

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

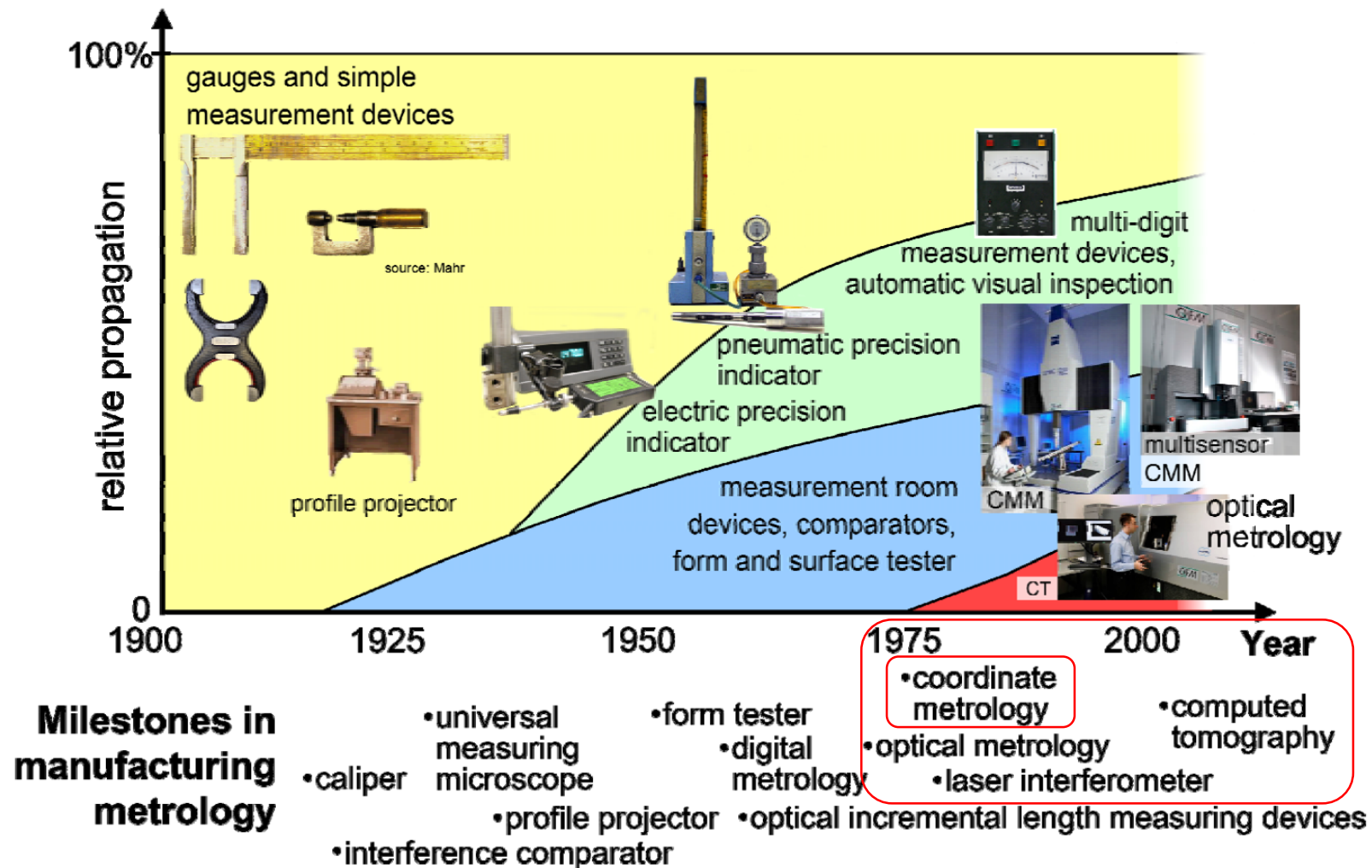
KOORDINATNE MERNE MAŠINE

Šta su 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).

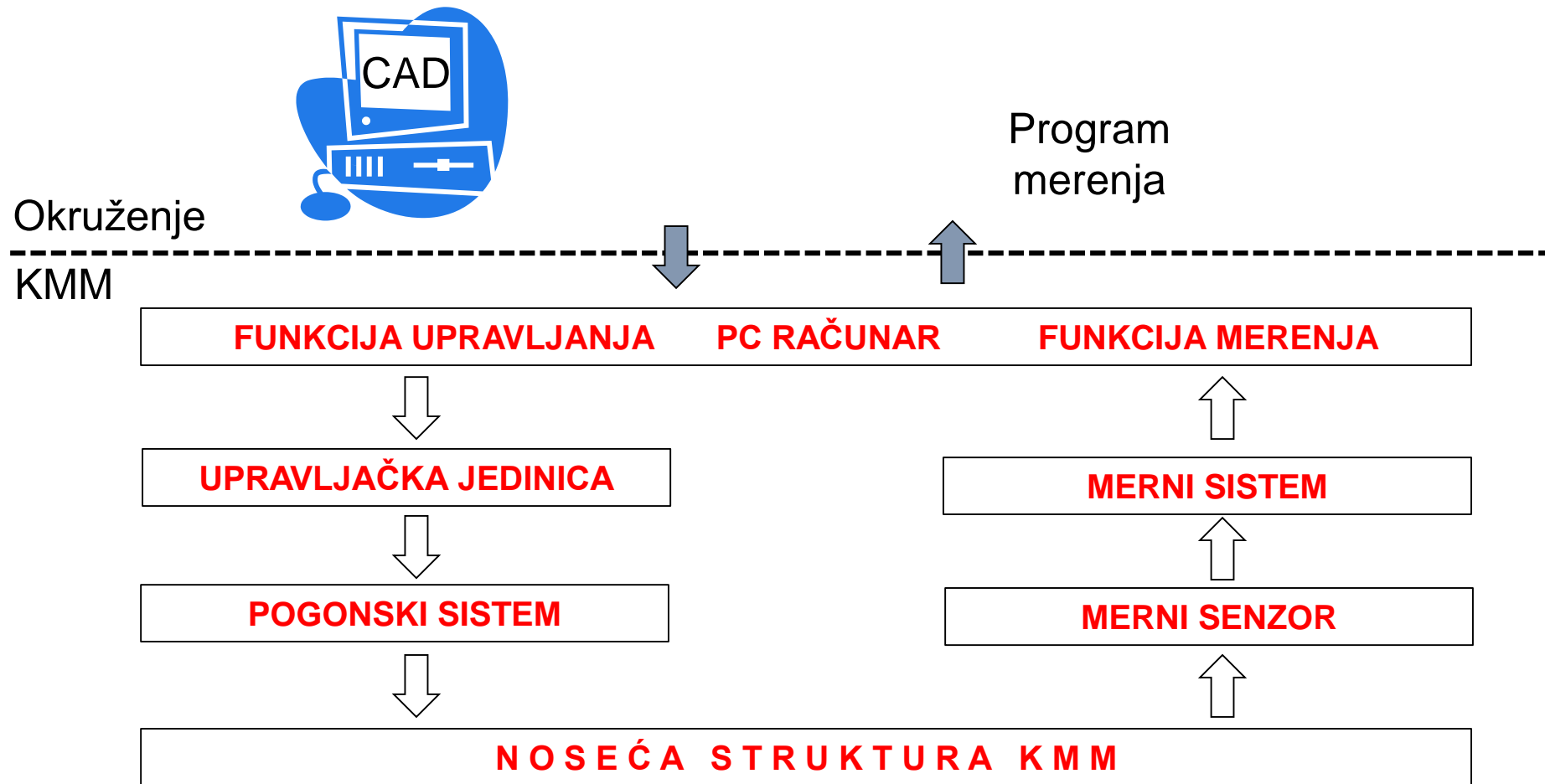
Računari su omogućili razvoj novog pristupa u metrologiji* - **koordinatne metrologije**, koja predstavlja standard u savremenoj dimenzionalnoj metrologiji.

* Metrologija - nauka o merenju.



Arhitektura KMM

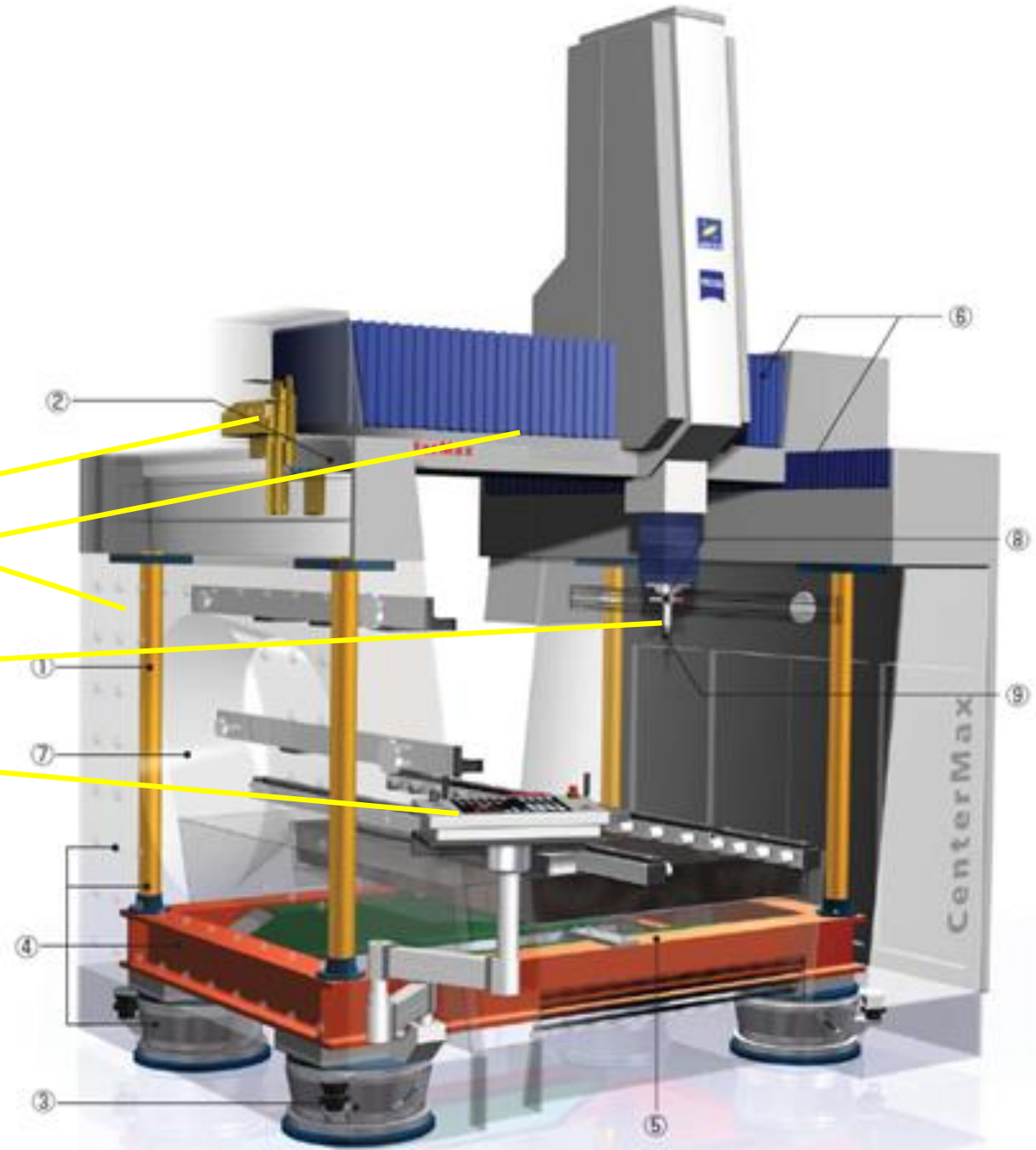
- ✓ Arhitektura KMM obuhvata hardverske i softverske komponente.



Arhitektura KMM

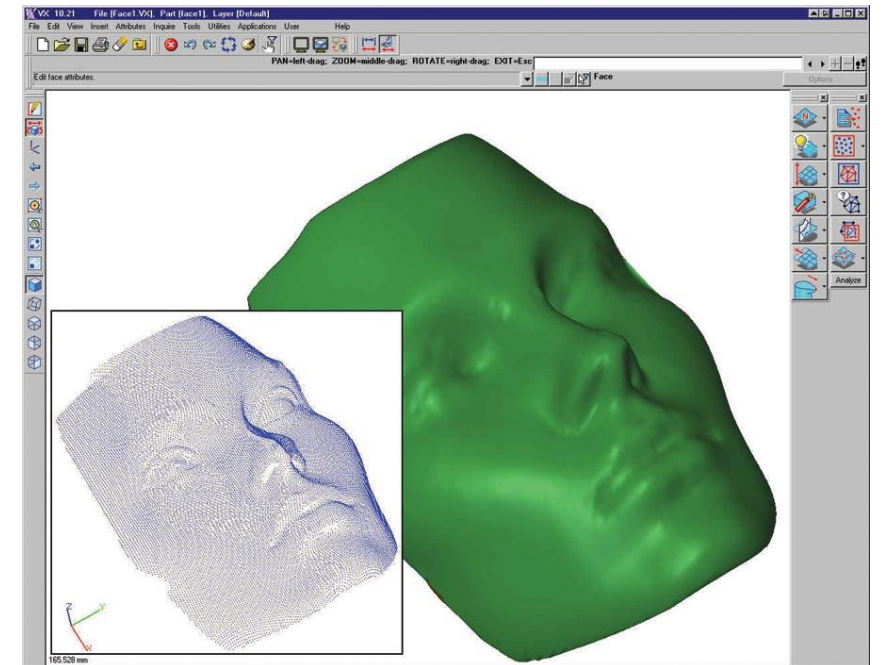
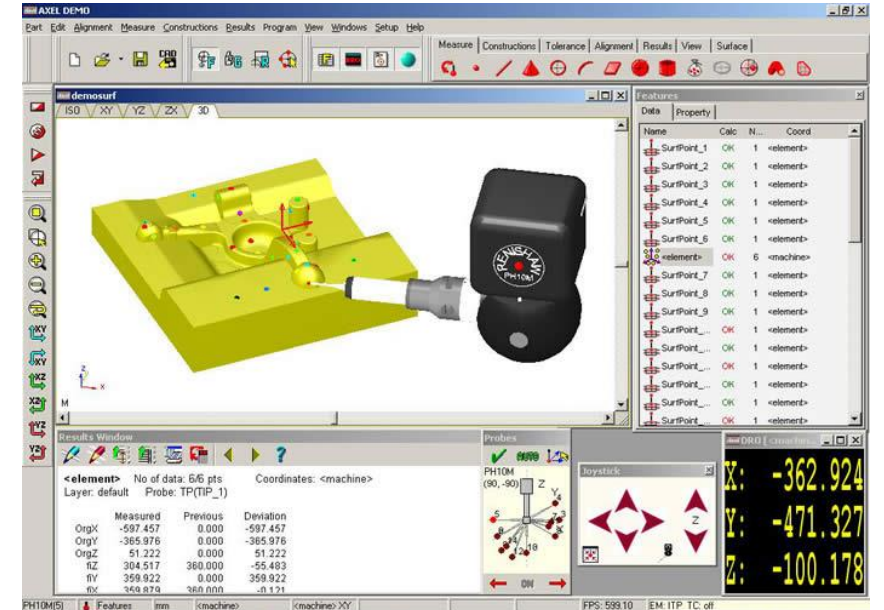
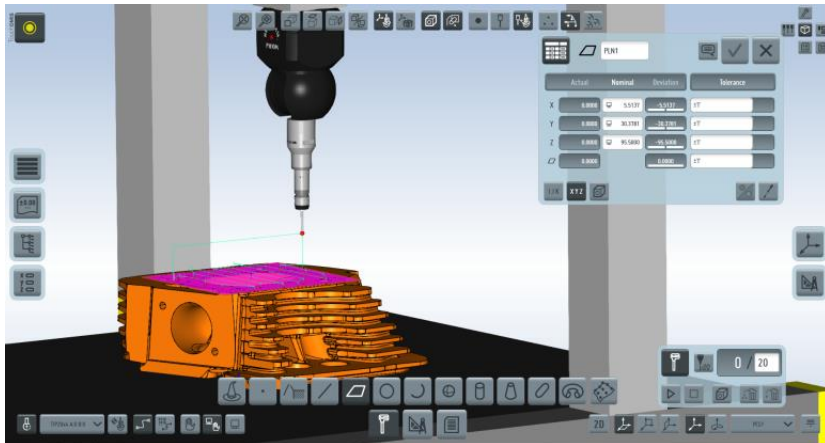
✓ Hardverske komponente KMM:

- ✓ noseća struktura,
- ✓ pogonski sistem,
- ✓ merni sistem,
- ✓ merni senzor,
- ✓ 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.

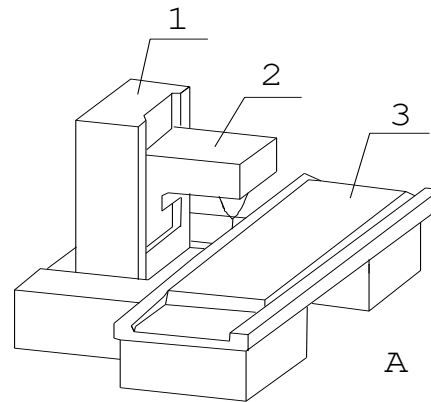
- ✓ KMM se izvode u četiri osnovne varijante noseće strukture:
 - 1) konzolna-vertikalna,
 - 2) portalna,
 - 3) konzolna-horizontalna i
 - 4) mos(t)na.

Osnovne vrste noseće strukture KMM

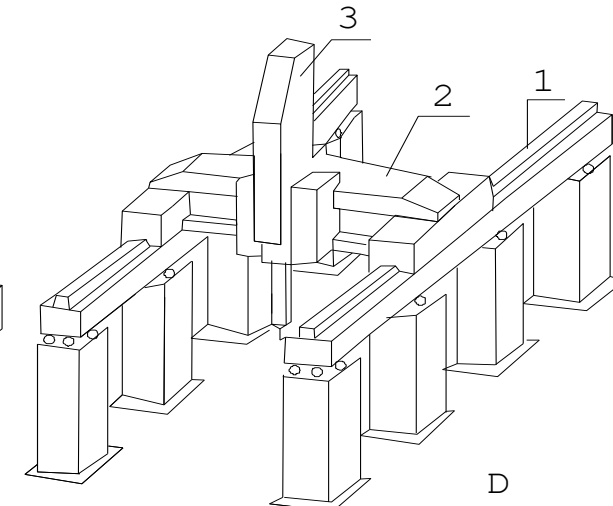
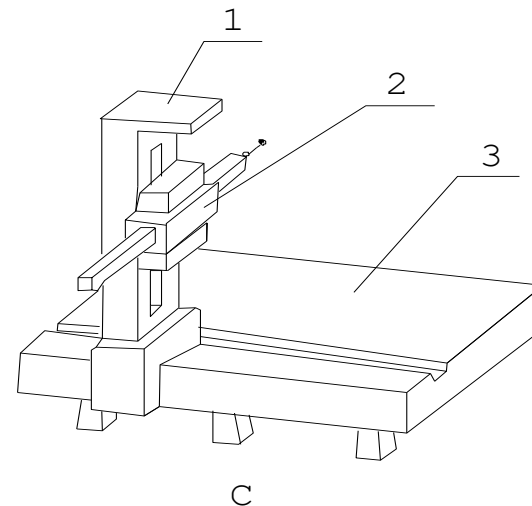
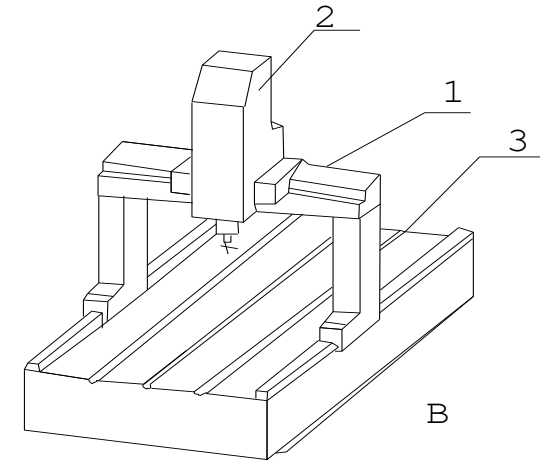
✓ Osnovni elementi navedenih struktura su:

- ✓ nosač-portal (1),
- ✓ nosač mernog senzora (2)
- ✓ merni sto (3).

Konzolna vertikalna



Portalna



Konzolna horizontalna

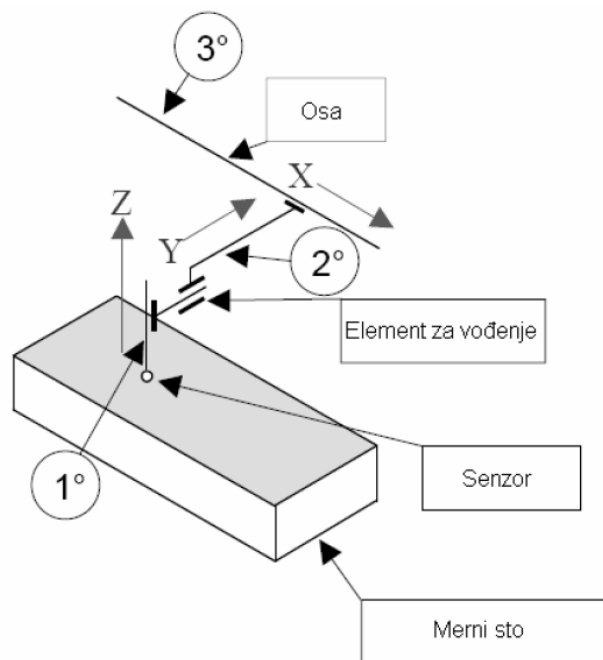
Mosna

Konzolna vertikalna KMM

Izvodi se u tri osnovne varijante:

- 1) stub (1) nepokretan - merni sto (3) i konzola (2) mernog senzora 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

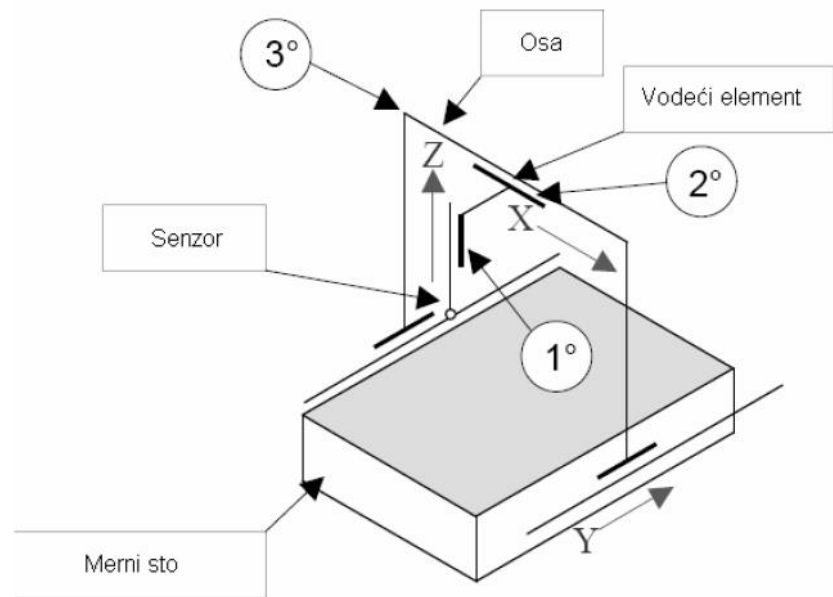
Koriste se za srednje vrednosti mernih prostora: od 800 do 1800 mm.

Izvide se u dve osnovne varijante:

- 1) pokretan portal / nepokretan merni sto i
- 2) nepokretan portal / pokretan merni sto.

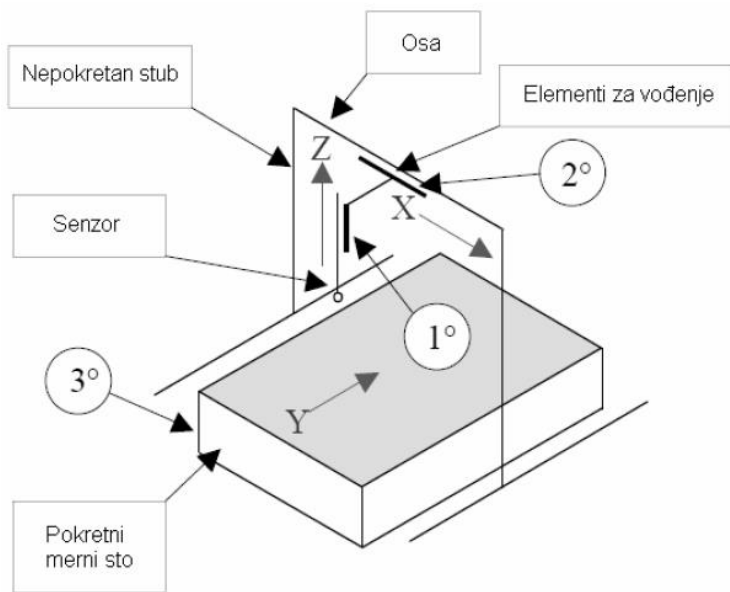
U oba slučaja nosač mernog senzora je pokretan.

Koriste se za precizna i kompleksna merenja.



Portalna noseća struktura sa pokretnim portalom

Portalne KMM



Portalna noseća struktura sa nepokretnim portalom

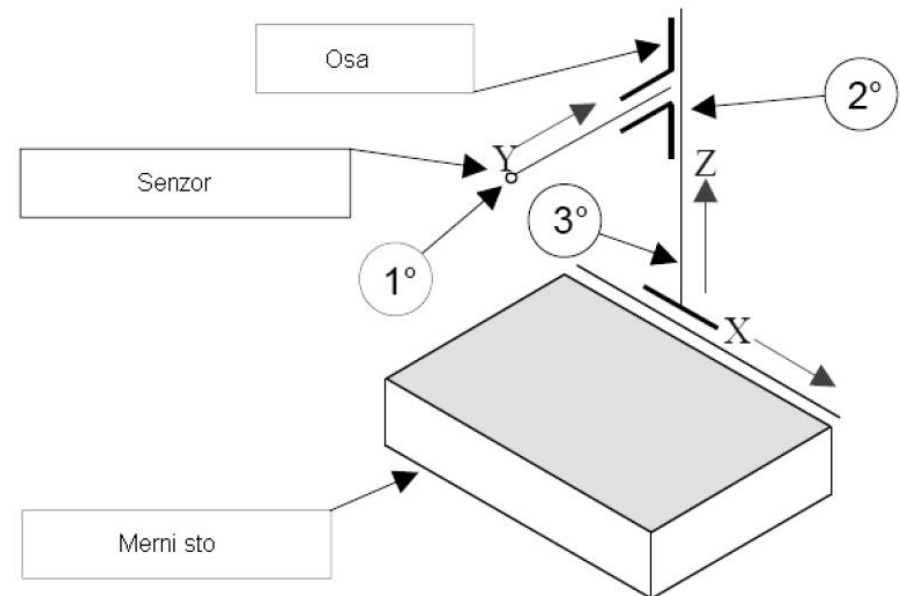
Konzolne horizontalne KMM

Izvode se u dve osnovne varijante noseće strukture:

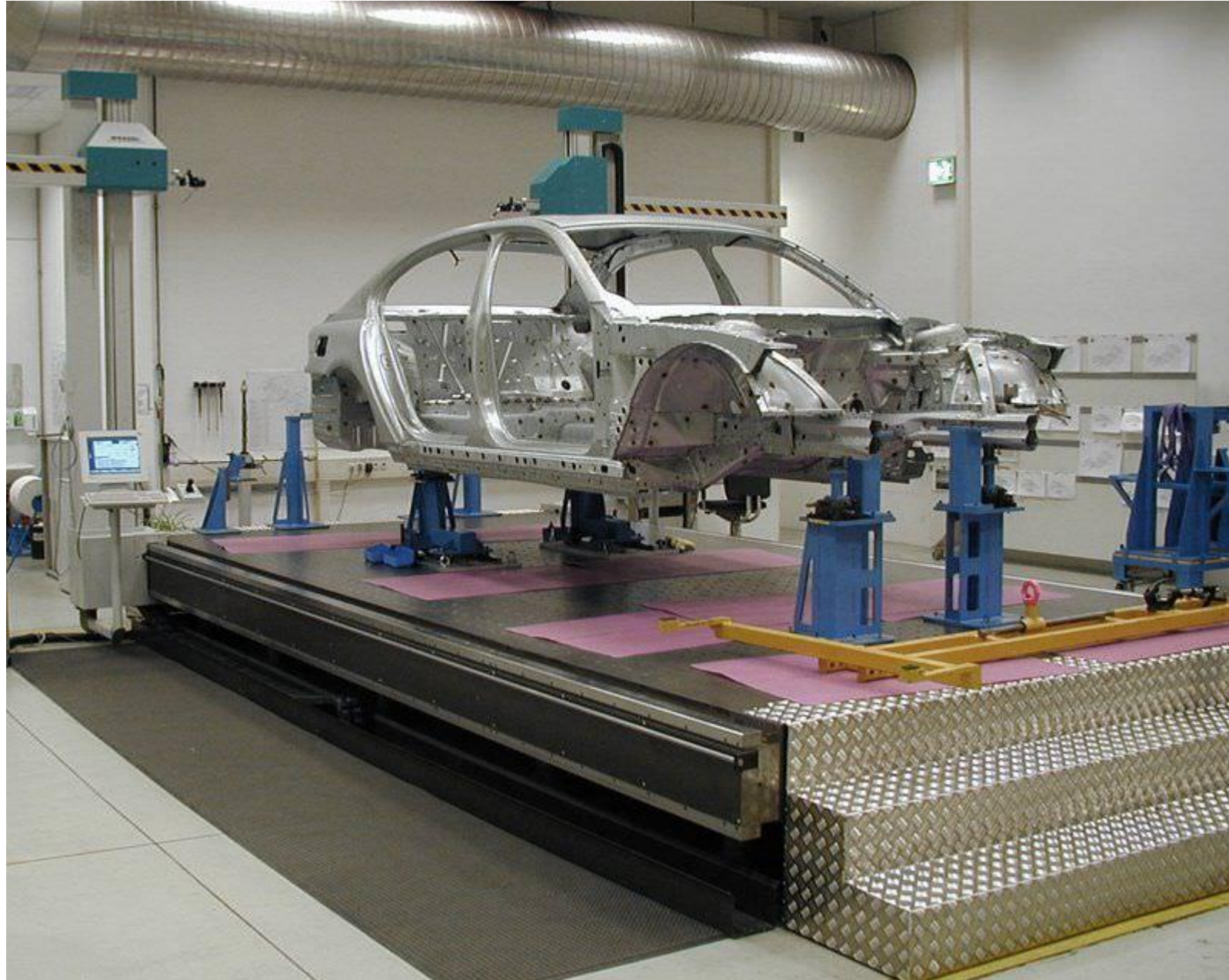
- 1) pokretan stub (1) - nepokretan merni sto (3), i
- 2) nepokretan stub - pokretan merni sto.

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.

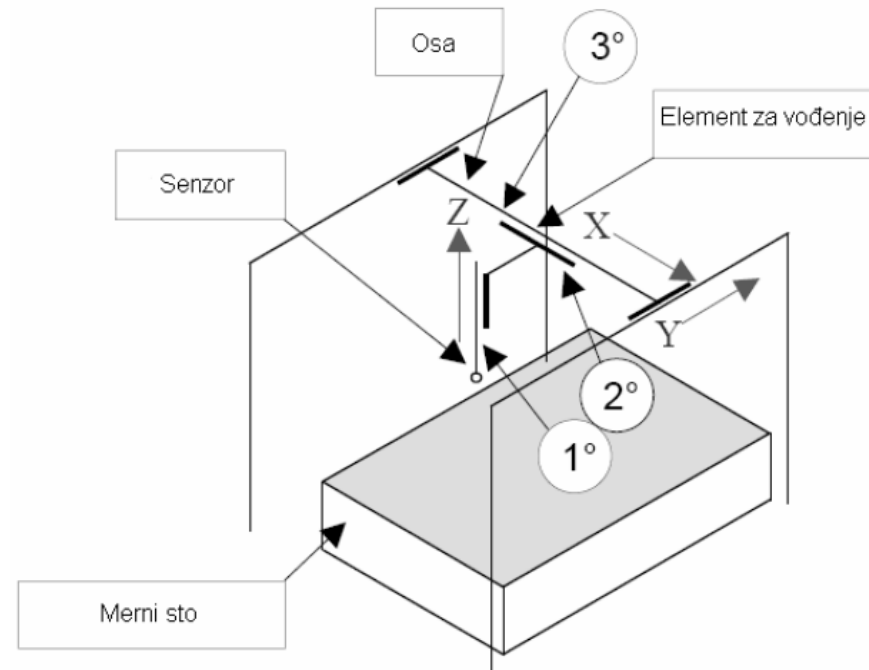
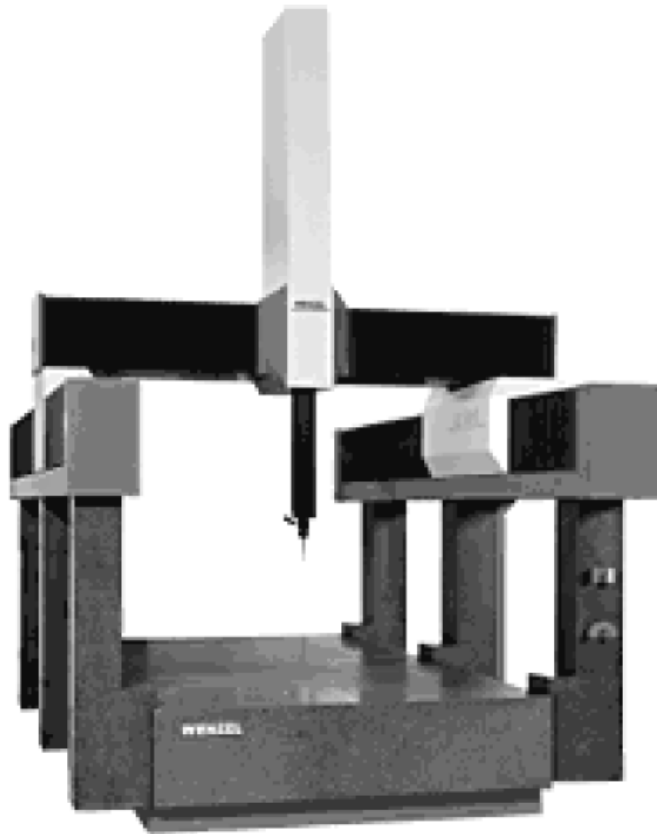


Konzolna horizontalna KMM



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.

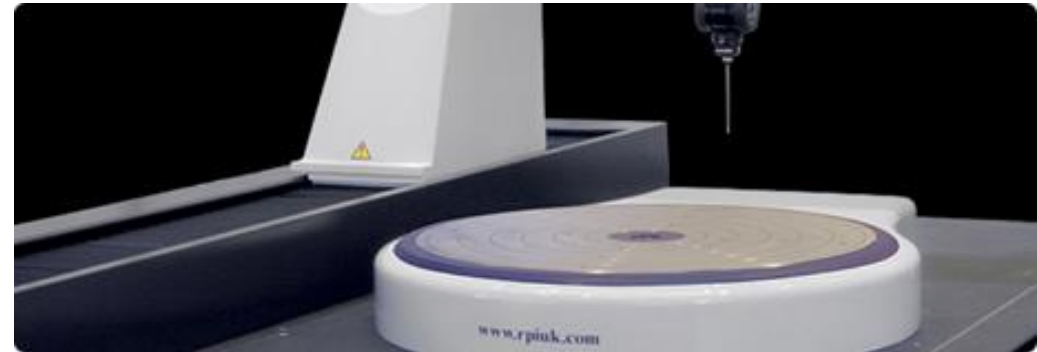
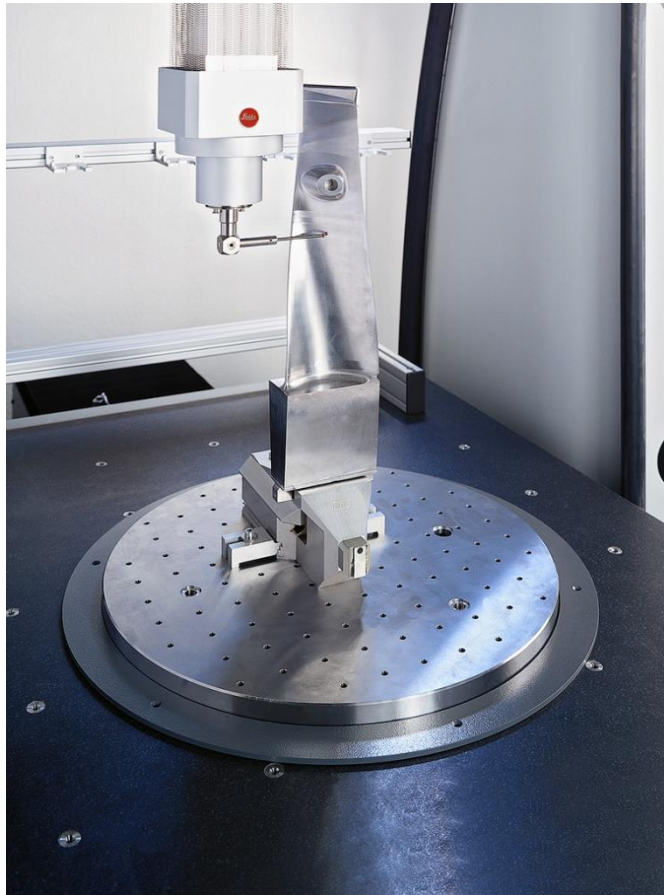
Dosadašnja iskustva u primeni KMM su generisala sledeće prednosti primene nepokretnog mernog stola, odnosno pokretnog portala ili stuba:

- 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.



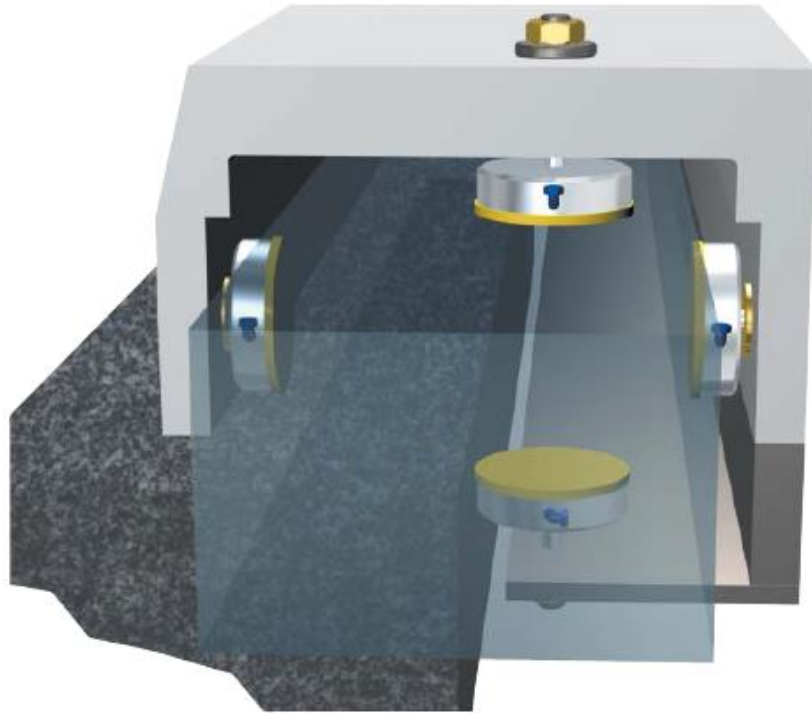
KMM sa obrtnim stolom

PRISMO 5 S-ACC VAST
with rotary table



Vazdušni ležaji

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

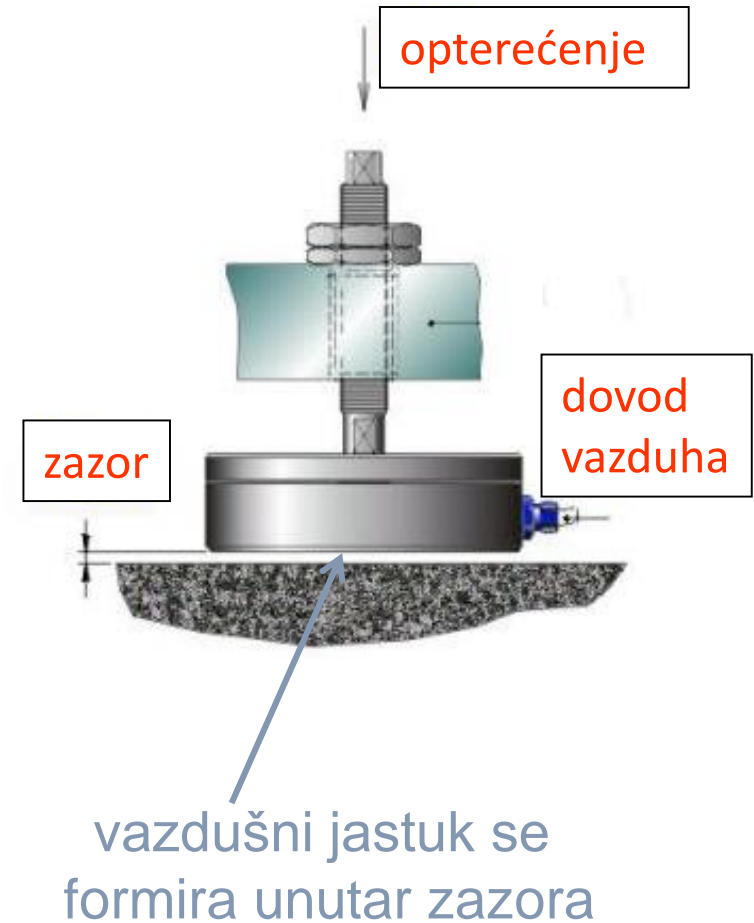


h - visina vazdušnog jastuka, d_o - prečnik mlaznice ležaja, p_p - pritisak u vazdušnom jastuku, p_s - pritisak napajanja, D - spoljni prečnik vazdušnog ležaja, p_a - atmosferski pritisak.

Osnovni parametri pločastog vazdušnog ležaja

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

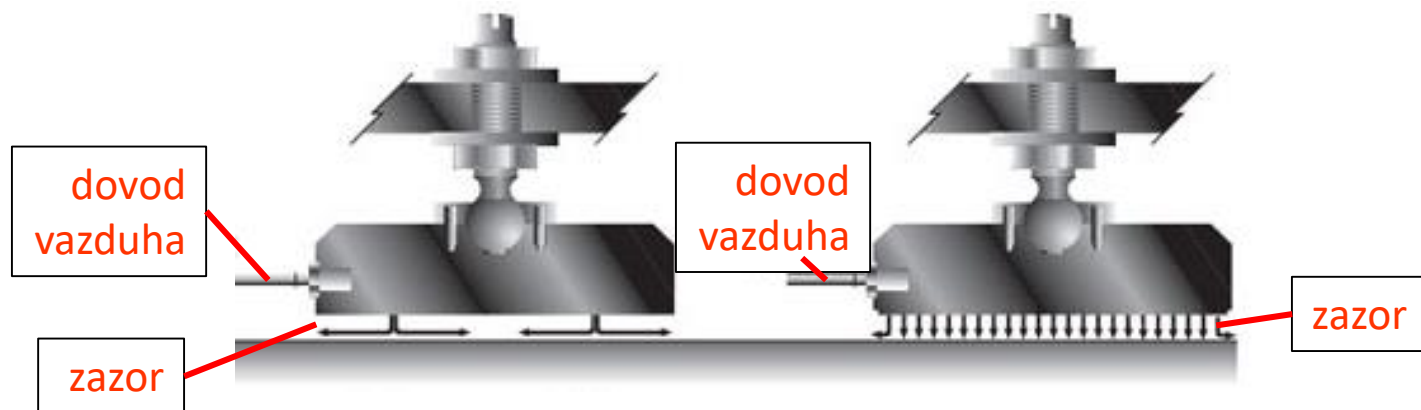
- ✓ malo trenje,
- ✓ tačnost i ponovljivost (debljina vazdušnog jastuka se kreće oko $0.05 \mu\text{m}$ na dužini od 300mm, a ponovljivost linearne putanje je $0.025 \mu\text{m}$),
- ✓ male vibracije i nizak nivo buke,
- ✓ dug vek i
- ✓ odsustvo zagađenosti radne sredine (vazduh kojim se napajaju ležaji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

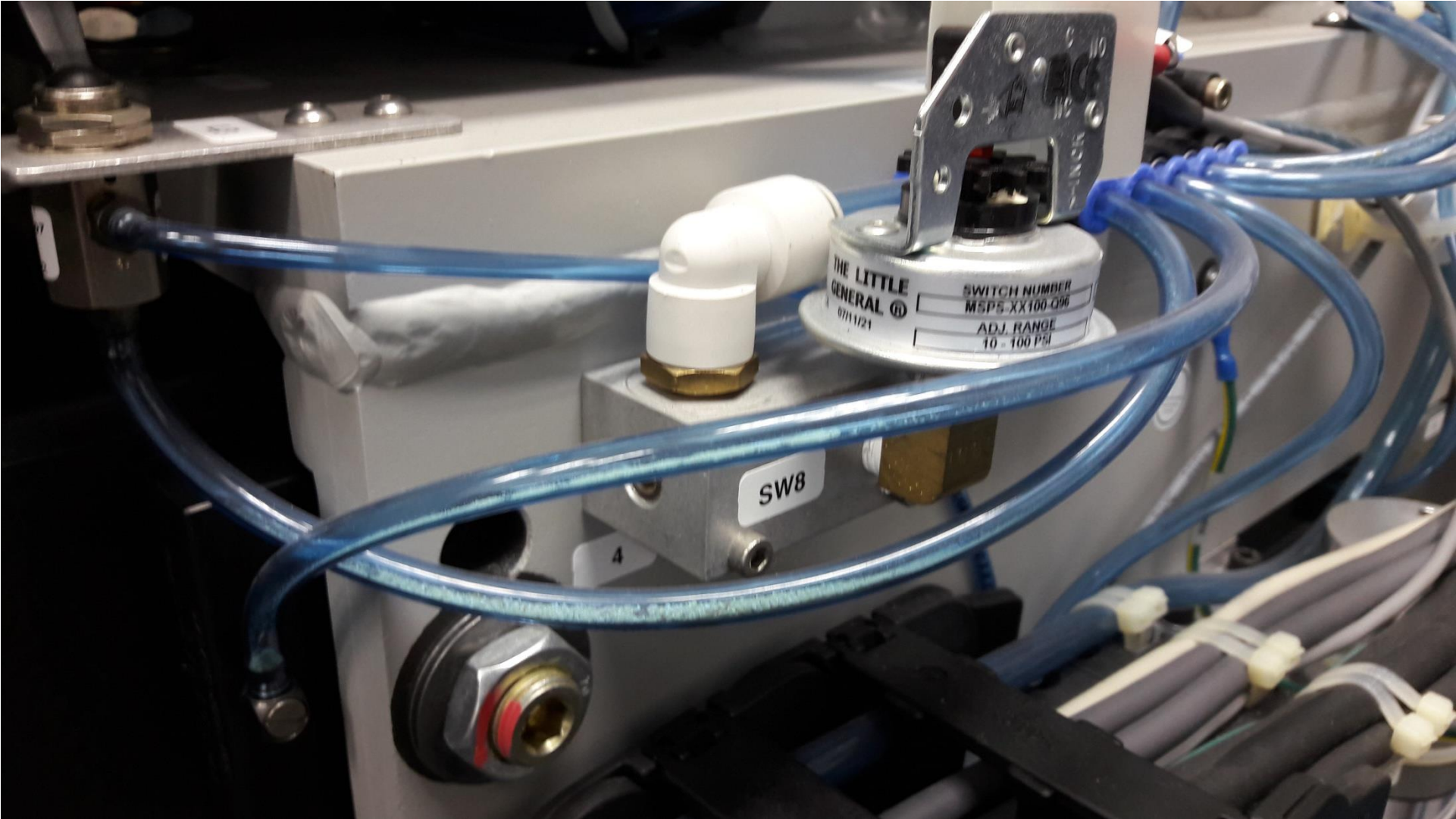


Tipovi vazdušnih ležajeva

Sa otvorima

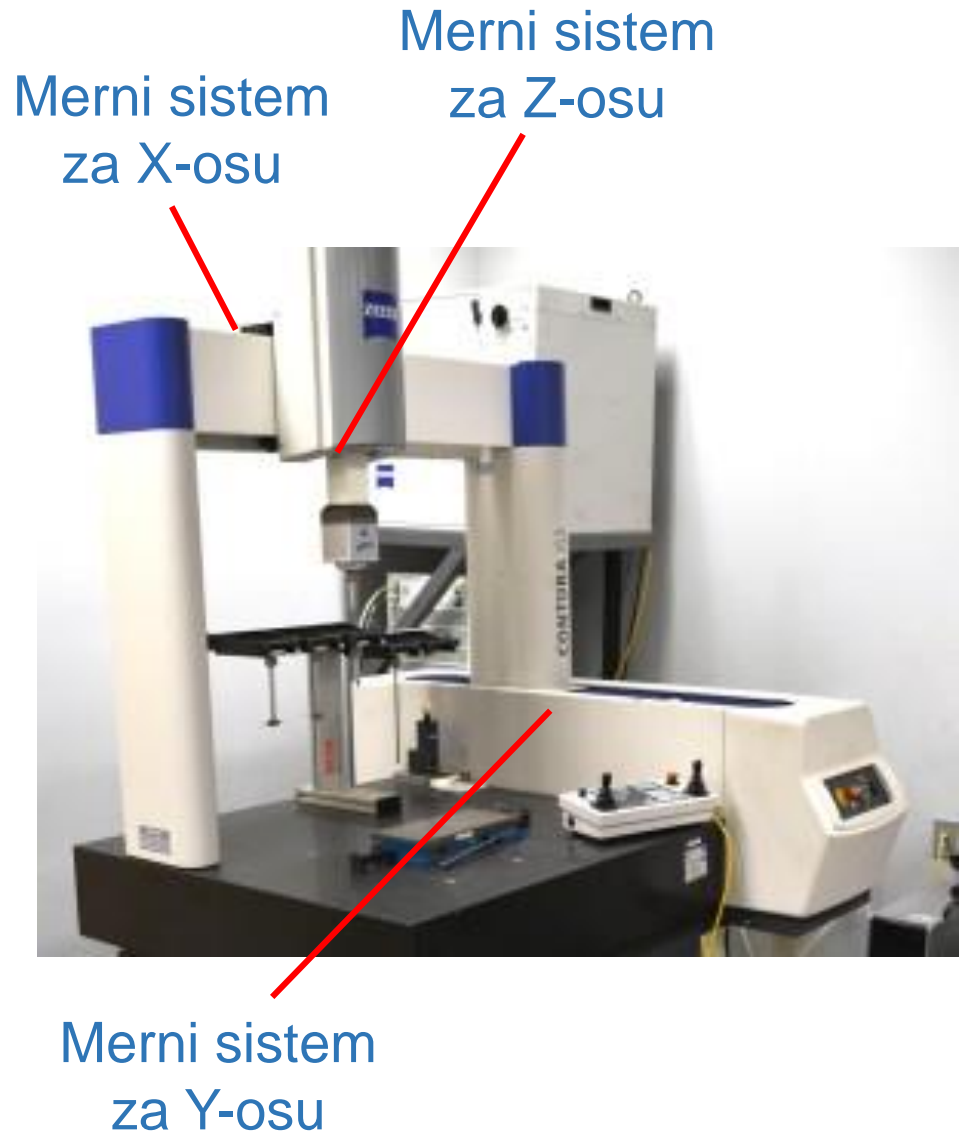
Porozni karbonski





Merni sistemi kod mernih mašina

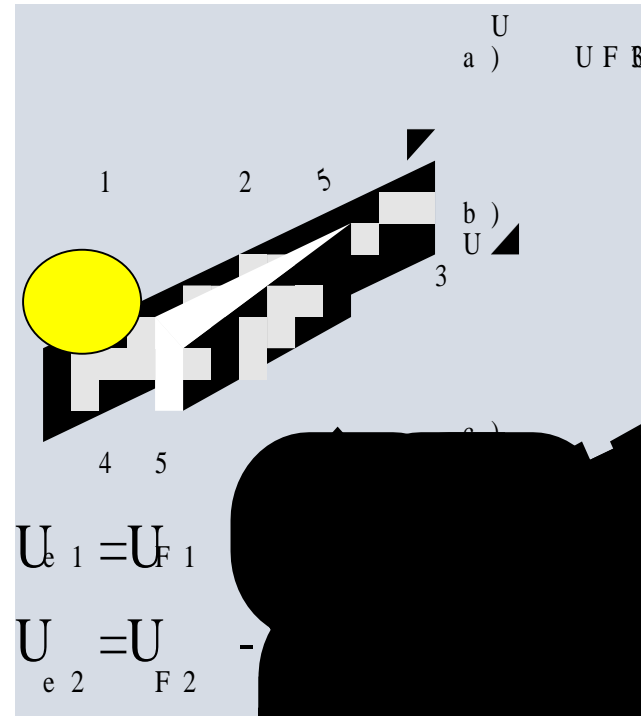
- ✓ Funkcija mernih sistema kod KMM je da jednoznačno identifikuju položaj pokretnih elemenata noseće strukture.
- ✓ Svaki stepen slobode noseće strukture ima sopstveni merni sistem, a zajedno povezani u celinu, čine relativni merni sistem KMM.
- ✓ Bilo koja tačka u mernom prostoru mašine, može da predstavlja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

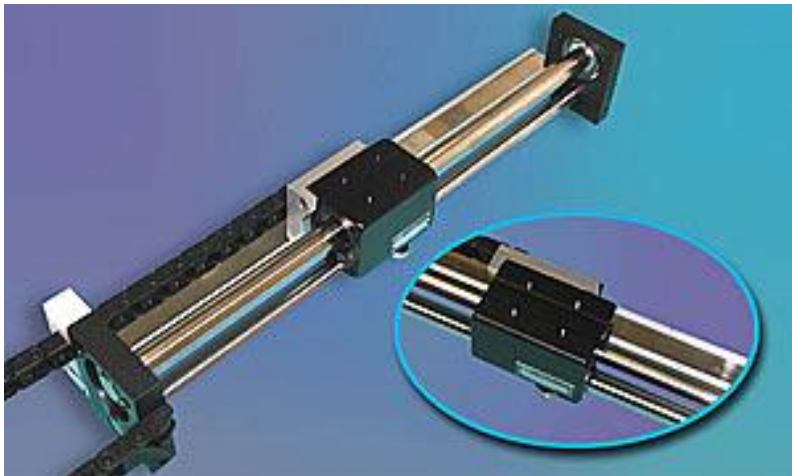
Pogonski sistemi kod mernih mašina

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:

- frikcioni 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.



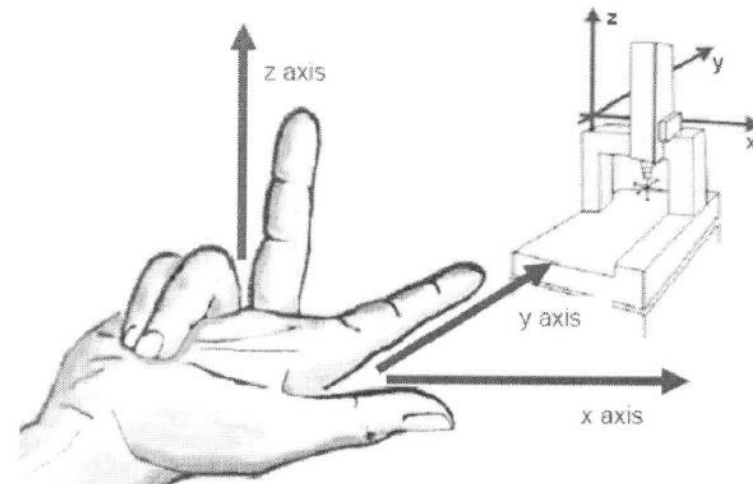
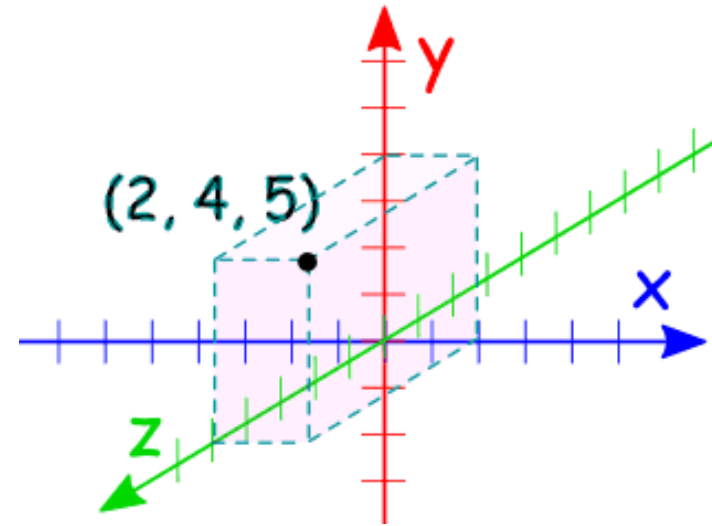
KONTAKTNI SENZORI NA KMM

Uvod

Funkcija KMM je akvizicija informacija sa predmeta merenja (uglavnom) u formi Dekartovih koordinata.

Uređaji namenjeni za obezbeđivanje ove vrste informacija nazivaju se SENZORI.

Senzori su prošli kroz značajnu evoluciju u poslednjih 25 godina i danas su dostupni u brojnim, različitim izvedbama, sve u cilju obezbeđenja rešavanja bilo kog praktičnog problema.



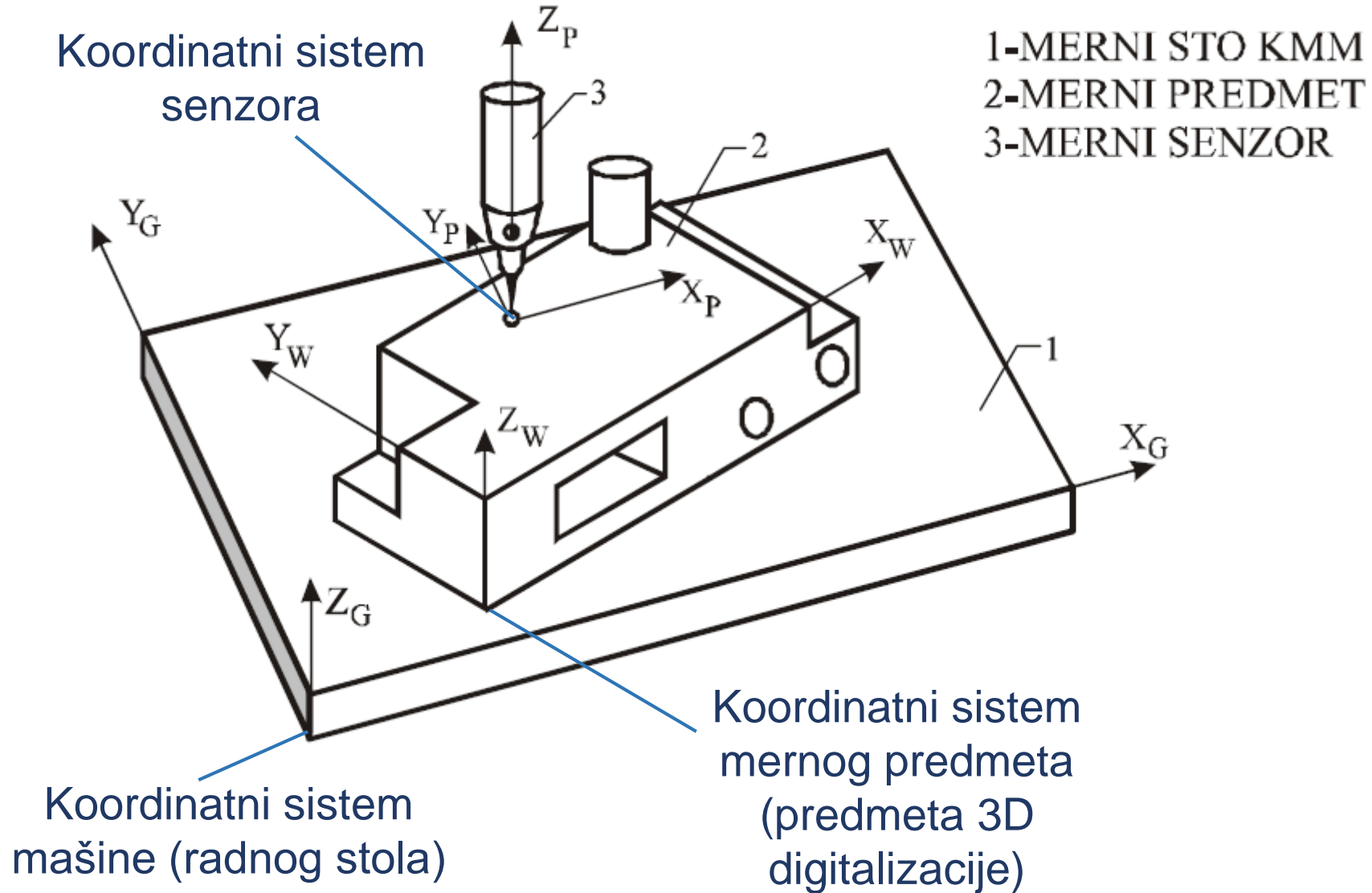
Pravilo desne ruke

Merni senzor

- ✓ Merni senzor predstavlja jedan od najvažnijih podsistema KMM.
- ✓ To je prvi element mernog lanca koji generiše merni signal srazmeran vrednosti merne veličine, odnosno detektovanoj sili.
- ✓ Merni senzor čine dva osnovna dela:
 - 1) **senzor i**
 - 2) **sistem za prihvatanje mernog pipka.**



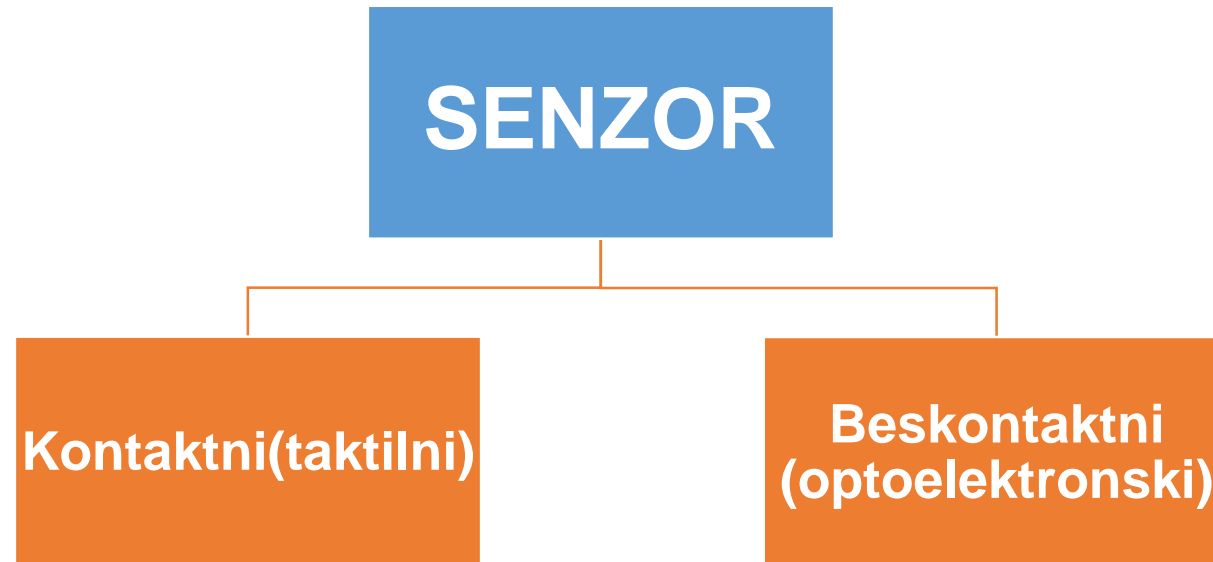
Koordinatni sistemi kod KMM



Podela senzora

Senzori se, pored u osnovnim metrološkim karakteristikama, razlikuju i prema osnovnim fizičkim principima na kojima su zasnovani.

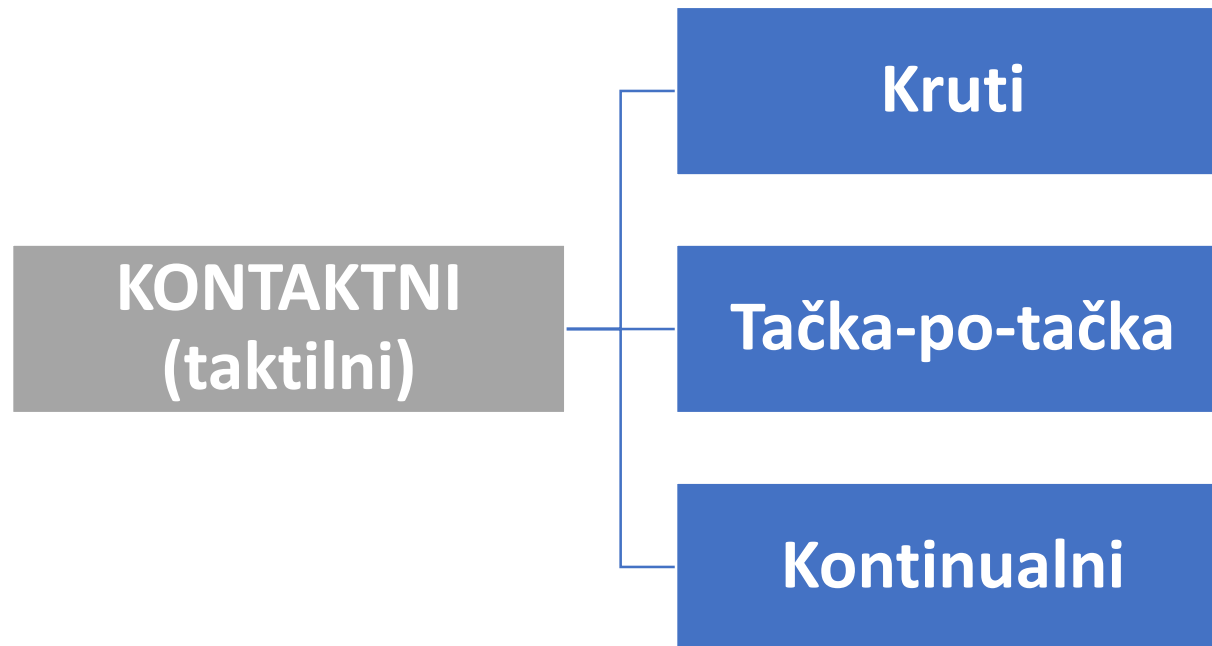
Prema metodi na bazi koje senzor omogućava prikupljanje informacija sa dela koji se meri (digitalizuje), razlikuju se dve velike familije senzora:



Kontaktne (taktilne) senzore

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

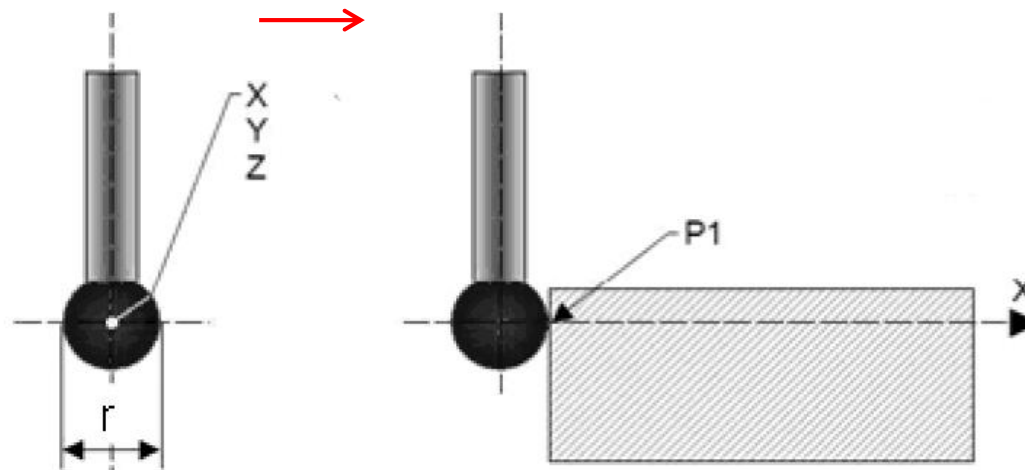
Taktilni senzore se dele na:



Kruti senzori

Sferni kruti senzori koriste se tako što korisnik (operator) ručno dovodi sferu u fizički kontakt sa tačkom koji meri, a zatim šalje signal za snimanje koordinata centra sfere senzora putem mernog sistema, odnosno osa koordinatnog sistema.

Primena krutih senzora je i dalje vrlo prisutna kod koordinatnih mernih mašina tipa zglobne merne ruke.

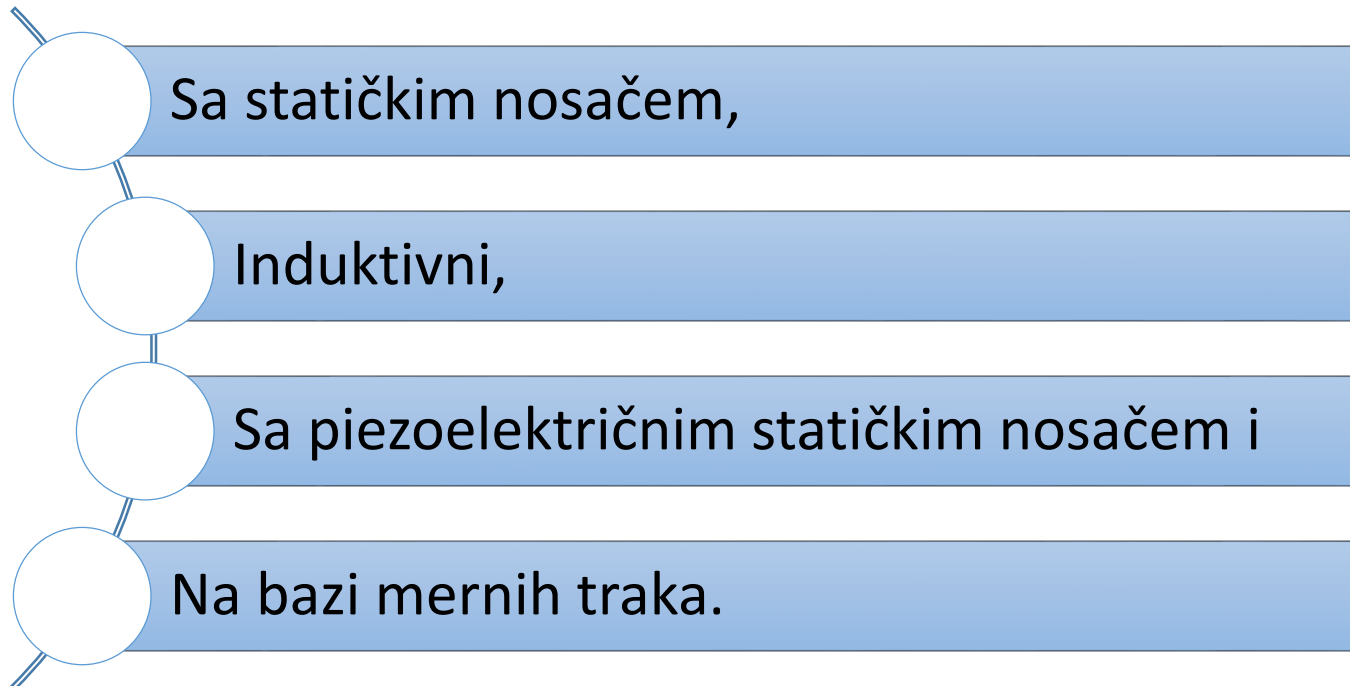


Kontaktne senzori za merenje „tačka po tačka“

Ovi senzori se nazivaju i „okidački“ (eng. trigger) zato što generišu električni signal kada dođu u fizički kontakt sa mernim predmetom.

Ovaj signal se koristi za zaustavljanje svih kretanja mašine i snimanje koordinata centra pipka od strane mernog sistema KMM.

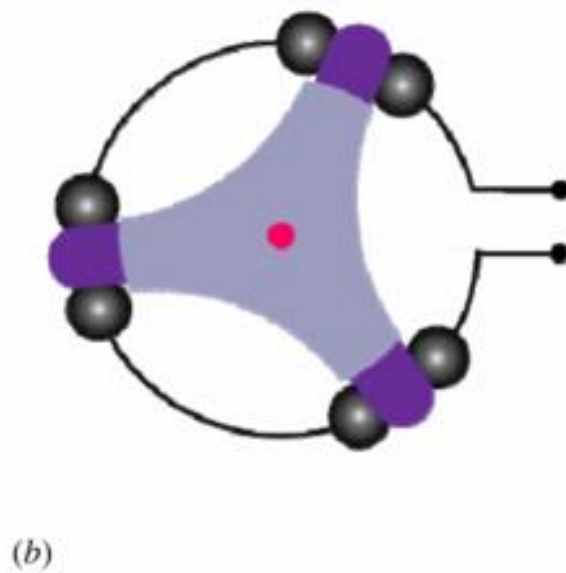
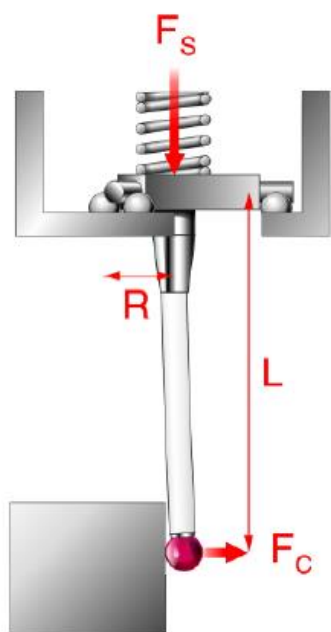
Kontaktne senzori za merenje na principu „tačka po tačka“ mogu se podeliti u sledeće kategorije:



Statički kontakti senzori

Ova vrsta senzora spada u najjednostavnije.

Osnovna funkcija ovog mernog senzora je uspostavljanje ili prekidanje elektromotorne sile u odgovarajućem strujnom kolu u trenutku dodira mernog pipka sa mernim predmetom, čak i pri silama dodira manjim od 0,01 N.

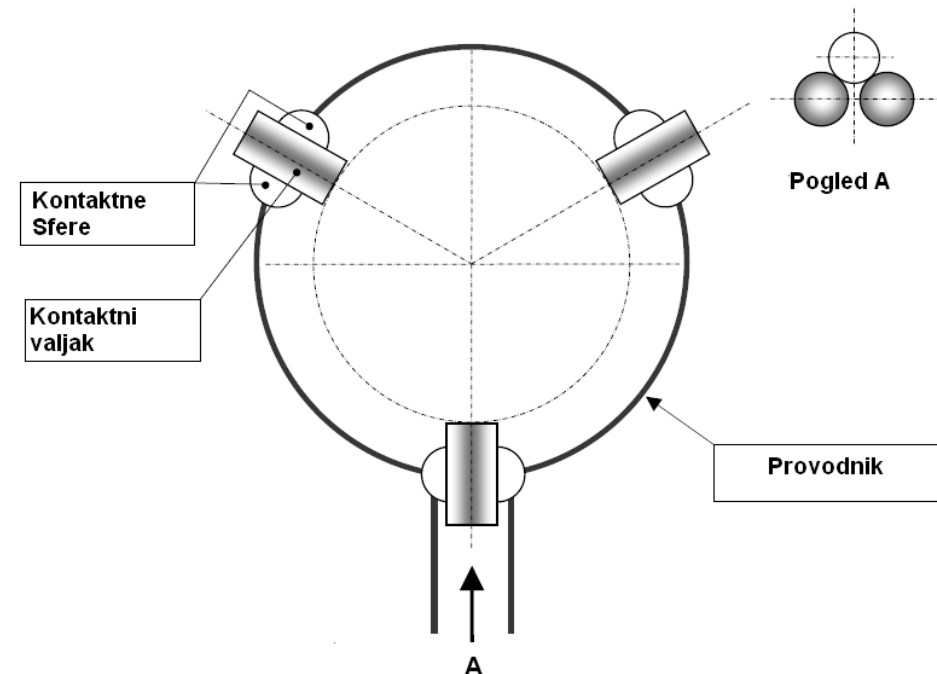
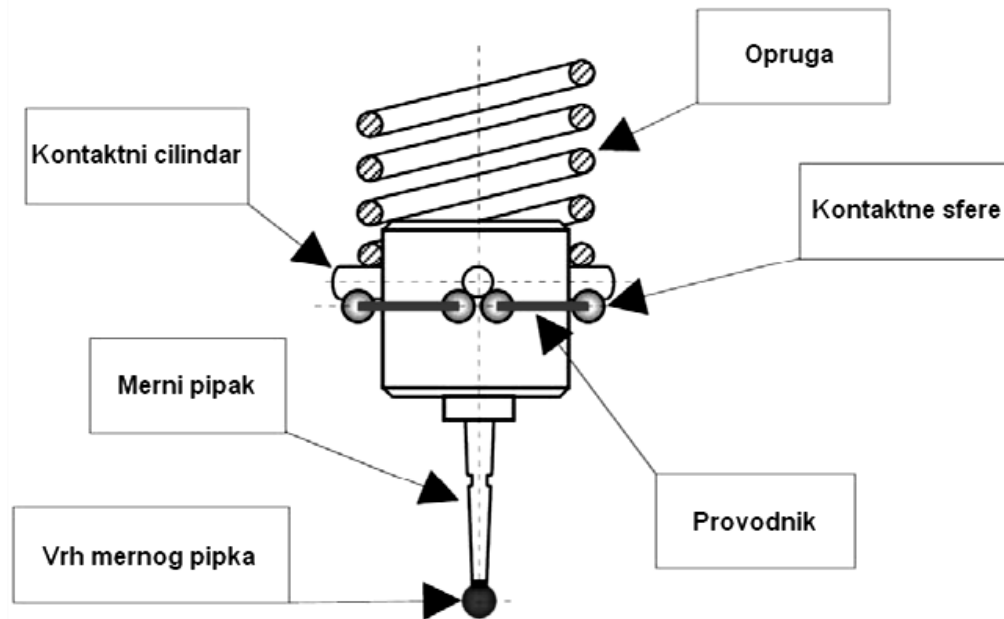
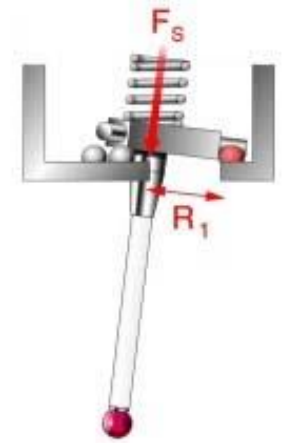


Zasnovani su na mehanizmu kod kojeg su tri para kontakata zatvorena silom opruge.

Tri kontakta obrazuju statički nosač, sa velikom ponovljivošću pozicioniranja.

Kontakti su sastavljeni od tri cilindra koja se nalaze u istoj ravni pod međusobnim uglom od 120° .

U stanju mirovanja cilindri zajedno sa sferama zatvaraju električno kolo.

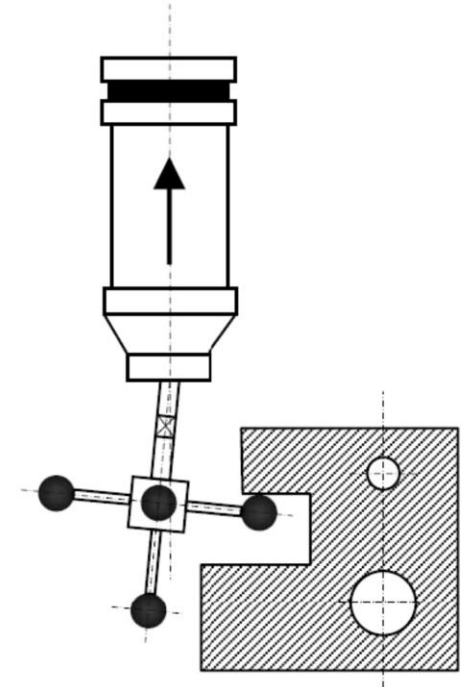


Statički kontakti senzori se izvode kao:

- ✓ 5-smerni (sposobni za merenje u bilo kom pravcu, ali ne u pravcu ose mernog pipka) ili
- ✓ 6-smerni kojima se meri u svim pravcima;

Glavni nedostaci su im:

- sporost,
- ne mogu se upotrebiti za "skeniranje",
- nisu pogodni za izvršenje mernih zadataka koji zahtevaju samocentriranje mernog senzora,
- lako se lome i
- izazivaju izvesne teškoće kod automatske izmene mernog senzora.



Šestosmerni
statički senzor

Induktivni merni senzori

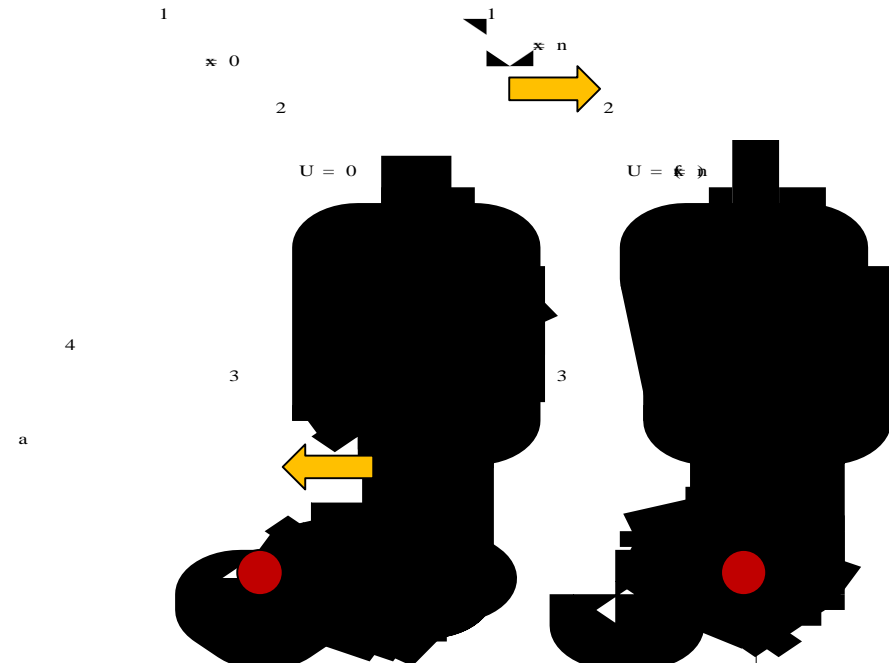
Kod većine proizvođača KMM senzori se izvode kao induktivni.

Pri kontaktu mernog pipka i mernog predmeta, indukuje se napon ($U=f(x=n)$) i aktivira se upravljanje koje dalje pomera pokretni element KMM po odgovarajućoj mernoj osi sve dok se induktivni merni sistem korespondentne ose ne dovede u nulti položaj.

Nakon određenog vremena (oko 1 sekunde) sistem se nalazi u ovom induktivnom položaju u cilju prigušivanja svih mehaničkih kretanja.

Iza toga sledi preuzimanje mernih veličina sa mernog sistema KMM od strane računara.

Princip rada induktivnog senzora u jednoj osi
(1-smer kretanja;
2-induktivni senzor;
3-merni pipak;
4-merni predmet)

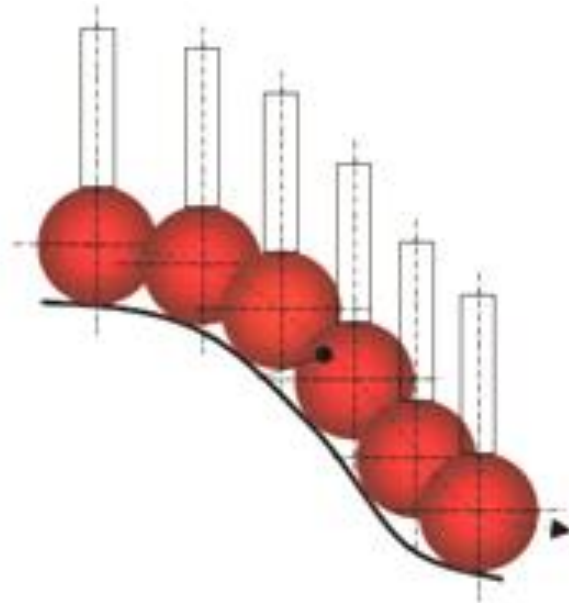


Induktivni merni senzori

Omogućuje skeniranje, odnosno kontinualno praćenje konture mernog predmeta.

Kada merni pipak dodirne merni predmet, KMM sledi konturu mernog predmeta (analogno upravljanju pomoću kopirnog šablona) pošto merni senzor dopušta kretanje u potrebnim pravcima.

Ovo je moguće obzirom da upravljački sistem neprekidno deluje na senzorske sisteme mernog senzora primoravajući ih da zauzimaju nulte položaje.



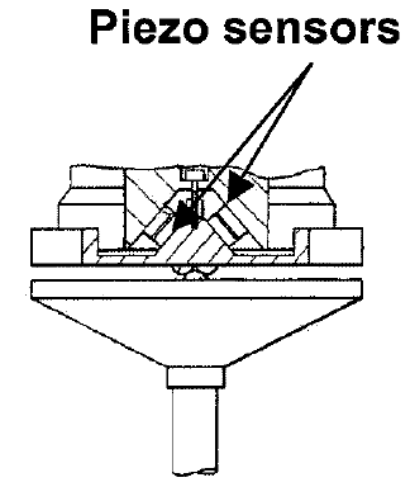
Piezoelektrični senzori

Piezoelektricitet (od grčke reči „piezin“ = pritiskati) je fenomen (koji su otkrili Pjer i Džek Kiri 1880. godine) da je električni potencijal prisutan u određenim oblicima kristala kada su izloženi mehaničkom dejstvu.

Piezoelektrični senzor **detektuje oscilacije nastale prilikom kontakta vrha pipka i mernog predmeta.**

Glavne **karakteristike** ove vrste senzora su:

- veoma dobre metrološke osobine čak i sa pipcima sa povećanom dužinom,
- mogućnost merenja tačaka u svim pravcima (6-smerno),
- mogućnost direktnog postavljanja u glavnu osu
- koordinatne merne mašine i
- visoka tačnost.



Bez obzira na interesantna svojstva, ovaj tip senzora nije rasprostranjen kao prethodni, ali se tu mora naglasiti da su senzori sa elektro-mehaničkim statičkim nosačem koncipirani i plasirani na tržište tokom ranih 70-tih godina XX veka, dok su piezoelektrični senzori koncipirani mnogo kasnije.

Senzori na principu mernih traka

Ovi senzori imaju mogućnost merenja sile kontakta pipka i predmeta u tri pravca.

U odnosu na elektromehaničke "tačka po tačka" senzore, senzori sa mernim trakama stvaraju signal pri znatno manjoj sili dodira sa predmetom, što dozvoljava neznatno savijanje pipka i znatno smanjen otklon.

Iz prethodnog proizilazi dobra osobina senzora sa mernim trakama - mogućnost upotrebe pipaka većih dužina.

Nedostatak je velika osetljivosti ovih uređaja, izlazni podaci se moraju prečistiti kako bi se izbegle tačke koje predstavljaju šum (nisu nastale usled kontakta sa delom, već usled vibracija pokretnih elemenata mašine).

Zbog toga se preporučuje korišćenje pipaka od materijala sa dobrim karakteristikama prigušenja oscilacija i što manje mase.

Kontinualni kontaktni senzori

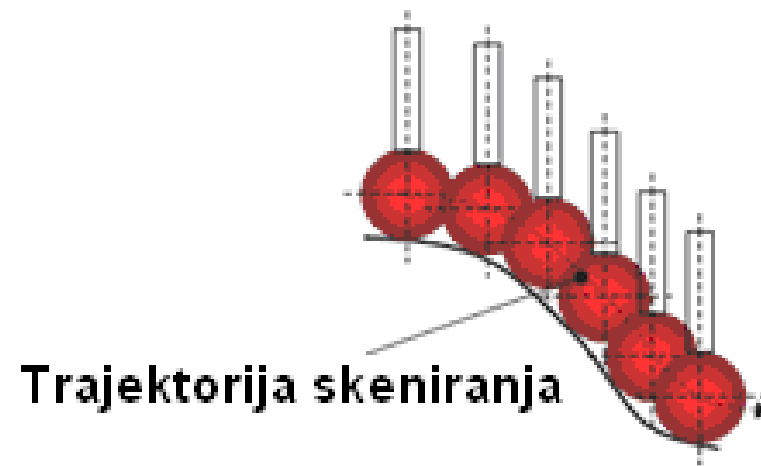
Kontinualni kontaktni senzori su mnogo godina predstavljali najsofisticiraniji oblik senzora korišćenih na koordinatnim mernim mašinama.

Kao što je već navedeno, senzor diskretnih tačaka dolazi u dodir sa predmetom samo u trenutku merenja tačke, dok kod kontinualnog skeniranja senzor ostaje u dodiru sa predmetom prateći njegov profil i sakupljajući tačke prema prethodno definisanim pravilima.

Ovaj tip senzora se koristi za merenje i za digitalizaciju.

Ove vrste uređaja se mogu podeliti u dve kategorije:

- pasivne i
- aktivne.



Pasivni kontinualni kontaktni senzori

Pasivni senzori su jednostavniji mehanizmi.

Rade na principu **očitanja otklona pipka pomoću mehanizma opruge.**

Merenje tačaka se ostvaruje kretanjem osa KMM koji uzrokuju pomeranje pipka iz položaja mirovanja.

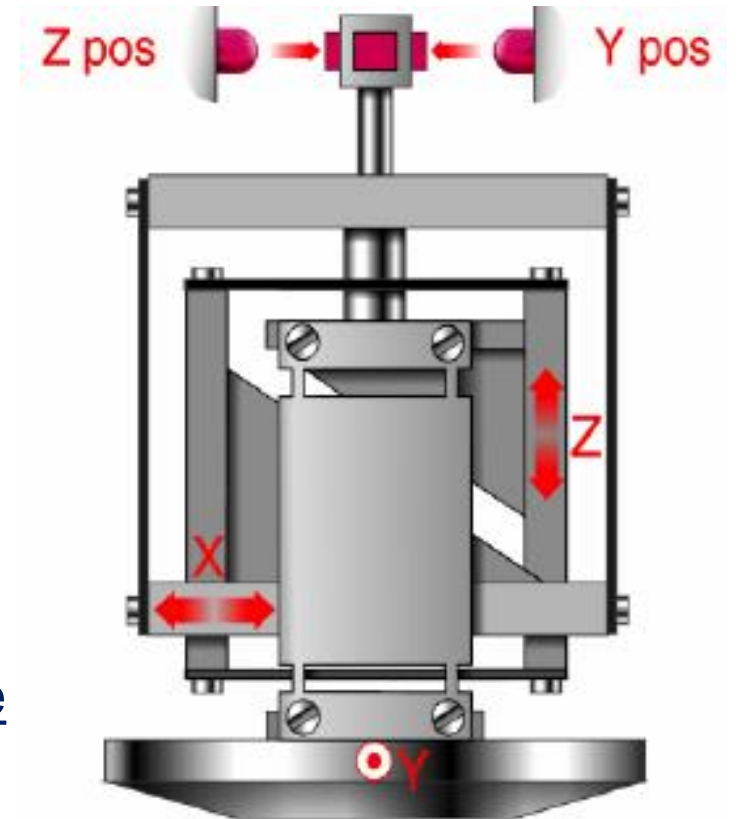
Najčešći mehanizam je zasnovan na tri para opruga, postavljenih u vidu paralelograma.

Sila merenja zavisi od otklona mernog pipka prilikom merenja.

Napretkom upravljačkog sistema KMM, pasivni kontinualni senzori su počeli da zamenjuju aktivne zbog svoje cene.

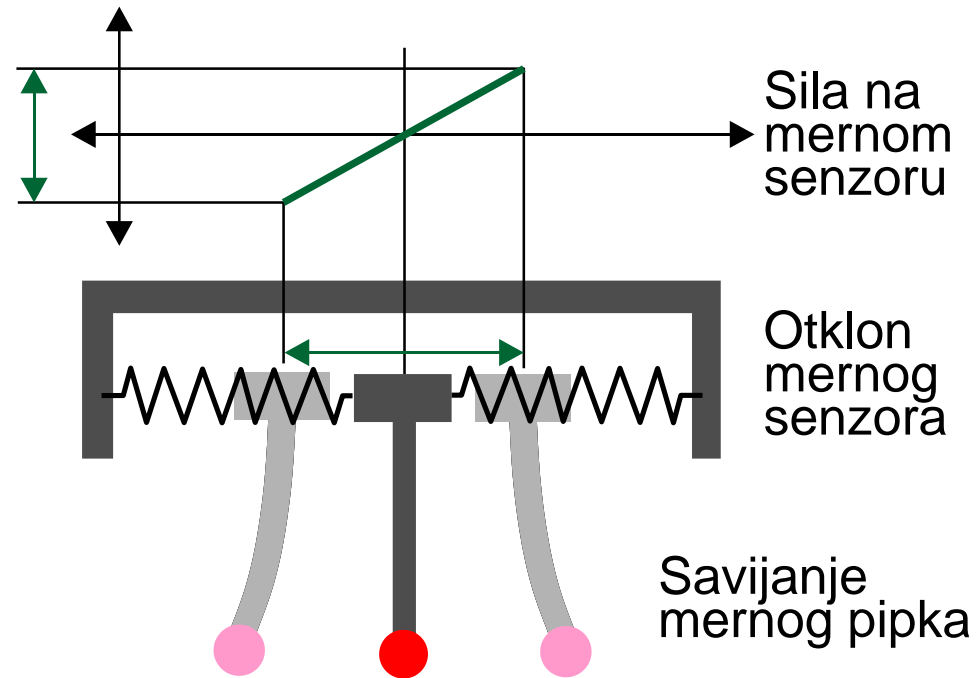
Pasivni senzor je moguće pričvrstiti na zglobni držač, tako da je moguće postići bilo koji položaj u prostoru uz izuzetnu ponovljivost.

Ova vrsta senzora se može koristiti i za merenje diskretnih tačaka.



Pasivni kontinualni kontaktni senzori

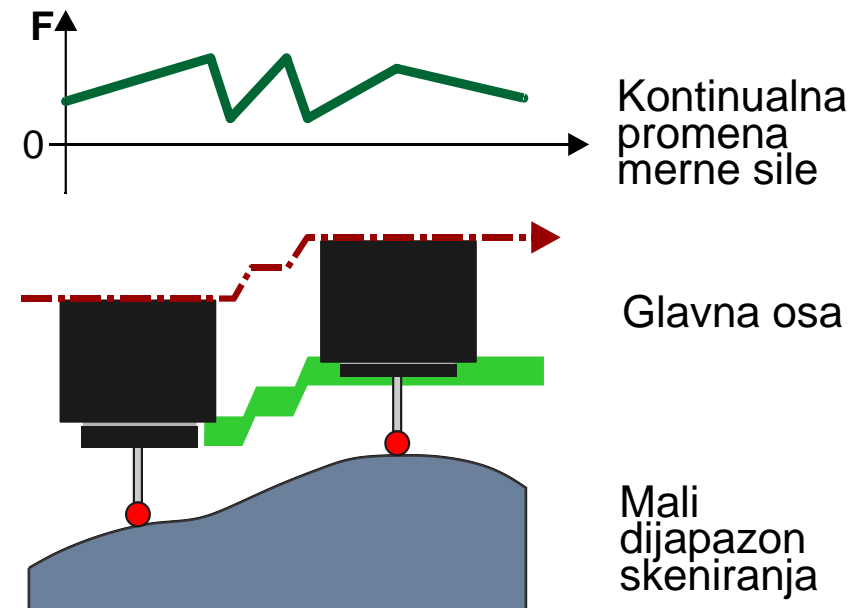
Opruge kod pasivnih senzora imaju ulogu da zadrže pipak u neutralnom položaju, dok se otklon mernog pipka (koji se javlja kao posledica promene oblika konture površine koja se skenira) meri pomoću mernih traka.



Princip rada pasivnih senzora

- Osnovna slabost pasivnih senzora se ogleda u potrebi za čestim repozicioniranjem senzora, što je diktirano porastom sile u oprugama.
- Naprezanje opruga, koje raste sa povećanjem promena oblika kontura površina koje se skeniraju, utiče na manju tačnost očitavanja sa mernih traka.
- Pored toga, u ovim slučajevima sila mernog pipka na površinu koja se skenira se povećava, što može biti dodatni problem (i izvor greške) u slučaju mekših materijala.
- Jedini način da se opruge rasterete jeste repozicioniranje mernog senzora, što omogućava održavanje nivoa napregnutosti opruge u granicama koje obezbeđuju zadovoljavajuću tačnost merenja.

Repozicioniranje i promena sile kod pasivnih senzora



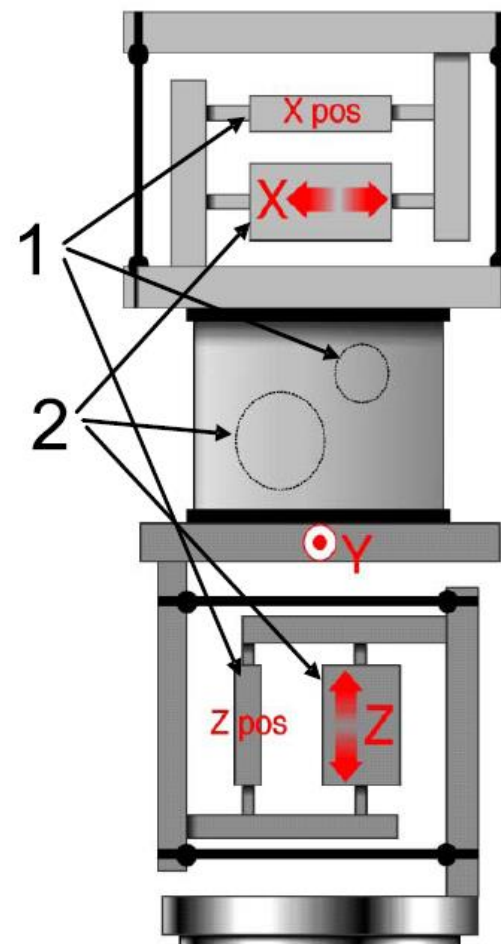
Aktivni kontinualni kontaktni senzori

Aktivni senzor praktično predstavlja KMM unutar KMM.

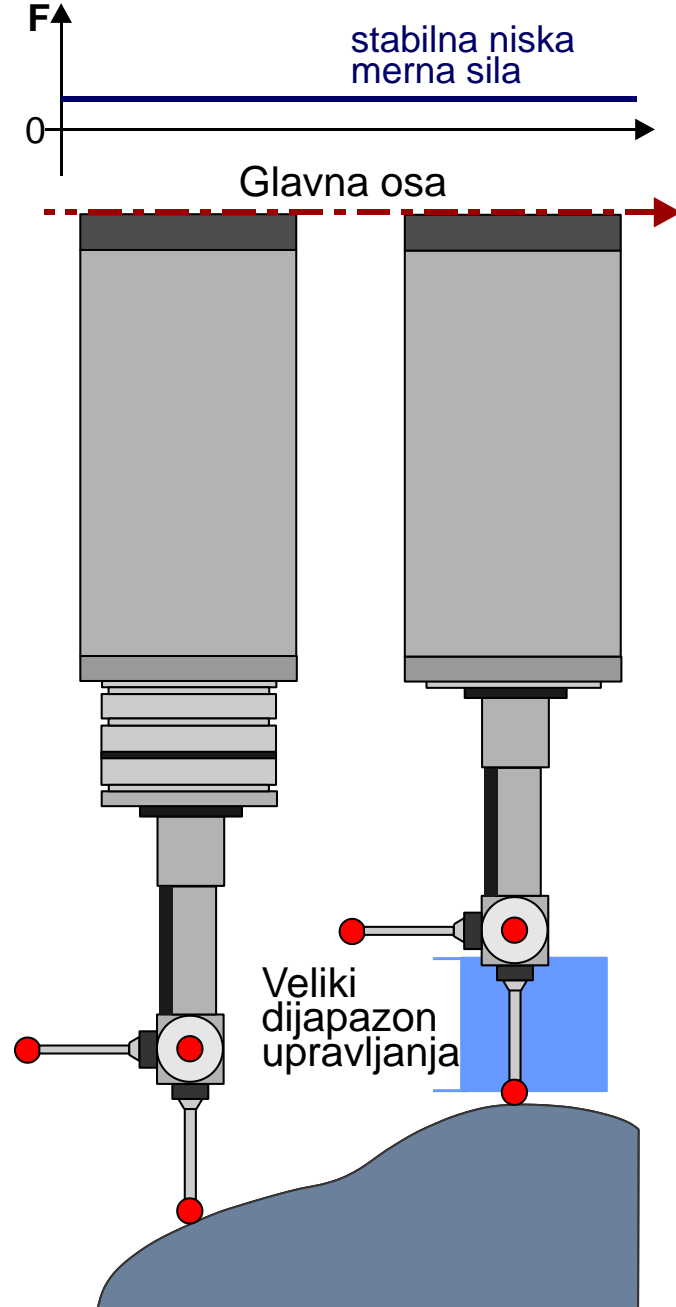
Sadrži **merni sistem (1)**, **pogonski sistem (2)** i **noseću strukturu**.

Ovi uređaji koriste aktivno generisanje sile, tj. za vreme merenja po putanji skeniranja, senzor sam kontroliše silu kontakta sa delom i na taj način se izbegavaju uticaji izazvani deformacijama pipka pri merenju.

Savremeni senzori ove vrste su opremljeni sistemom automatskog uravnoteženja mase sistema pipaka.



- Kod aktivnih senzora se umesto opruga i mernih traka koriste softverski upravljani elektromagneti i regulatori sile koji održavaju stabilnom vrednost sile na mernom pipku nezavisno od njegove pozicije.
- Za razliku od opruga kod kojih se sila ne može biti podešavati, kod aktivnog sistema se prati otklon mernog pipka u realnom vremenu i u skladu sa tim podešava merna sila.
- To omogućava značajno veći dijapazon pomeranja mernog pipka bez potrebe za repositioniranjem mernog senzora i bez promene sile primenjene na površinu koja se digitalizuje, a rezultat su veća tačnost merenja i brzina skeniranja



Princip rada i promena sile kod aktivnih senzora

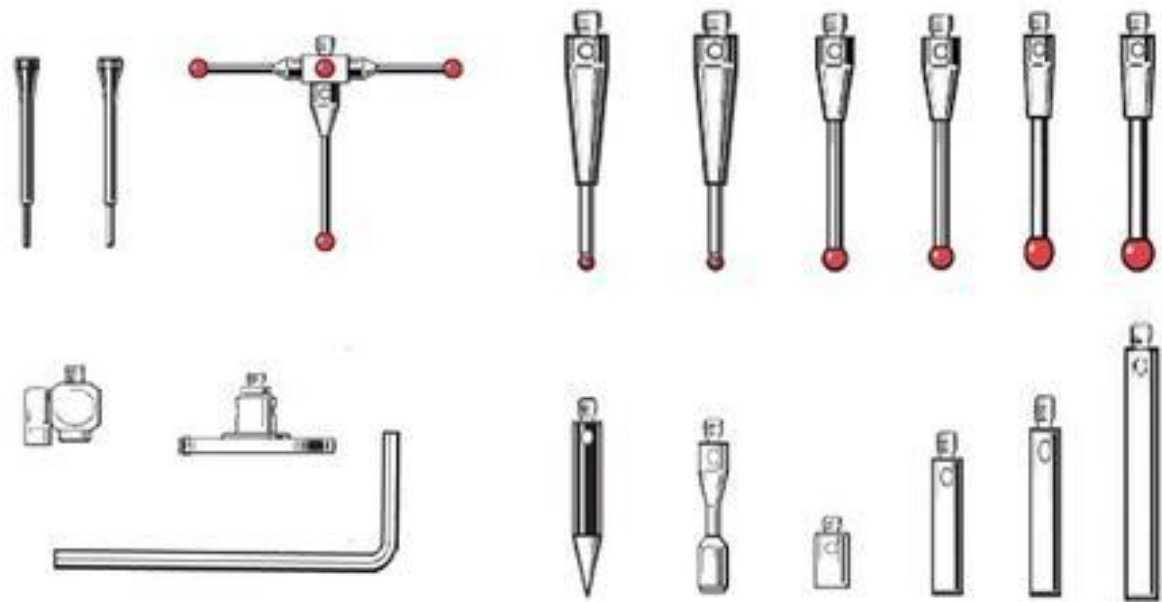
Merni pipak senzora

Pipak senzora je izmenljiv za slučaj oštećenja i habanja, ali i kako bi se omogućio izbor najbolje konfiguracije (dimenziono i morfolški) za dati metrološki zahvat.

Telo pipka je u opštem slučaju napravljeno od nerđajućeg čelika, ali neretko se sreću tela pipka od keramike ili ugljeničnih vlakana, kako bi se smanjila masa, obezbedila dobra reakcija na temperaturne uslove okoline itd.

Vrh pipka, često u obliku sfere se proizvodi od veštačkog rubina ili keramike.

Karakteristični oblici
mernih pipaka





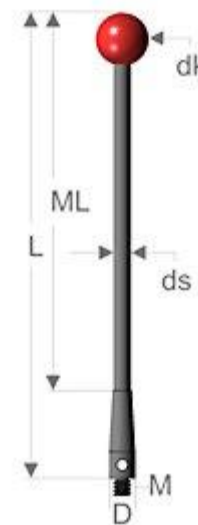
Merni pipak senzora

Dužina pipka je kritični parametar koji može uticati na pouzdanost mernih rezultata.

Kao i svaki predmet na koji se vrši mehaničko dejstvo, kada senzor dodirne predmet, on podleže elastičnim deformacijama, savijanju i izvijanju.

Amplituda oscilacija može varirati u zavisnosti od:

- ✓ dužine pipka,
- ✓ materijala pipka i
- ✓ brzina merenja.



Magacin mernih pipaka



Nastavci za zakretanje senzora

