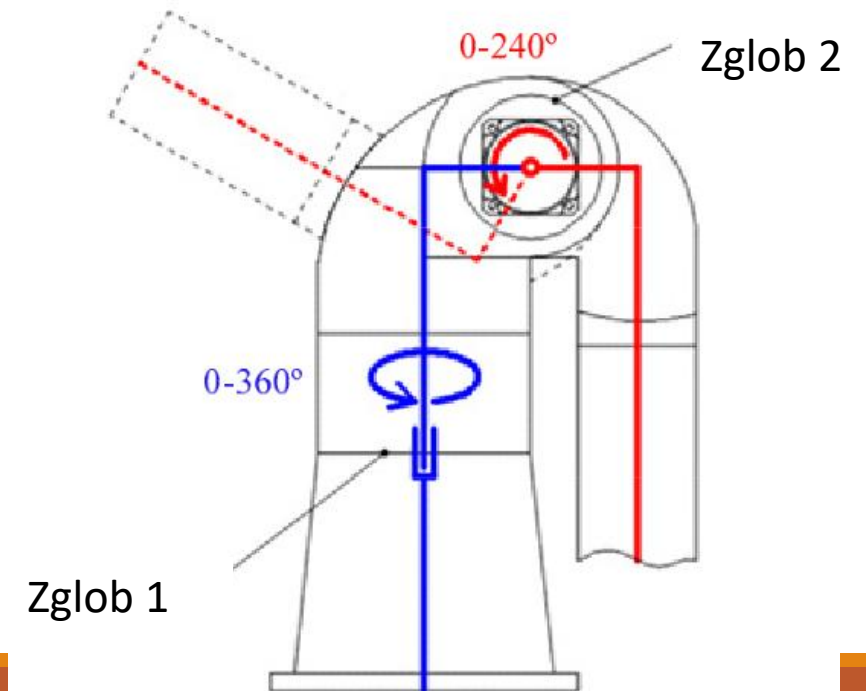
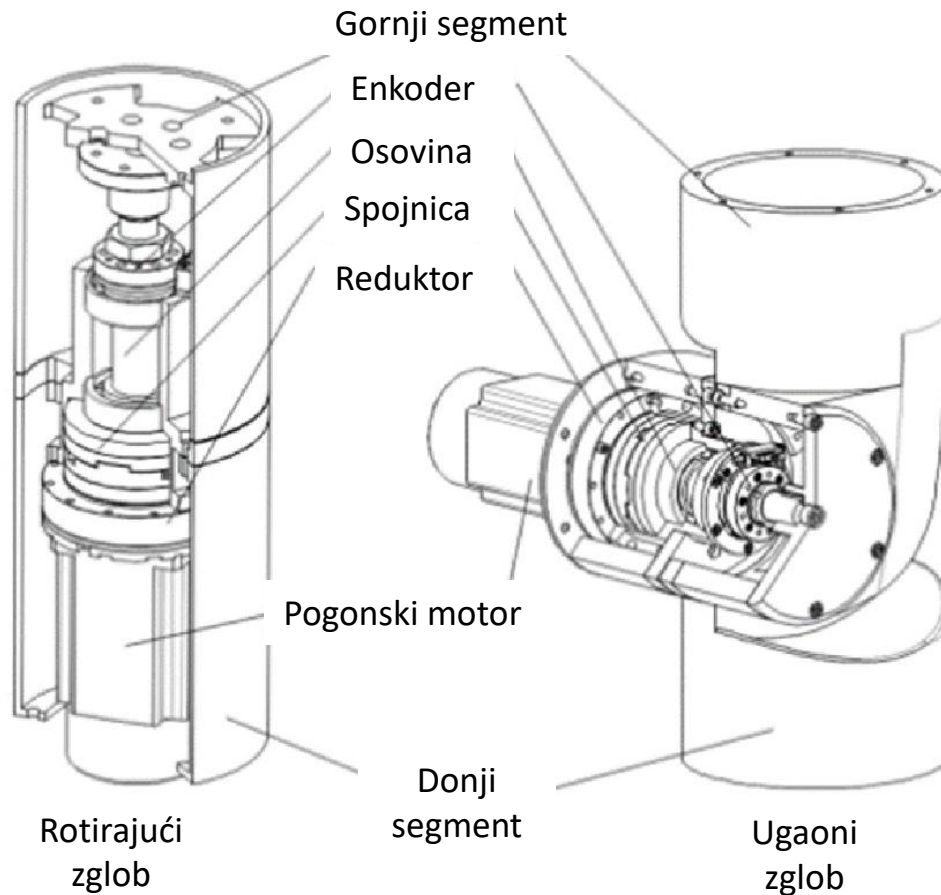
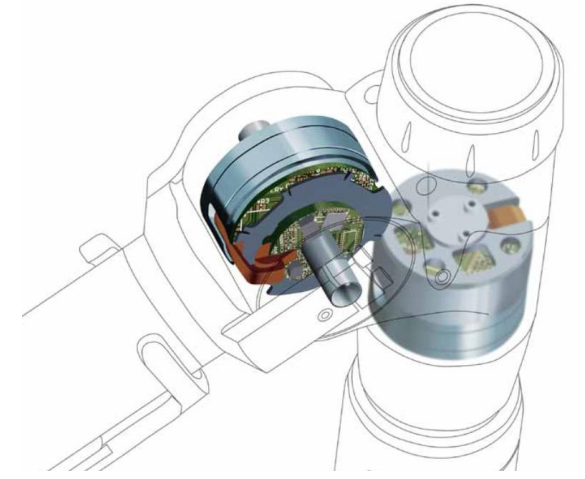


Tripodi



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.

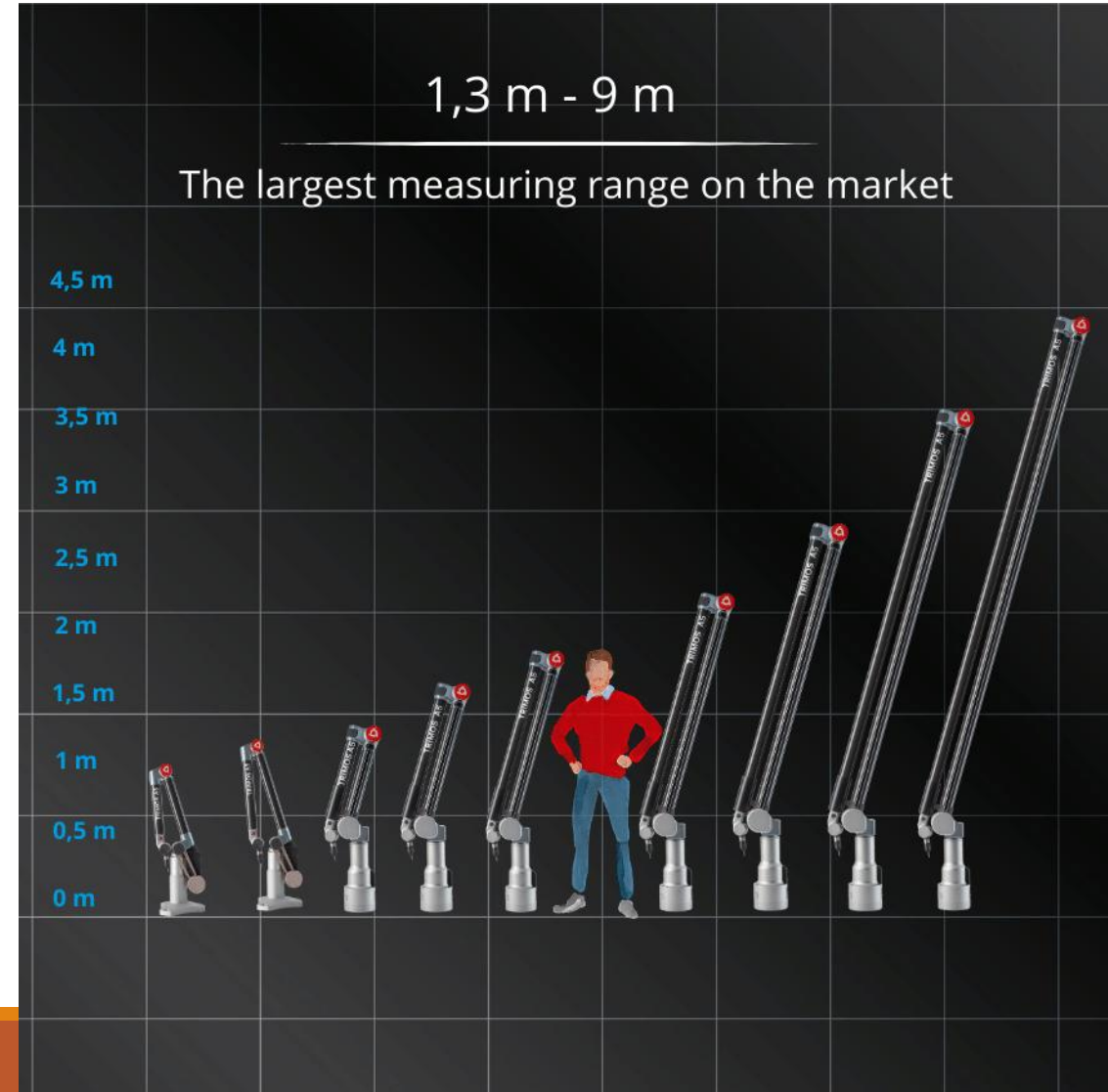
Merna zapremina se kod ovih sistema često naziva i **iskoristivom mernom zapreminom** da bi se napravila razlika u odnosu na veličinu koja se naziva **maximalni doseg** zglobne merne ruke, a koja je oko 10 do 15 % veća od prečnika iskoristive merne zapremine.



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.



Prednosti / Nedostaci zglobnih mernih ruku

Prednosti ove vrste uređaja za 3D-digitalizaciju:

- + mobilnost,
- + primenjivost 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

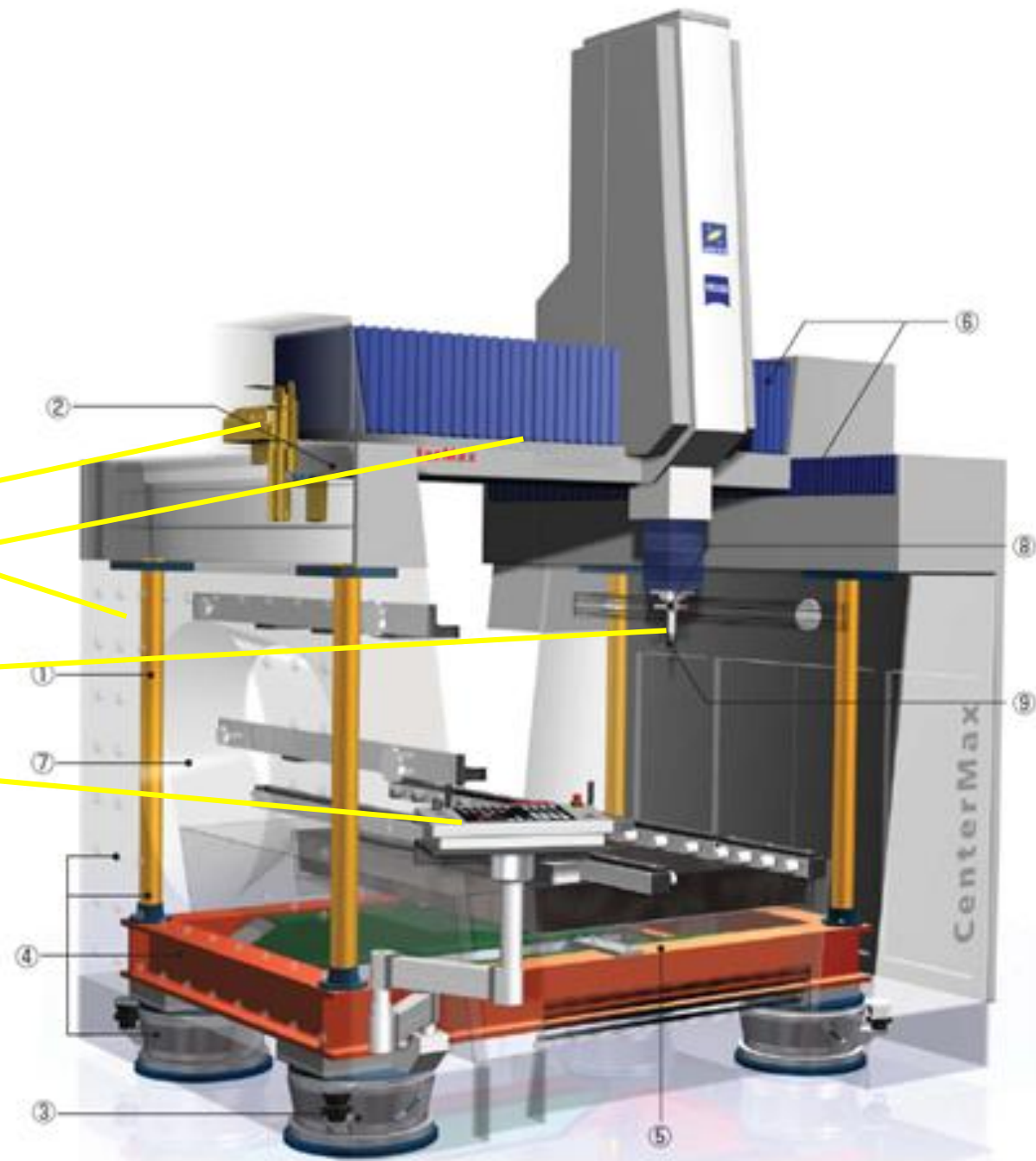
KOORDINATNE MERNE MAŠINE (KMM)

- ✓ **KMM predstavljaju merne uređaje** sposobne da odrede koordinate tačaka na radnoj (mernoj) površini, na bazi postepenog pomeranja mernog senzora.
- ✓ Savremene KMM su 3D merni uređaji namenjeni merenju geometrijskih karakteristika fizičkih objekata.
- ✓ Na KMM se mogu realizovati:
 - ✓ dimenziona merenja (rastojanja između geometrijskih entiteta);
 - ✓ merenja za potrebe određivanja geometrijskih odnosa (ravnost, uglovi između površina, upravnost, paralelnost, koncentričnost, koaksijalnost itd.);
 - ✓ 3D digitalizacija (skeniranje).

Arhitektura KMM

✓ Hardverske komponente KMM:

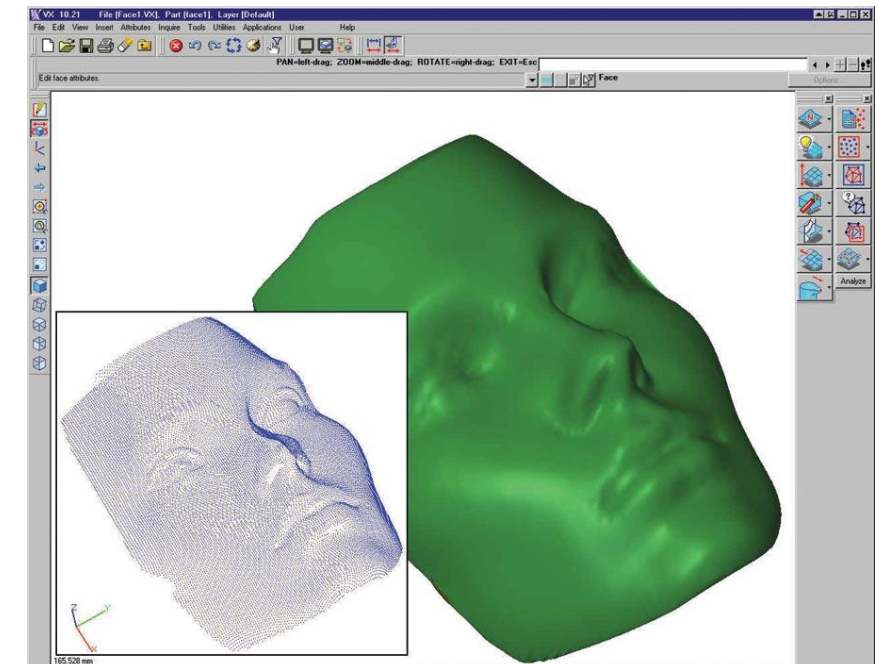
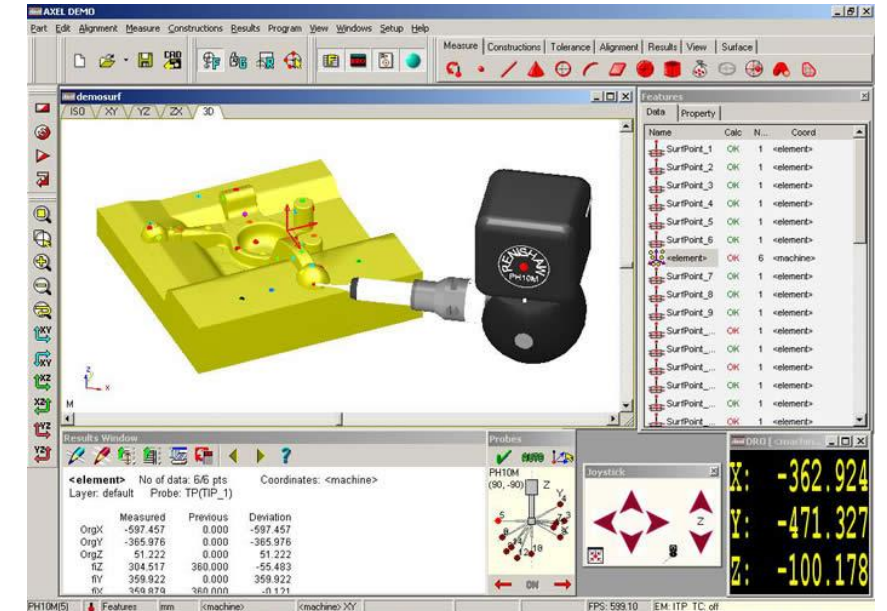
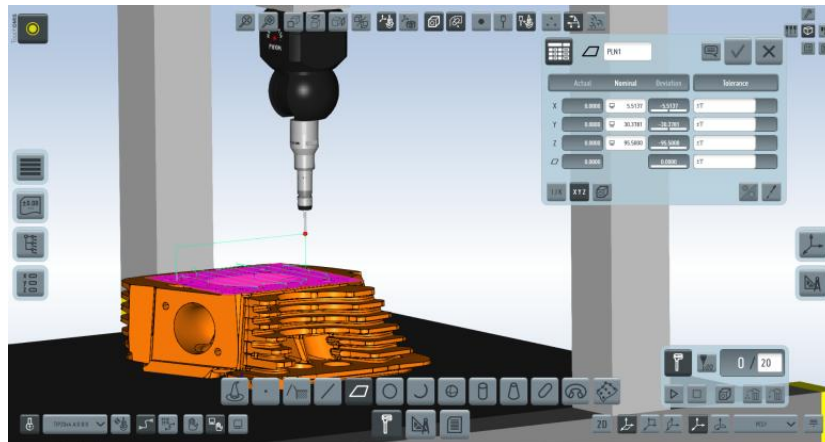
- ✓ noseća struktura,
- ✓ pogonski sistem,
- ✓ merni sistem,
- ✓ merna sonda,
- ✓ računarska podrška.



Arhitektura KMM

✓ Softverske komponente:

- ✓ softver za tolerancije dužina, uglova, oblika i položaja,
- ✓ softver za merenje i inspekciju zupčanika,
- ✓ softver za merenje i inspekciju krivih linija i površina,
- ✓ softver za statističke analize,
- ✓ softver za komunikaciju i integraciju.



Noseća struktura KMM

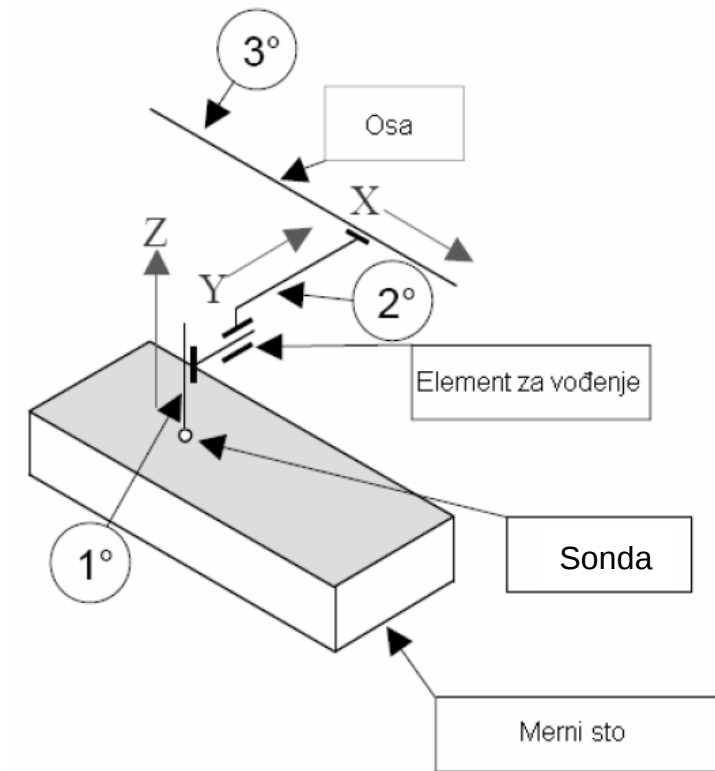
- ✓ Osnovni element KMM čija je funkcija:
 - ✓ da obezbedi odgovarajuću krutost KMM pri izvođenju procesa merenja uz postizanje propisane merne nesigurnosti i
 - ✓ da omogući tačno vođenje pokretnih elemenata noseće strukture.
- ✓ KMM se izvode u četiri osnovne varijante noseće strukture:
 - 1) konzolna-vertikalna,
 - 2) portalna,
 - 3) konzolna-horizontalna i
 - 4) mos(t)na.

Konzolna vertikalna KMM

Izvodi se u tri osnovne varijante:

- 1) stub (1) nepokretan - merni sto (3) i konzola (2) merna sonda pokretna,
- 2) merni sto nepokretan - stub i konzola pokretni, i
- 3) svi elementi pokretni.

Ova vrsta KMM se gradi do max veličine mernog prostora u pravcu jedne ose od 600 mm, za merenje složenih mernih predmeta, srednjih gabarita i visoke tačnosti.



Portalne KMM

Koriste se za srednje vrednosti mernih prostora: od 800 do 1800 mm.

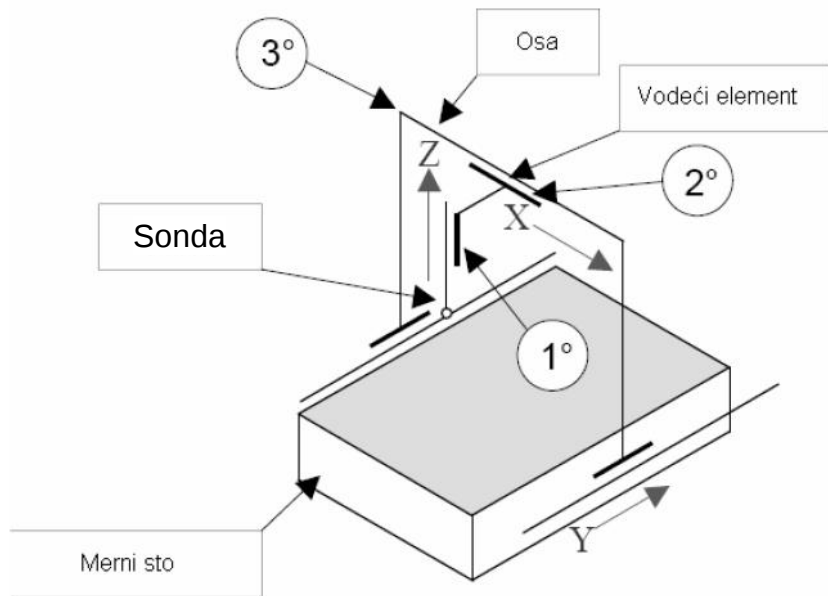
Izvede se u dve osnovne varijante:

1) **pokretan portal** / nepokretan merni sto i

2) **nepokretan portal** / pokretan merni sto.

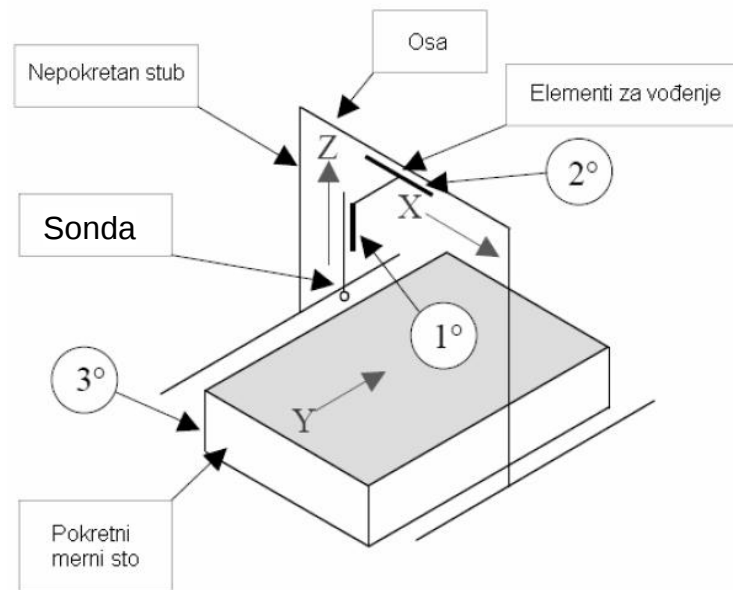
U oba slučaja nosač mernog senzora je pokretan.

Koriste se za precizna i kompleksna merenja.



Portalna noseća struktura sa **POKRETNIM PORTALOM**

Portalne KMM



Portalna noseća struktura sa NEPOKRETNIM PORTALOM

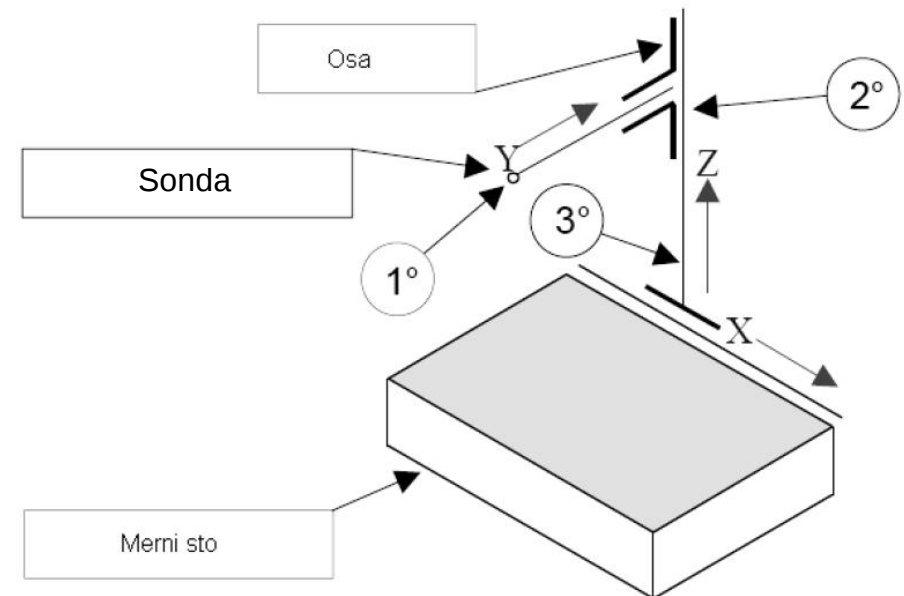
Konzolne horizontalne KMM

Izvide se u dve osnovne varijante noseće strukture:

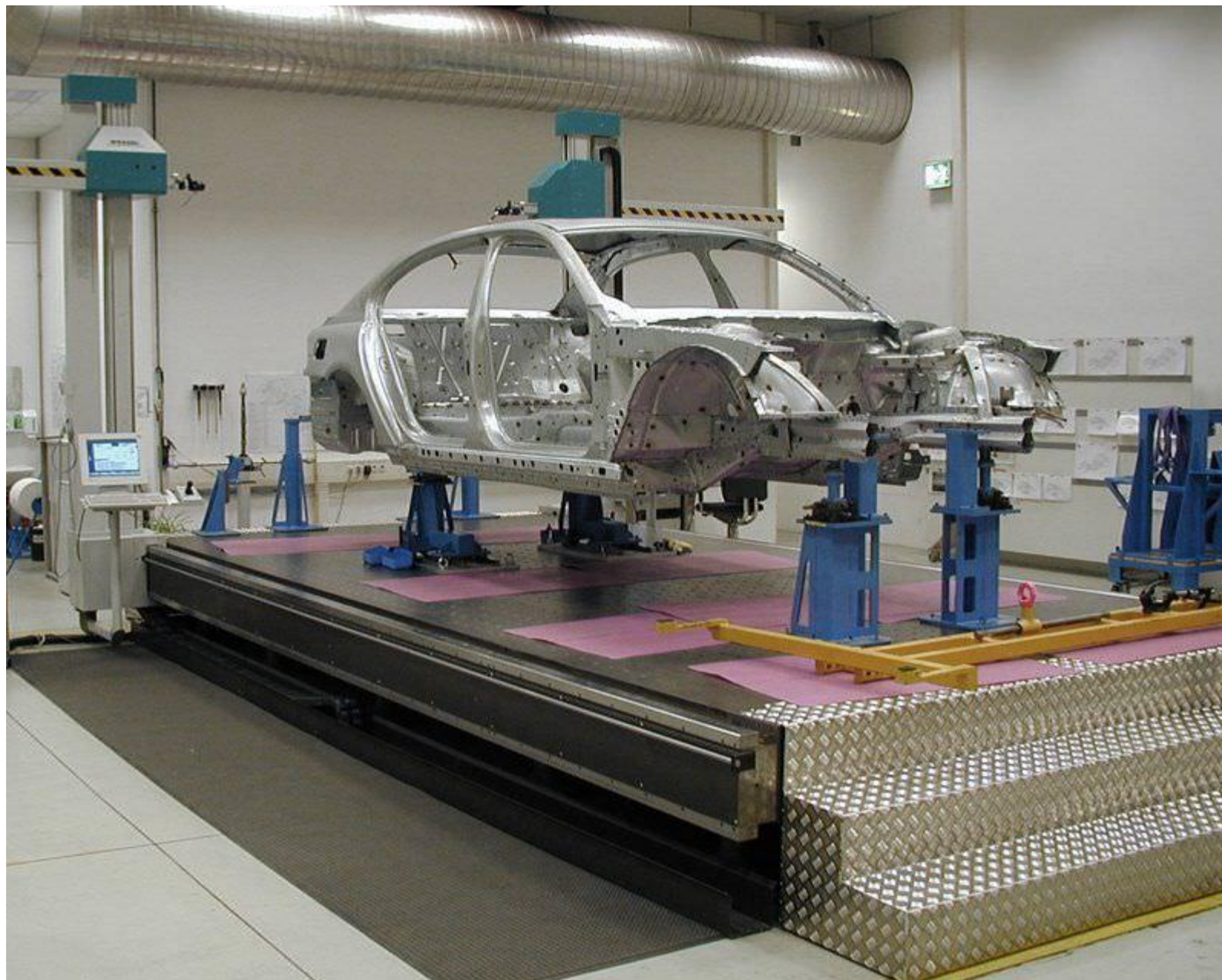
- 1) pokretan stub (1) - nepokretan merni sto (3), i
- 2) nepokretan stub - pokretan merni sto.

Kao i u prethodnom slučaju nosač mernog senzora je u oba slučaja pokretan.

Ova konfiguracija se koristi za inspekciju velikih (ne teških) mernih predmeta, kao što su na primer karoserije automobila, i za manje tačna merenja.

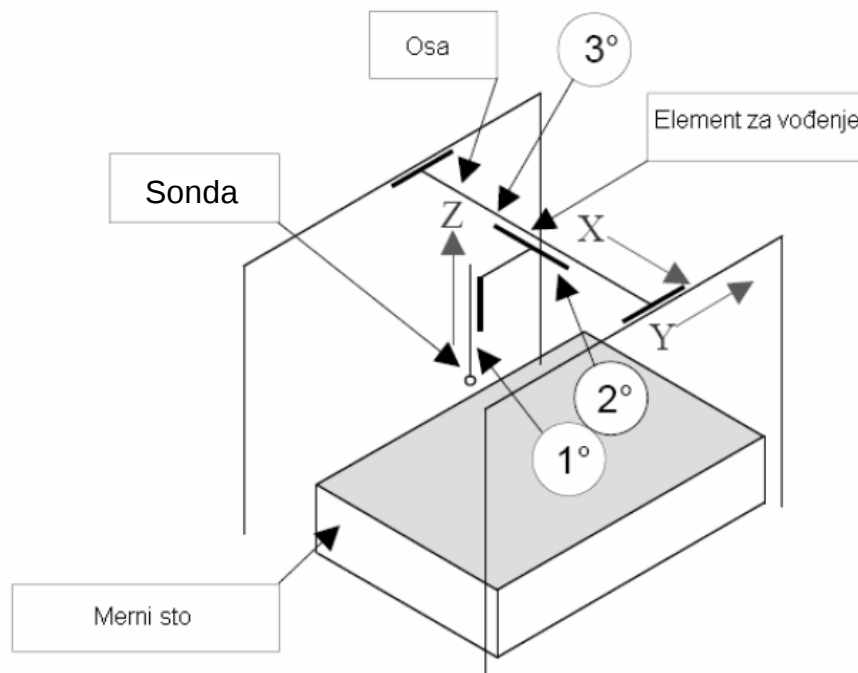
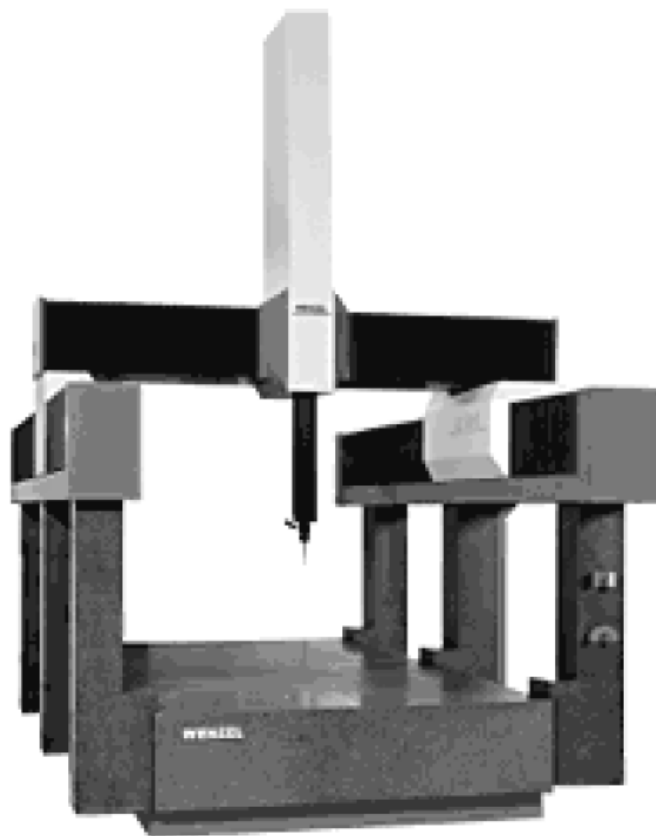


Konzolna horizontalna KMM



Mosne KMM

Predstavljaju oblik noseće strukture koji se primenjuje za inspekciju velikih i teških mernih predmeta, pri čemu su:
stubovi (1) nepokretni a portal (2) i nosač mernog senzora (3) pokretni elementi noseće strukture.



Mosna KMM



Karakteristike noseće strukture KMM

Kod svih tipova noseće strukture KMM, osim mosne, se javlja kombinacija pokretnog i nepokretnog mernog stola.

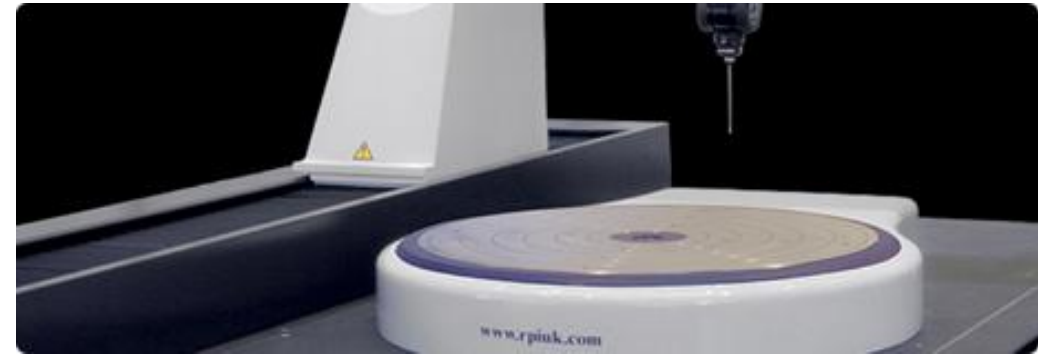
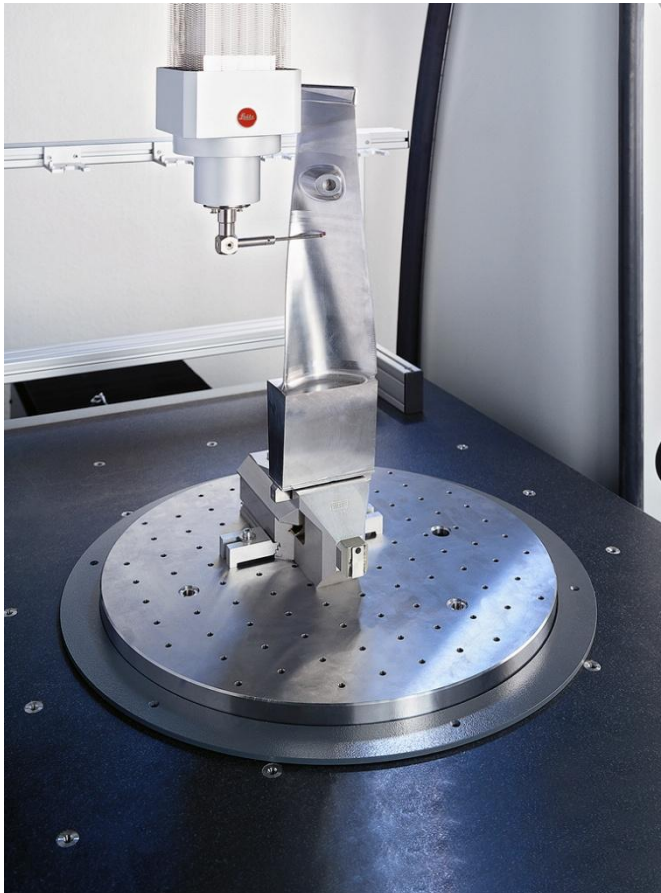
Dosadašnja iskustva u primeni KMM su generisala sledeće [prednosti primene nepokretnog mernog stola](#), odnosno pokretnog portala ili stuba:

- mogućnost postavljanja KMM na manjem prostoru - manji troškovi prostora,
- dobra dostupnost cele površine mernog stola - fleksibilnost upotrebe,
- velika dužina i/ili visina mernog predmeta - fleksibilnost mernih predmeta,
- velika promenljivost mase - ne utiče na tačnost merenja,
- brzina portala ili stuba do 150 mm/s - kraće vreme merenja velikih mernih predmeta,
- obrtni sto se lako instalira na merni sto - smanjenje potrebne merne zapremine,
- mogućnost upotrebe velikih obrtnih stolova - omogućena kompleksna 3D digitalizacija teških mernih predmeta, i
- aktivno pneumatsko prigušenje vibracija - nisu potrebni temelji za MM.

Obrtni sto za KMM

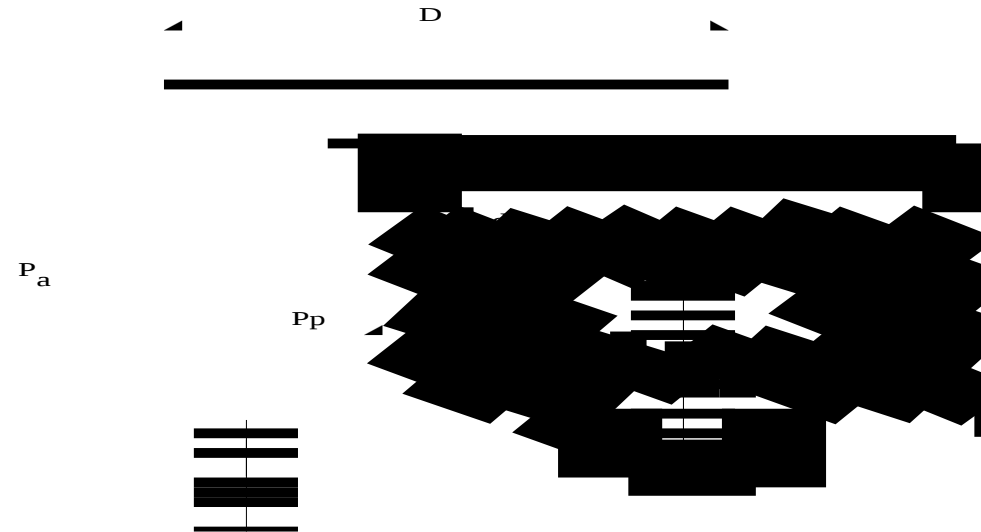
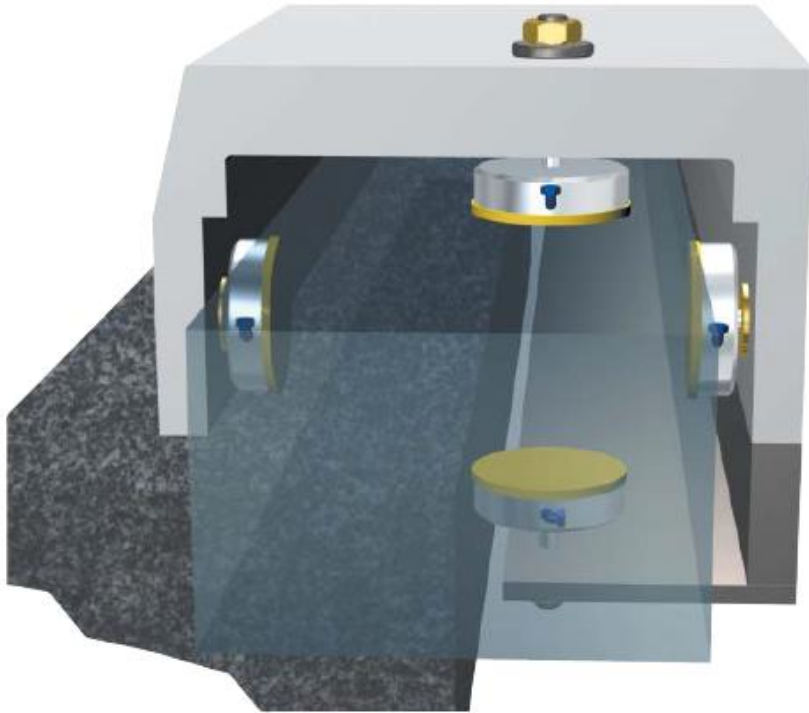
Daje dodatni stepen slobode nosećoj strukturi, koja po pravilu ima tri stepena slobode translacije, a pomoću obrtnog stola, dobija se četvrti stepen slobode - rotacija.

Koristi se za 3D digitalizaciju kompleksnih oblika.



Vazdušni ležaji

Predstavljaju element noseće strukture KMM koji omogućava nesmetano kretanje pokretnih elemenata sa minimalnim trenjem.

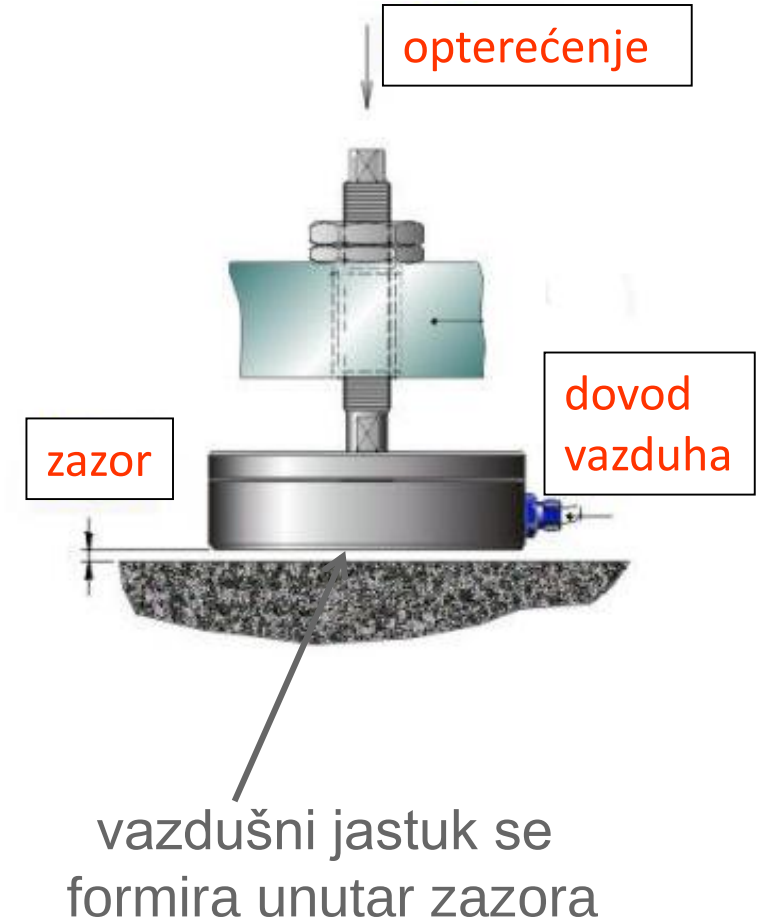


h - visina vazdušnog jastuka, d_o - prečnik mlaznice ležaja, p_p - pritisak u vazdušnom jastuku, p_s - pritisak napajanja, D - spoljni prečnik vazdušnog ležaja, p_a - atmosferski pritisak.

Osnovni parametri pločastog vazdušnog ležaja

Karakteristike vazdušnih ležaja su posebno važne za precizna translatorna pomeranja i one se odnose na:

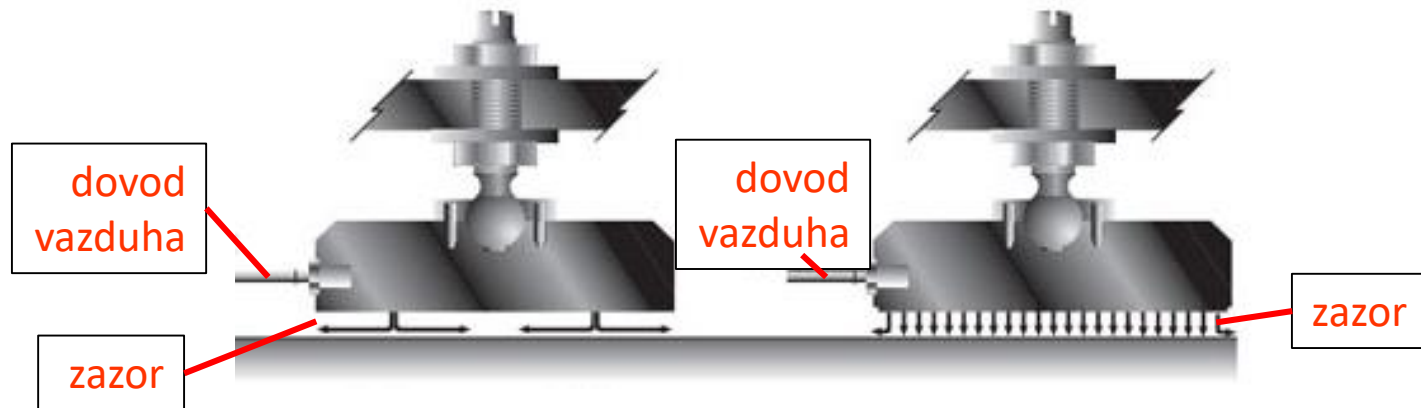
- ✓ malo trenje,
- ✓ tačnost i ponovljivost (debljina vazdušnog jastuka se kreće oko $0.05\text{ }\mu\text{m}$ na dužini od 300mm, a ponovljivost linearne putanje je $0.025\text{ }\mu\text{m}$),
- ✓ male vibracije i nizak nivo buke,
- ✓ dug vek i
- ✓ odsustvo zagađenosti radne sredine (vazduh kojim se napajaju ležaji i koji izlazi u okolinu KMM je čist).



Tipovi vazdušnih ležajeva

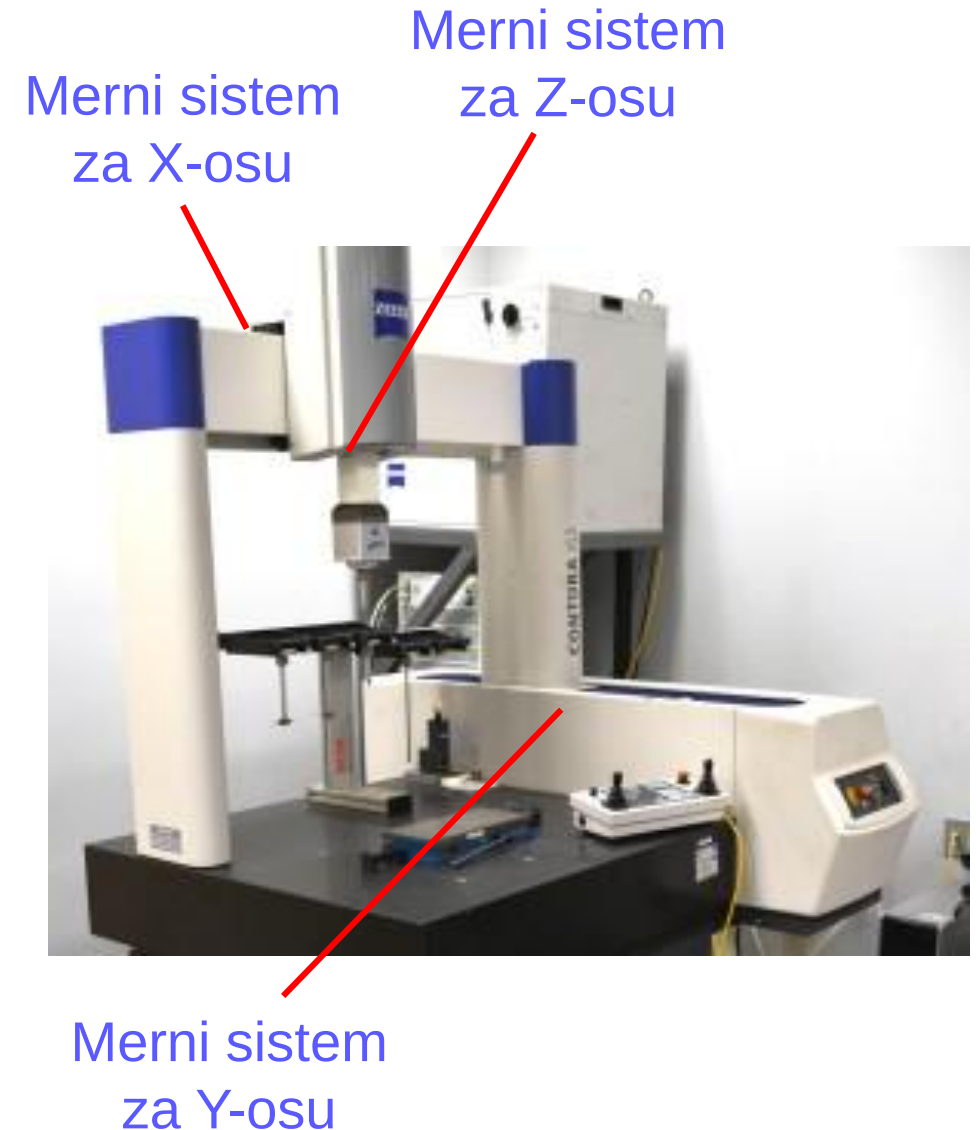
Sa otvorima

Porozni karbonski



Merni sistemi kod mernih mašina

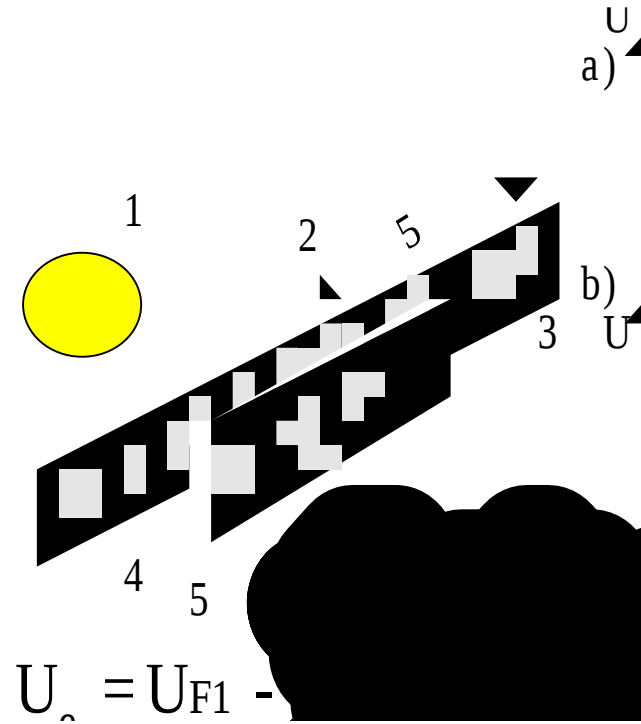
- ✓ Funkcija mernih sistema kod KMM je da jednoznačno identifikuju položaj pokretnih elemenata noseće strukture.
- ✓ Svaki stepen slobode noseće strukture ima sopstveni merni sistem, a zajedno povezani u celinu, čine relativni merni sistem KMM.
- ✓ Bilo koja tačka u mernom prostoru mašine, može da predstavlja koordinatni početak mašine.



Najzastupljeniji u primeni na KMM je **optički merni sistem**:

To je pozicioni merni sistem - generisanje električnih signala se vrši dvostrukim uzastopnim pretvaranjem veličina:

- Najpre se linijsko pomeranje pokretnog lenjira (5) prevodi u promenu jačine svetlosti pre ulaska u fotoćeliju (6). (Ovo se postiže pomeranjem lenjira, čime se ciklično zatvaraju i otvaraju prolazi svetlosnom snopu, pa se jačina svetlosti menja po sinusnom zakonu.
- Drugi pretvarač pretvara promenu jačine svetlosti u električne signale pomoću fotoćelija, jer se one naizmenično osvetljavaju u ritmu promene jačine svetlosti.
- Smer kretanja se utvrđuje na bazi prve osvetljene fotoćelije.



- 1) svetlosni izvor,
- 2) objektiv,
- 3) nepokretni lenjir,
- 4) sa rešetkama različite gustine,
- 5) pokretni lenjir sa rešetkama,
- 6) fotoćelija.



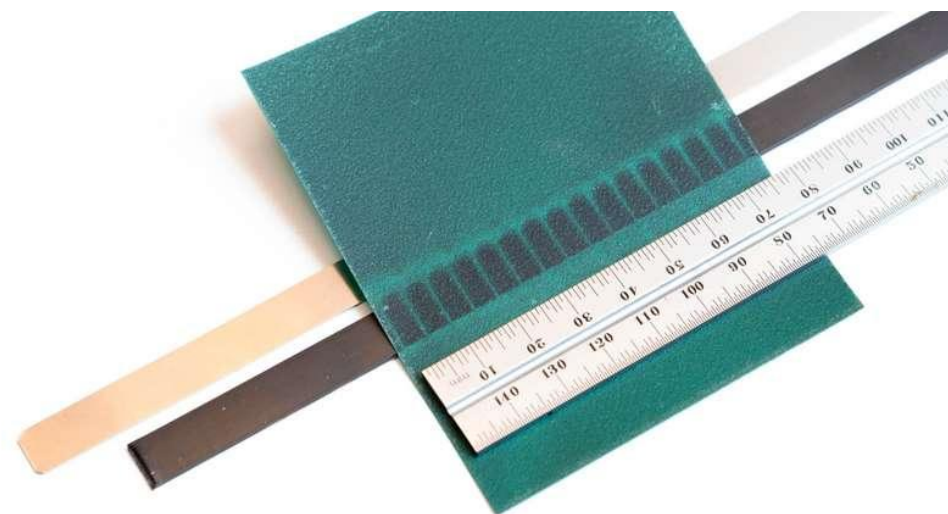
ATOM DX™ miniature digital encoder

Magnetni merni sistem:

Magnetni merni sistemi sastoje se od glave za čitanje i linearne magnetne trake. Glava senzora se napaja bez kontakta preko magnetne trake i tehnički je bez habanja. Digitalna magnetna skala ima tačnost do ± 15 mm pri dužini merenja do 100 m.

Funkcioniše tako što detektuje promenu magnetnog polja i pretvara je u udaljenost. Najčešći tip uređaja osetljivog na magnet koji se koristi u magnetnim mernim sistemima je senzor sa Holovim efektom. Ovaj tip senzora može detektovati prisustvo statičkog magnetnog polja. U prisustvu magnetnog polja, elektroni se odbijaju na jednu stranu od senzora stvarajući mali napon preko njega koji je proporcionalan jačini magnetnog polja. Na primer, napon može biti najveći kada je senzor tačno iznad severnog pola, a najniži kada je iznad južnog pola, ili obrnuto. Kako se senzor kreće duž skale, on proizvodi sinusoidne talase sa periodima identičnim prostoru između magnetnih polova.

Magnetne merni sistemi se nazivaju i digitalni lenjiri.



The Magnetic Scales by WayCon consist of a reading head (sensor) and a robust magnetic tape.

Pogonski sistemi kod mernih mašina

Pogonski sistemi imaju funkciju translatornog i rotacionog pokretanja pokretnih elemenata noseće strukture.

To su sistemi koji KMM daju stepene slobode.

Kao prenosni mehanizmi kod KMM se upotrebljavaju:

- frikcionni prenosnici - za **srednje** gabarite (manja tačnost merenja);
- zupčasta letva - **velike** gabarite KMM;
- beskonačna traka - **male i srednje** gabarite KMM;
- navrtka sa zavojnim vretenom - **male i srednje** gabarite KMM.

