

Univerzitet u Novom Sadu
Fakultet tehničkih nauka

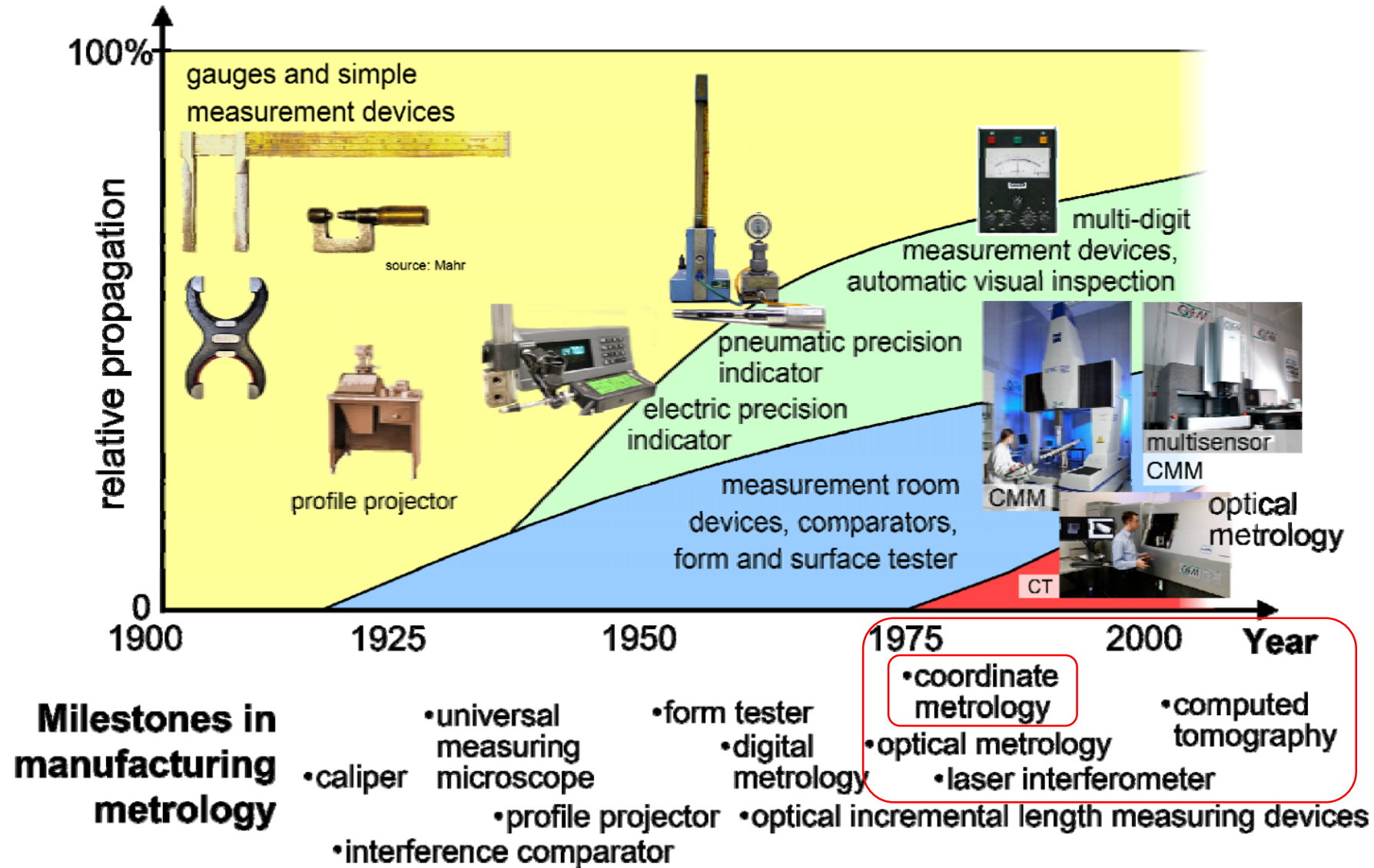
OAS: Računarstvo i automatika
Predmet: 3D digitalizacija objekata

KOORDINATNE MERNE MAŠINE

Šta su Koordinatne merne mašine (KMM)?

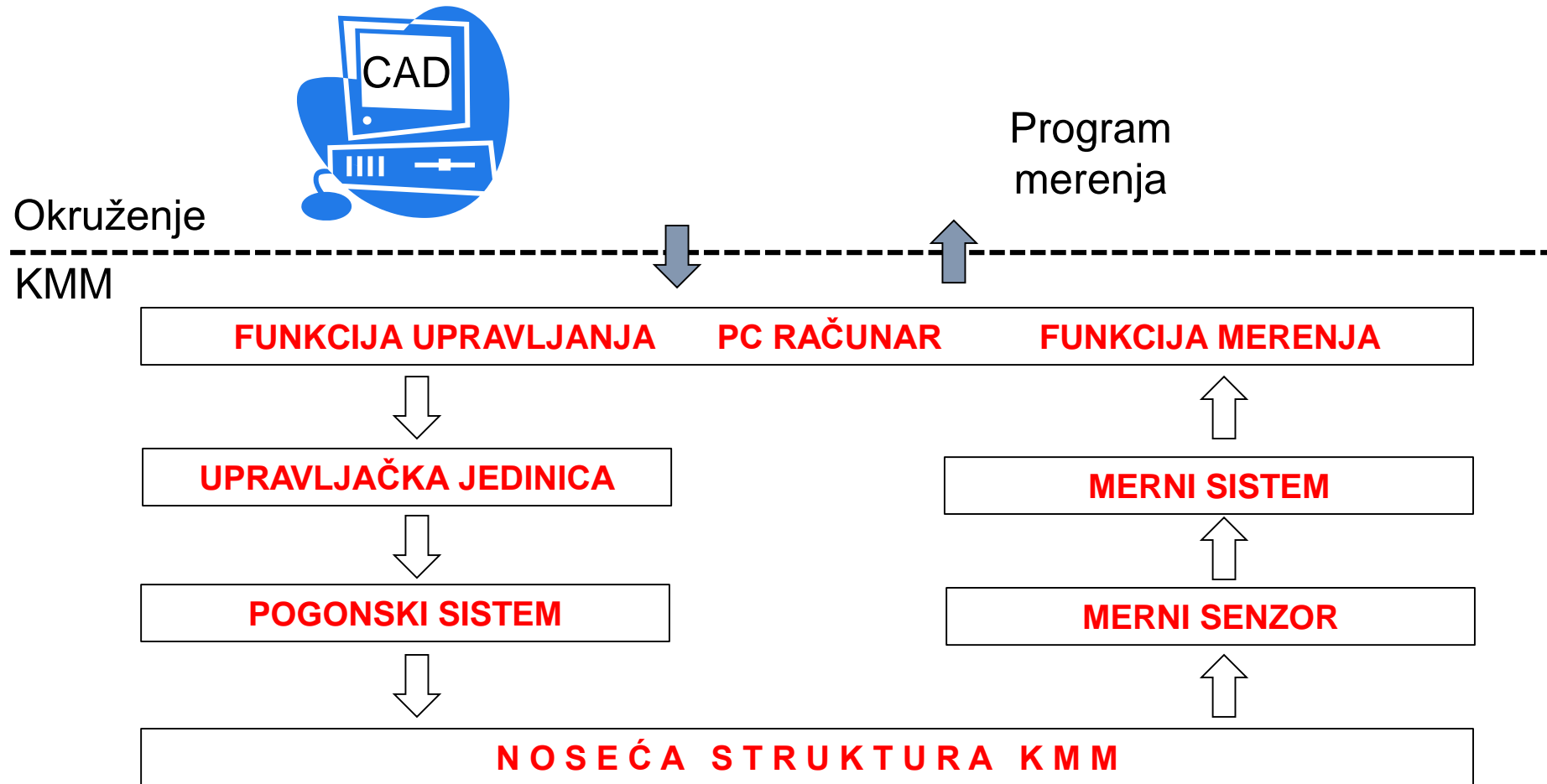
- ✓ KMM predstavljaju merne uređaje sposobne da odrede koordinate tačaka na radnoj (mernoj) površini, na bazi postepenog pomeranja mernog senzora.
- ✓ Savremene KMM su 3D merni uređaji namenjeni merenju geometrijskih karakteristika fizičkih objekata.
- ✓ Na KMM se mogu realizovati:
 - ✓ dimenziona merenja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

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



Arhitektura KMM

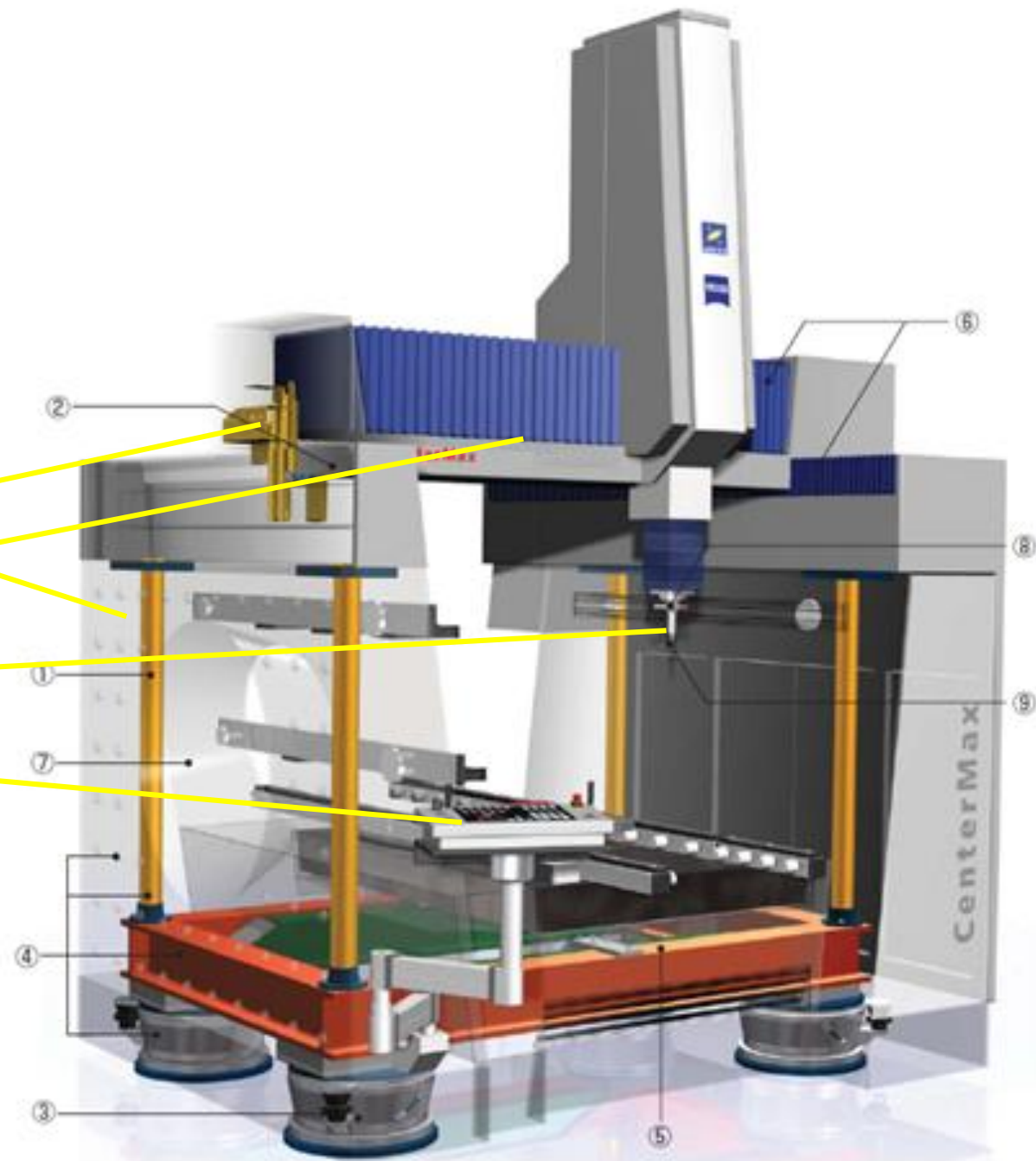
- ✓ Arhitektura KMM obuhvata **hardverske** i **softverske** komponente.



Arhitektura KMM

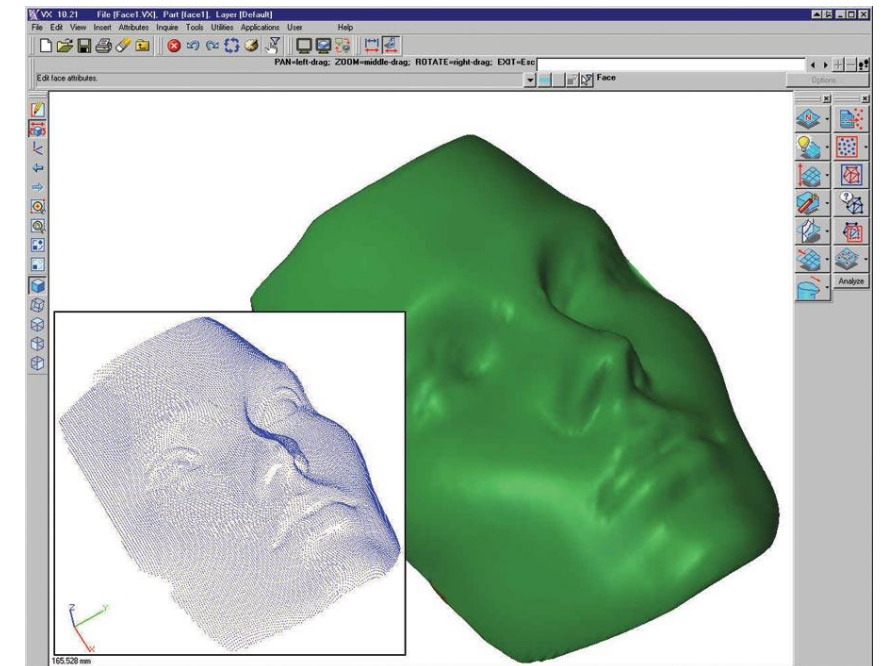
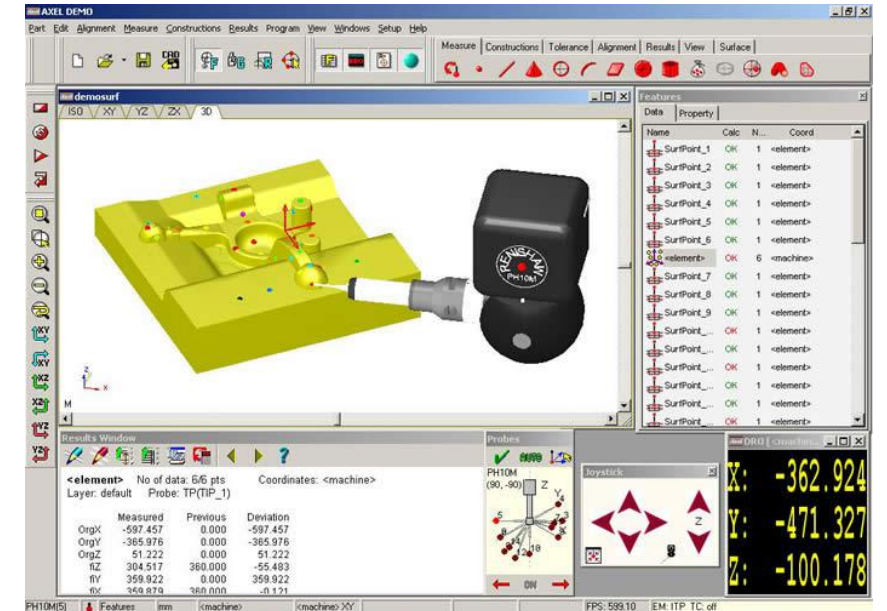
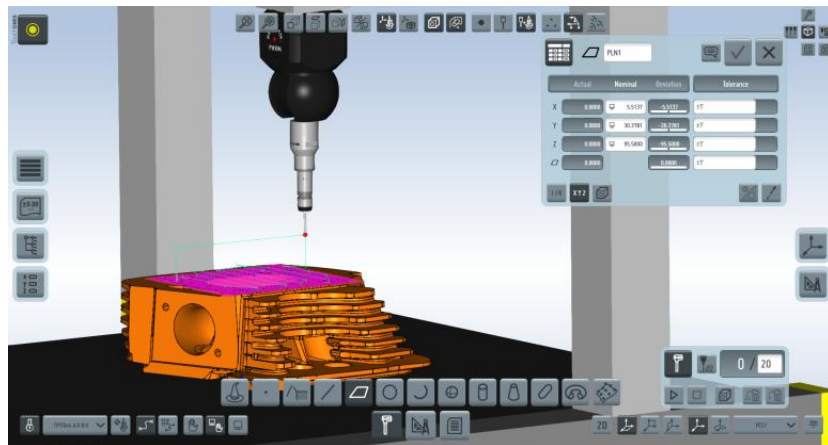
✓ Hardverske komponente KMM:

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

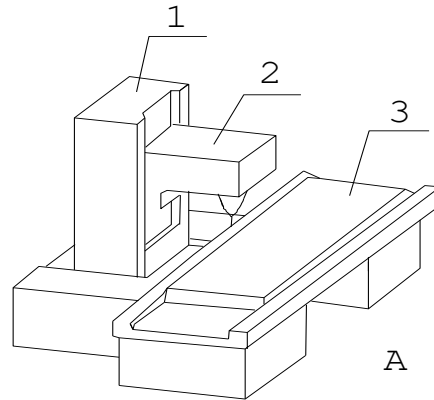
- ✓ Osnovni element KMM čija je funkcija:
 - ✓ da obezbedi odgovarajuću krutost KMM pri izvođenju procesa merenja uz postizanje propisane merne nesigurnosti i
 - ✓ da omogući tačno vođenje pokretnih elemenata noseće strukture.

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

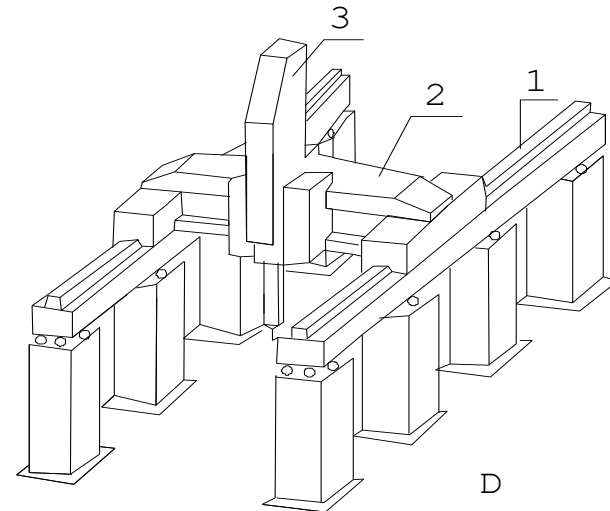
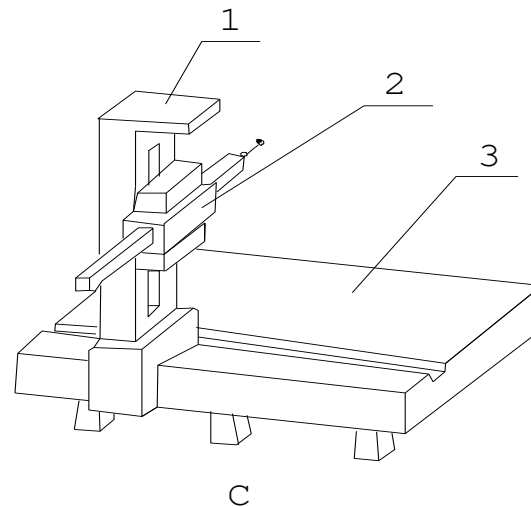
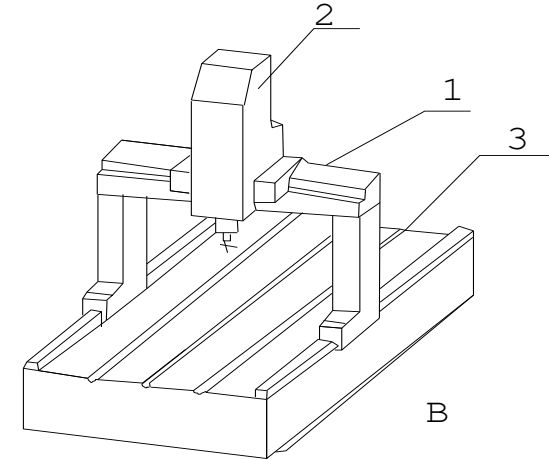
Osnovne vrste noseće strukture KMM

- ✓ Osnovni elementi navedenih struktura su:
 - ✓ nosač-portal (1),
 - ✓ nosač merne sonde (2)
 - ✓ merni sto (3).

Konzolna vertikalna



Portalna



Konzolna horizontalna

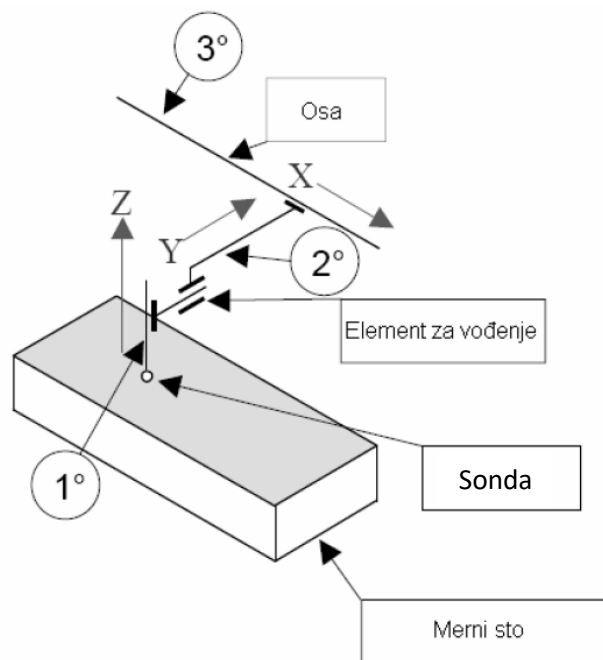
Mosna

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.



FIGA COORD3



600mm x 560mm x 500 mm

Portalne KMM

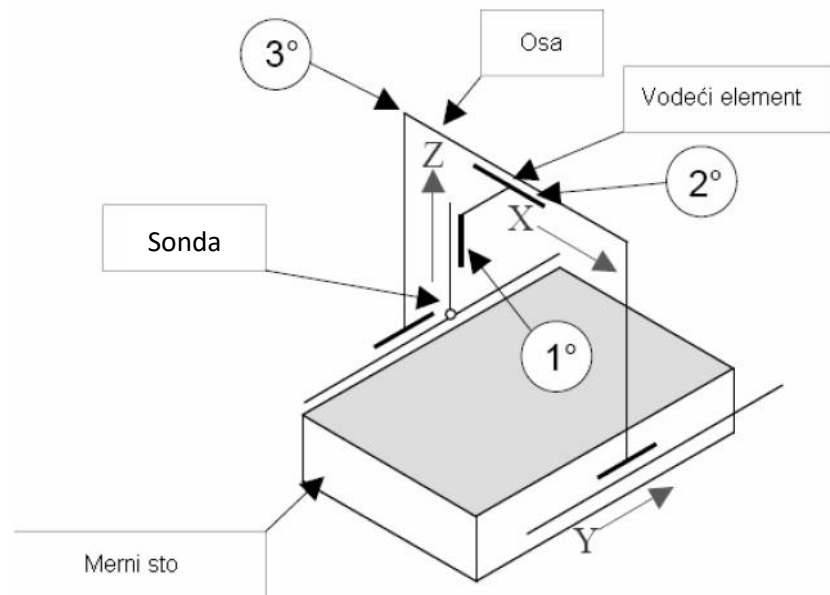
Koriste se za srednje vrednosti mernih prostora: od 800 do 1800 mm.

Izvide se u dve osnovne varijante:

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

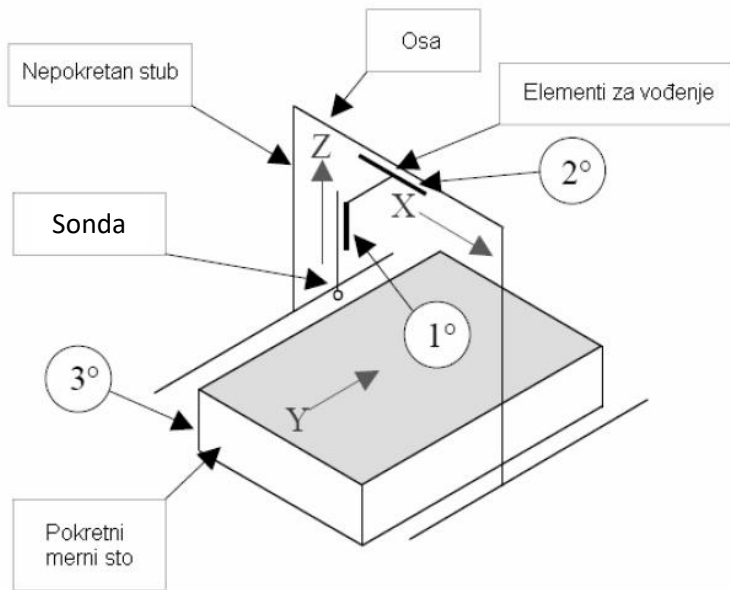
U oba slučaja nosač merne sonde je pokretan.

Koriste se za precizna i kompleksna merenja.



Portalna noseća struktura sa pokretnim portalom

Portalne KMM



Portalna noseća struktura sa nepokretnim portalom

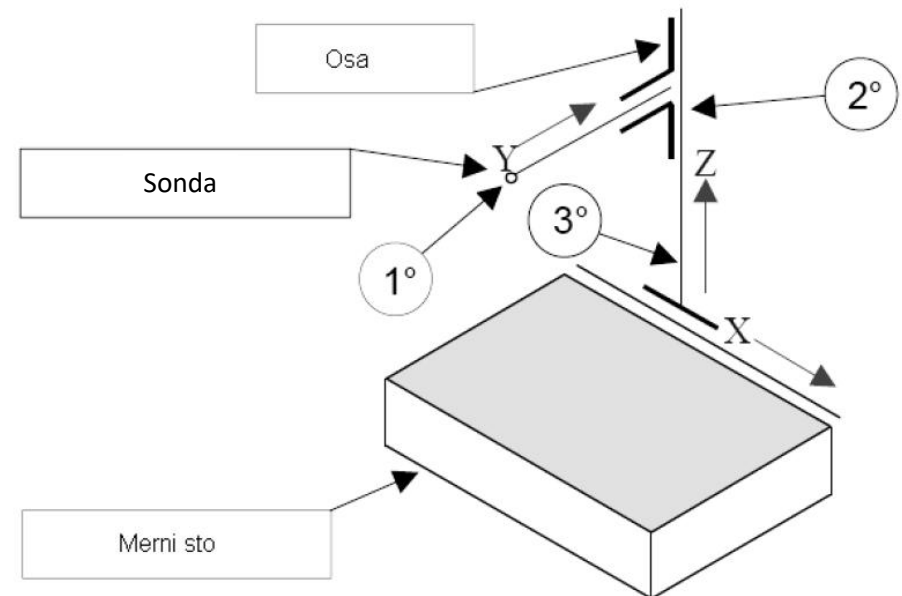
Konzolne horizontalne KMM

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 merne sonde 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.

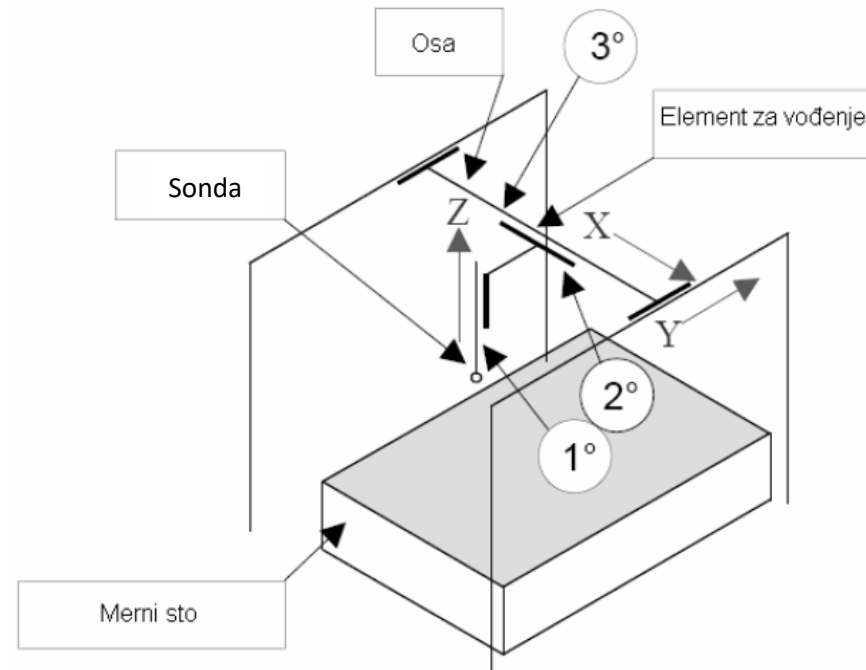
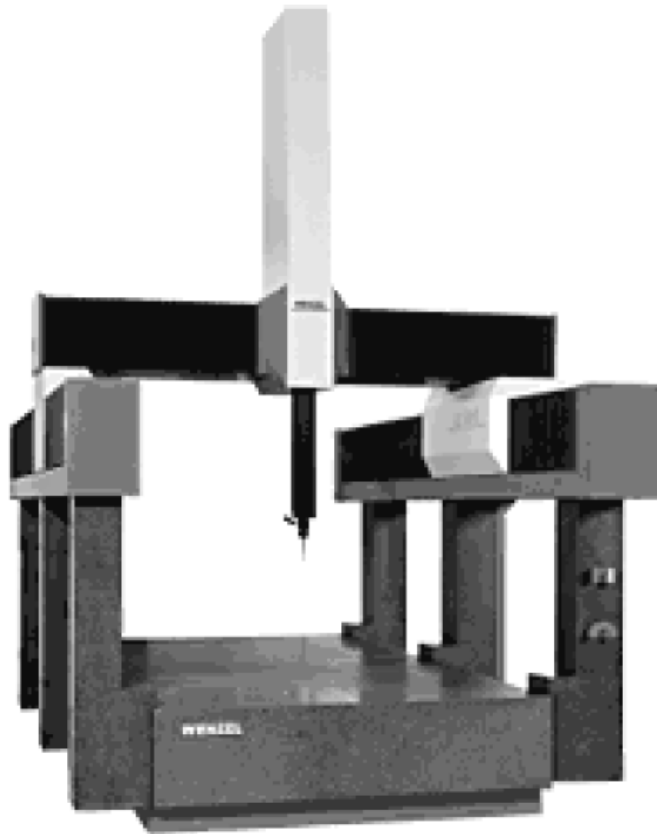


Konzolna horizontalna KMM



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 merne sonde (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.

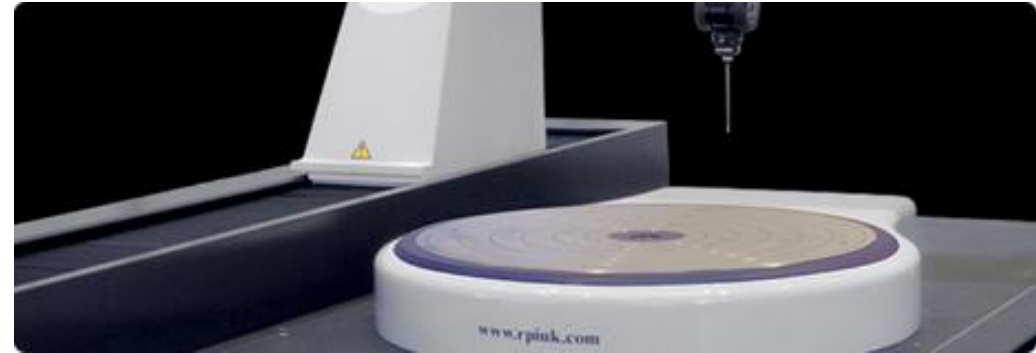
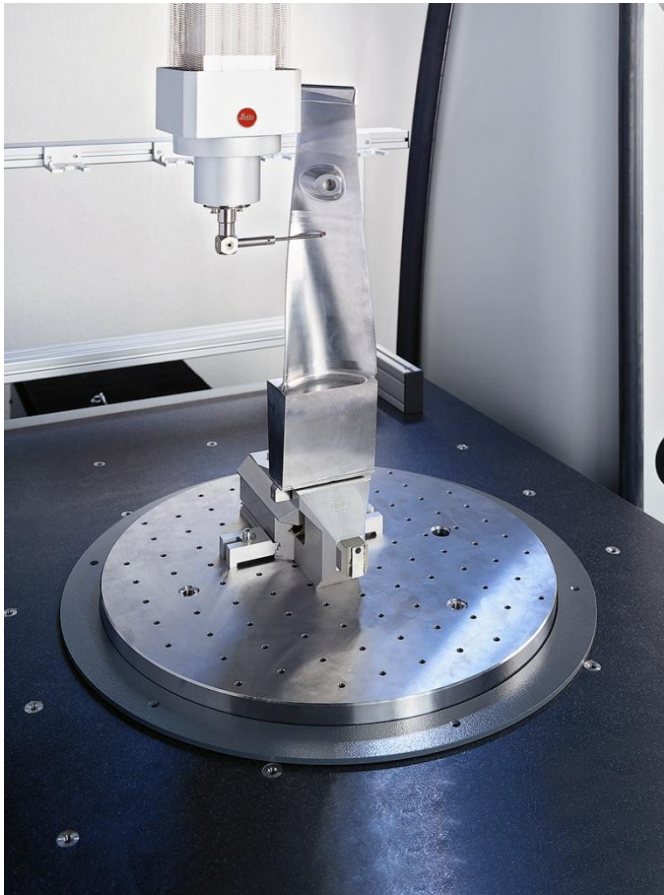
Dosadašnja iskustva u primeni KMM su generisala sledeće prednosti primene nepokretnog mernog stola, odnosno pokretnog portala ili stuba:

- 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 KMM.

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.



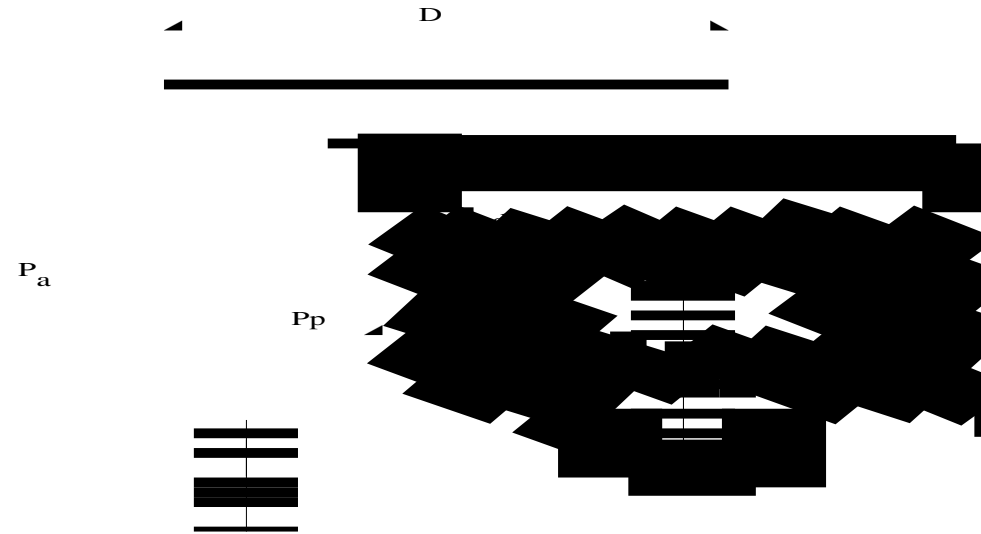
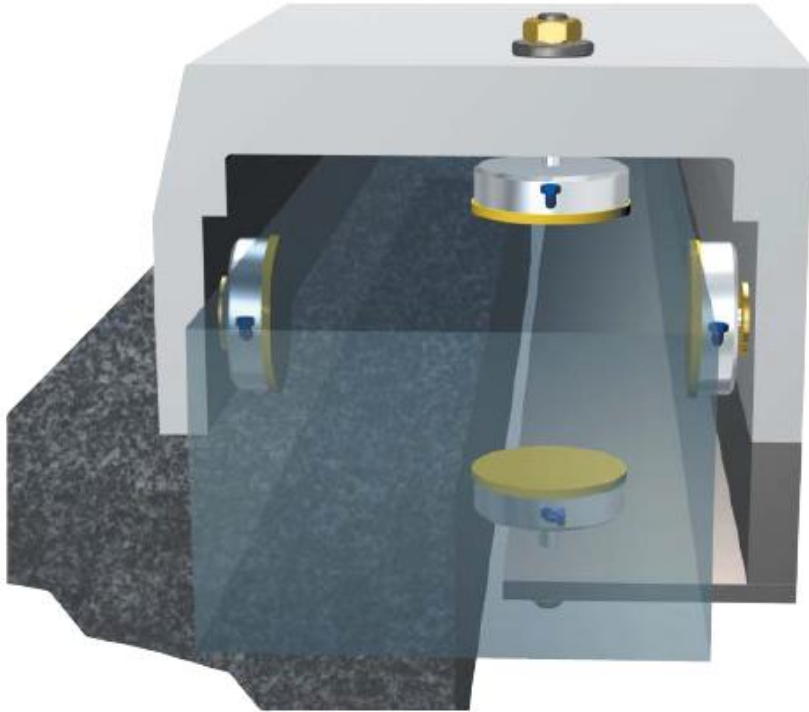
KMM sa obrtnim stolom

PRISMO 5 S-ACC VAST
with rotary table



Vazdušni ležaji

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

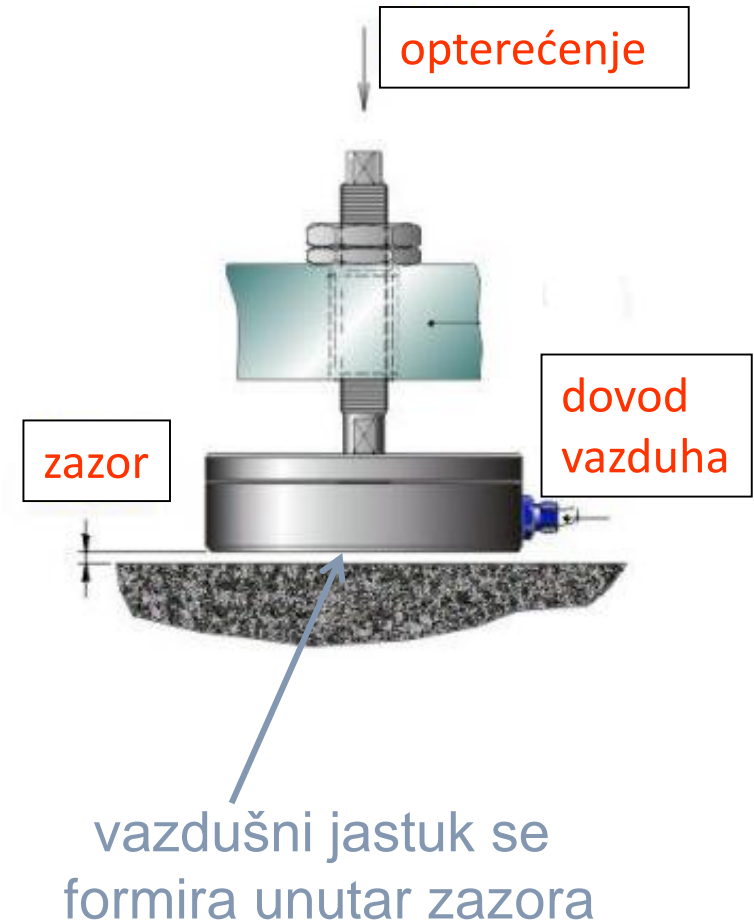


h - visina vazdušnog jastuka, d_o - prečnik mlaznice ležaja, p_p - pritisak u vazdušnom jastuku, p_s - pritisak napajanja, D - spoljni prečnik vazdušnog ležaja, p_a - atmosferski pritisak.

Osnovni parametri pločastog vazdušnog ležaja

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

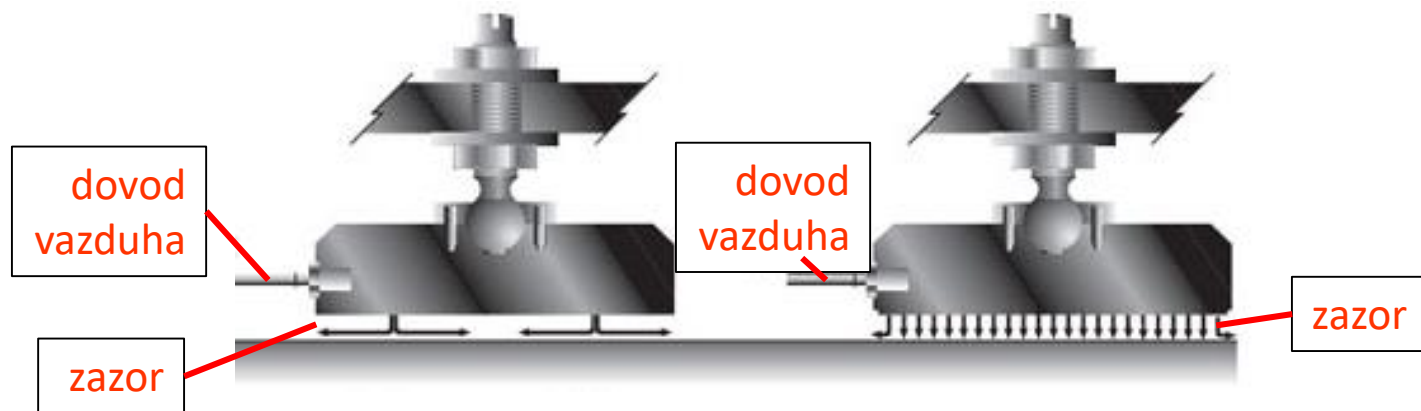
- ✓ malo trenje,
- ✓ tačnost i ponovljivost (debljina vazdušnog jastuka se kreće oko $0.05 \mu\text{m}$ na dužini od 300mm, a ponovljivost linearne putanje je $0.025 \mu\text{m}$),
- ✓ male vibracije i nizak nivo buke,
- ✓ dug vek i
- ✓ odsustvo zagađenosti radne sredine (vazduh kojim se napajaju ležaji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

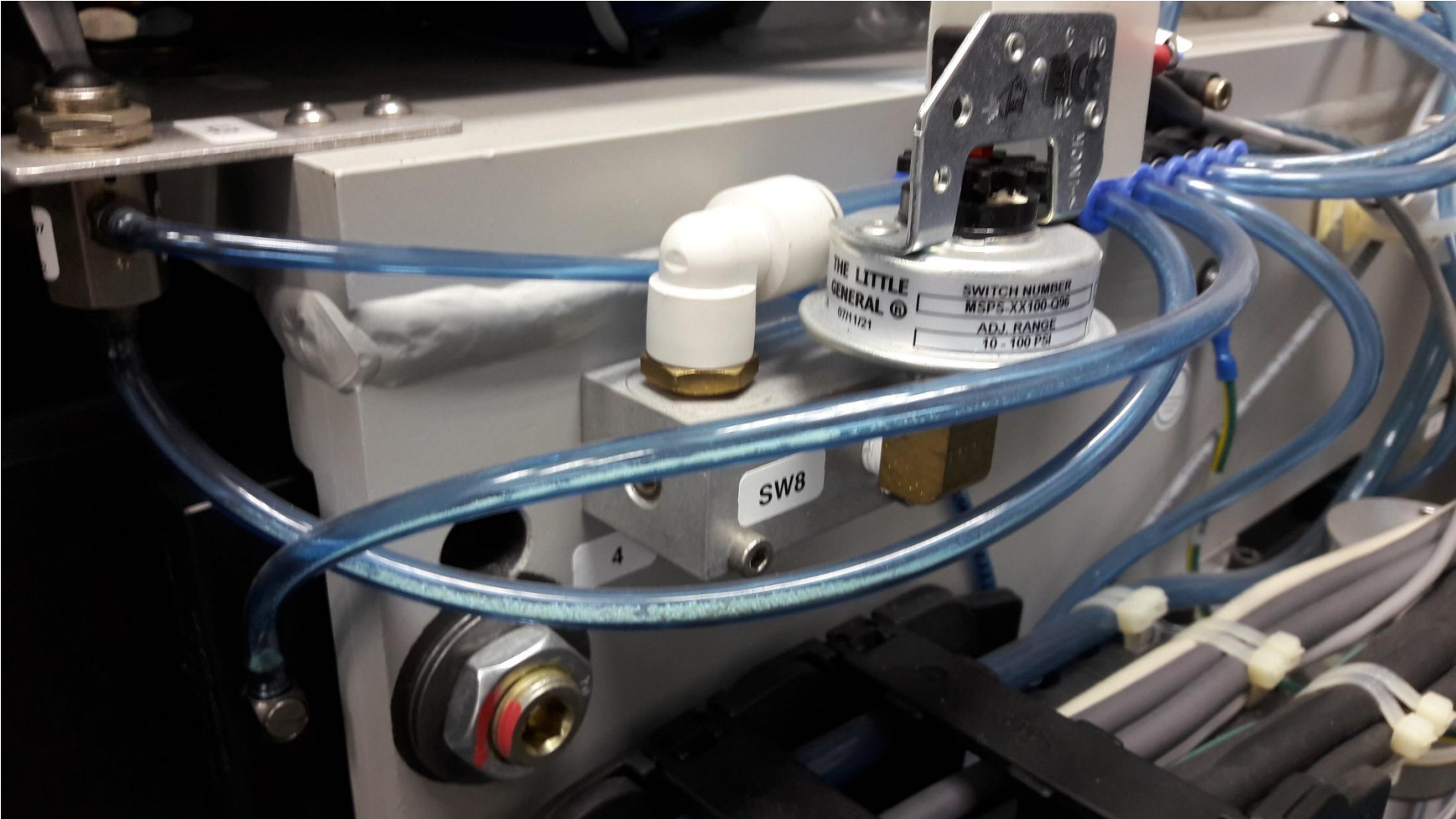


Tipovi vazdušnih ležajeva

Sa otvorima

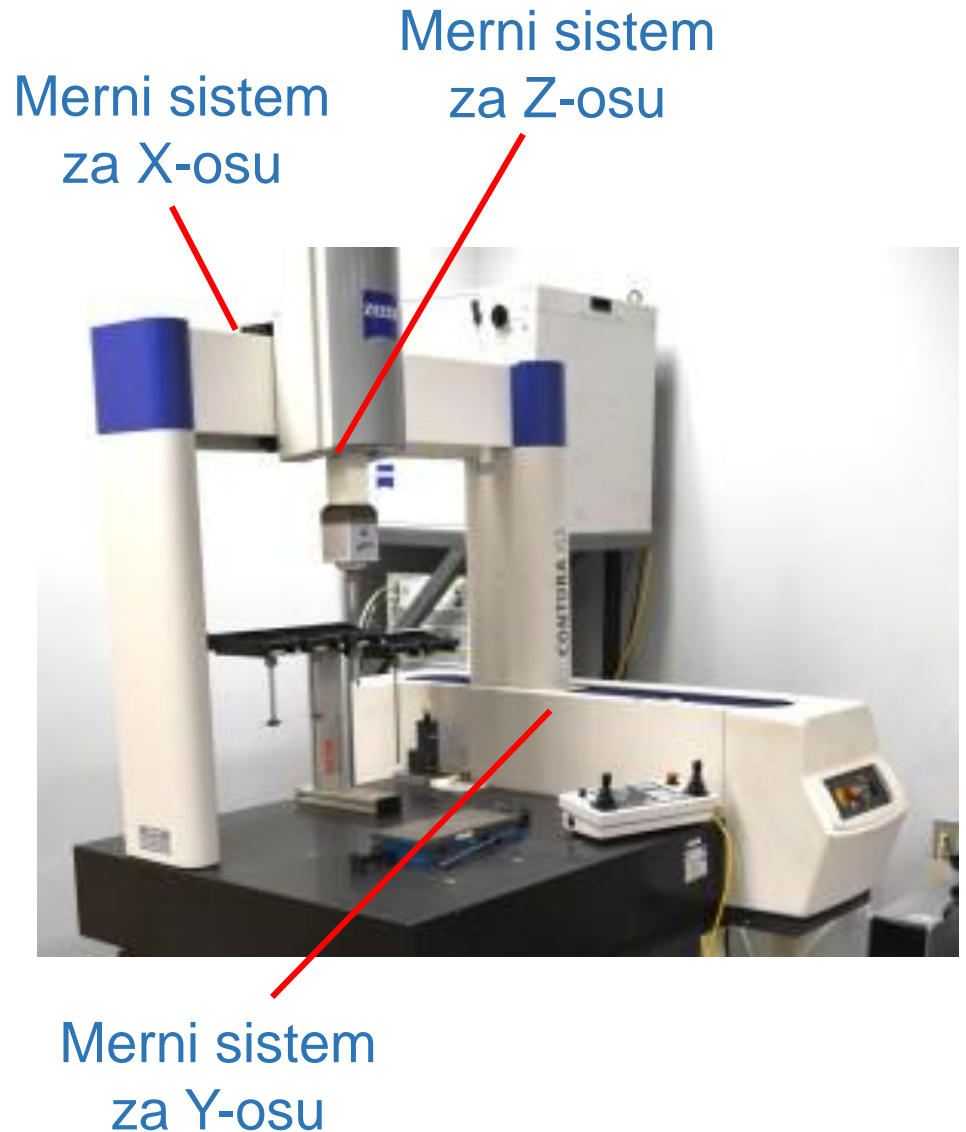
Porozni karbonski





Merni sistemi kod mernih mašina

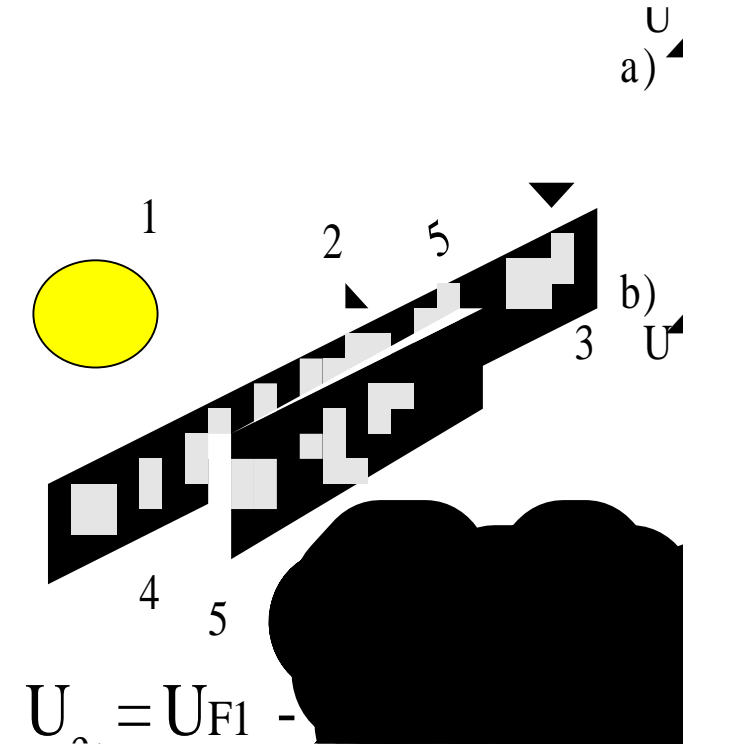
- ✓ Funkcija mernih sistema kod KMM je da jednoznačno identifikuju položaj pokretnih elemenata noseće strukture.
- ✓ Svaki stepen slobode noseće strukture ima sopstveni merni sistem, a zajedno povezani u celinu, čine relativni merni sistem KMM.
- ✓ Bilo koja tačka u mernom prostoru mašine, može da predstavlja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



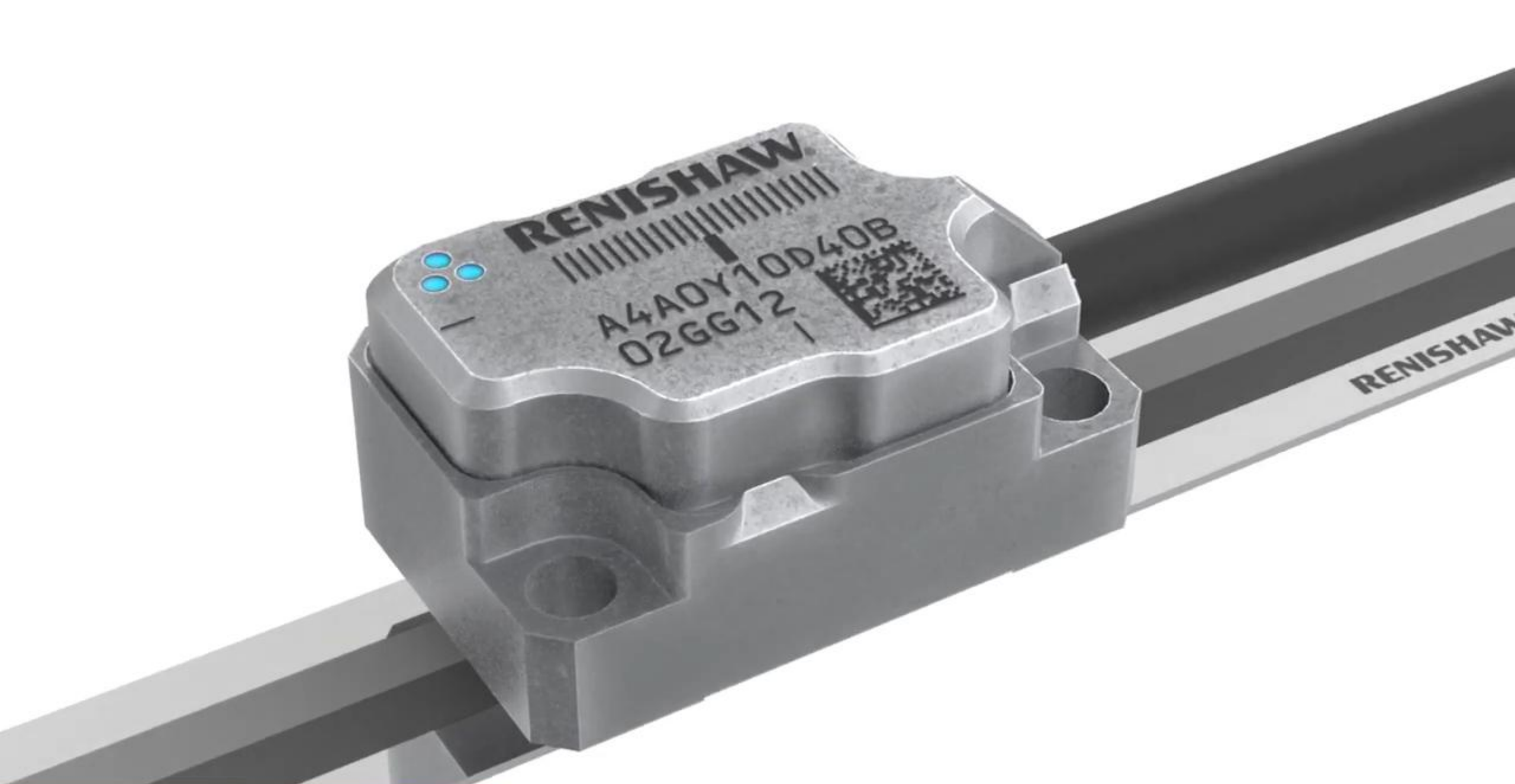
Najzastupljeniji u primeni na KMM je **optički merni sistem**:

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.



ATOM DX™ miniature digital encoder

Magnetni merni sistem:

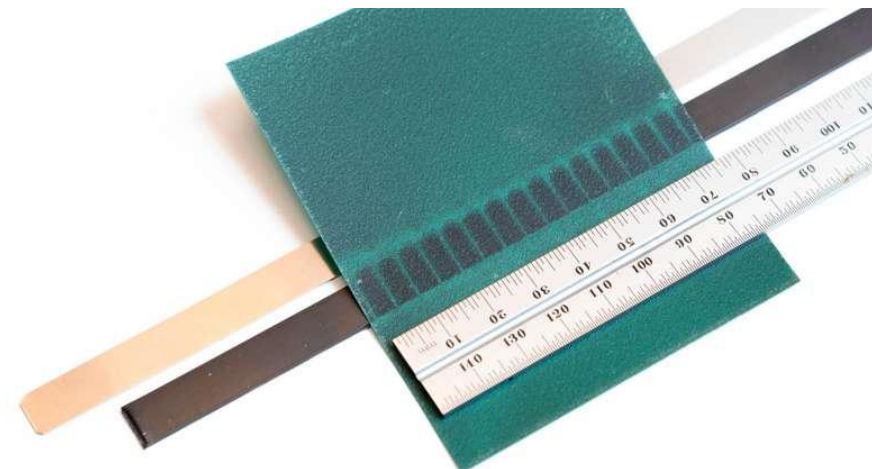
Magnetni merni sistemi sastoje se od glave za čitanje i linearne magnetne trake. Glava senzora se napaja bez kontakta preko magnetne trake i tehnički je bez habanja. Digitalna magnetna skala ima tačnost do ± 15 mm pri dužini merenja do 100 m.

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.

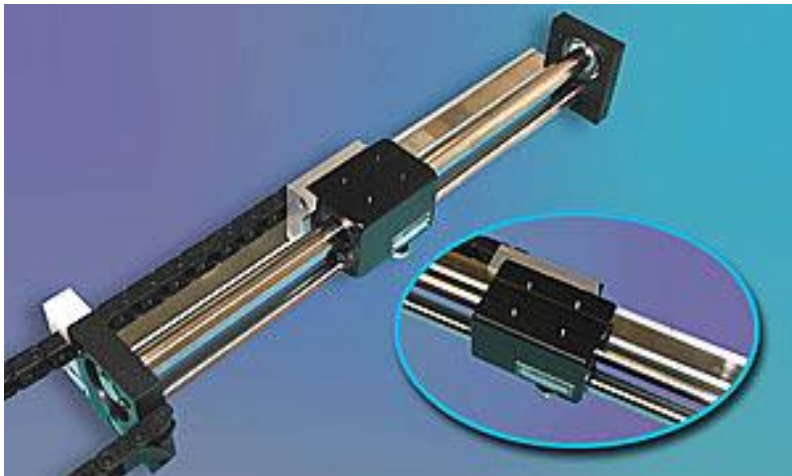
Pogonski sistemi kod mernih mašina

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.



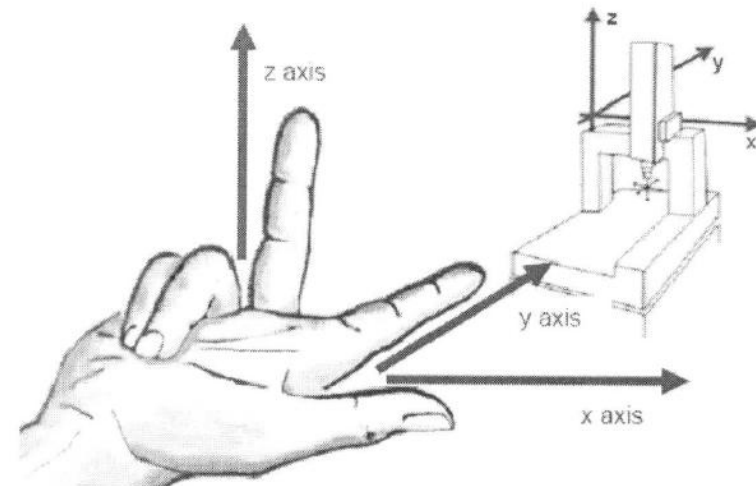
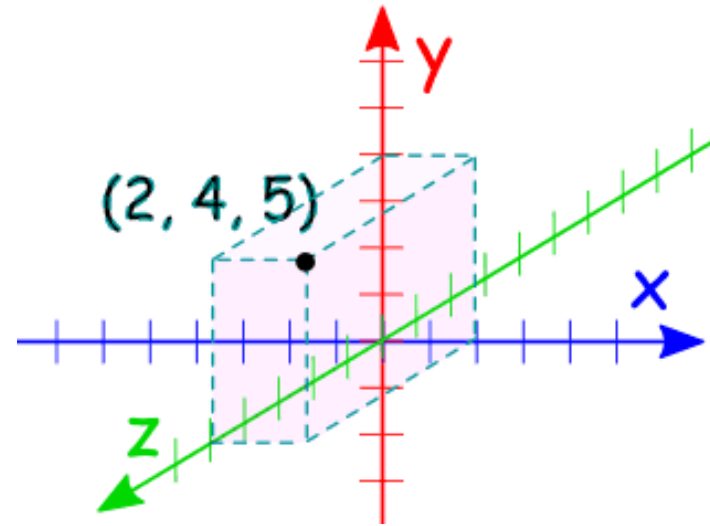
KONTAKTNE MERNE SONDE NA KMM

Uvod

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

Uređaji namenjeni za obezbeđivanje ove vrste informacija nazivaju se MERNE SONDE.

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



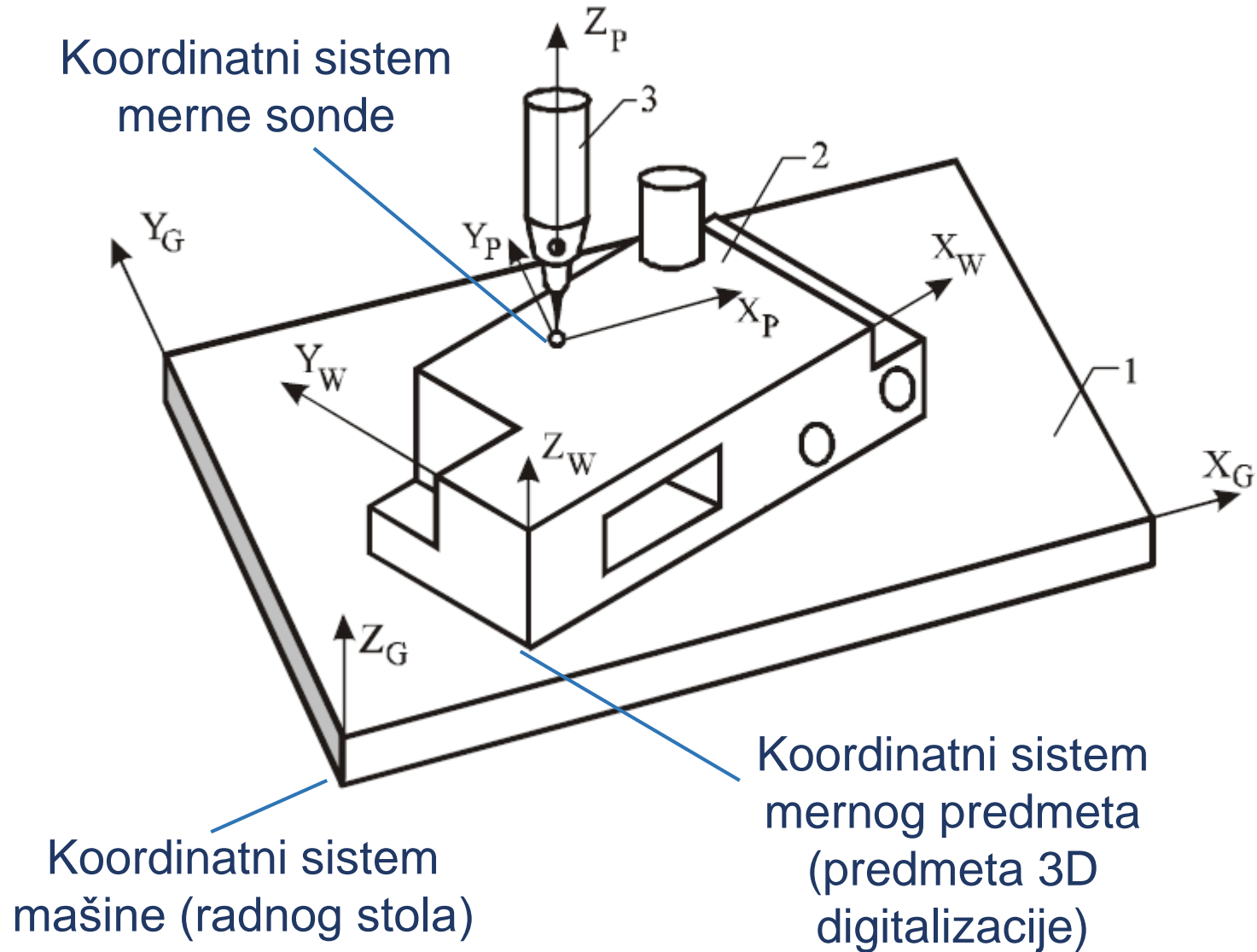
Pravilo desne ruke

Merna sonda

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



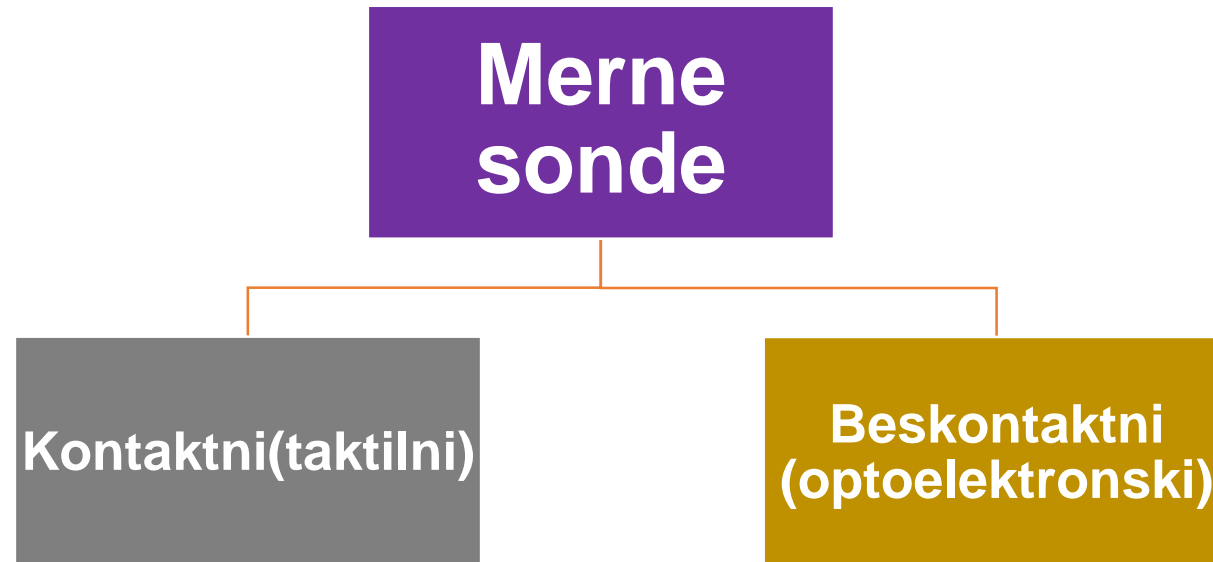
Koordinatni sistemi kod KMM



Podela mernih sondi

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

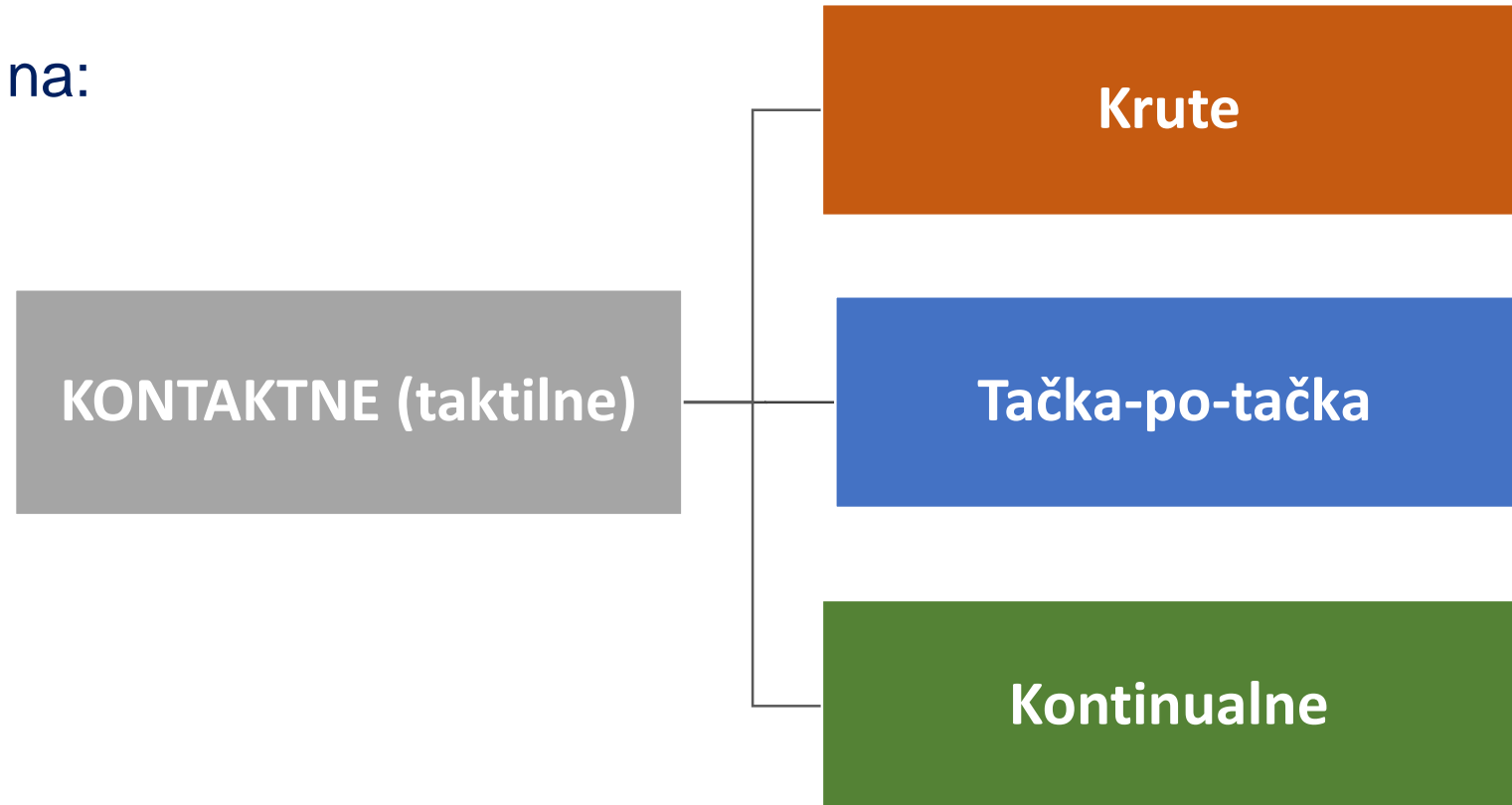
Prema metodi na bazi koje sonda omogućava prikupljanje informacija sa dela koji se meri (digitalizuje), razlikuju se dve velike familije mernih sondi:



Kontaktne (taktilne) sonde

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

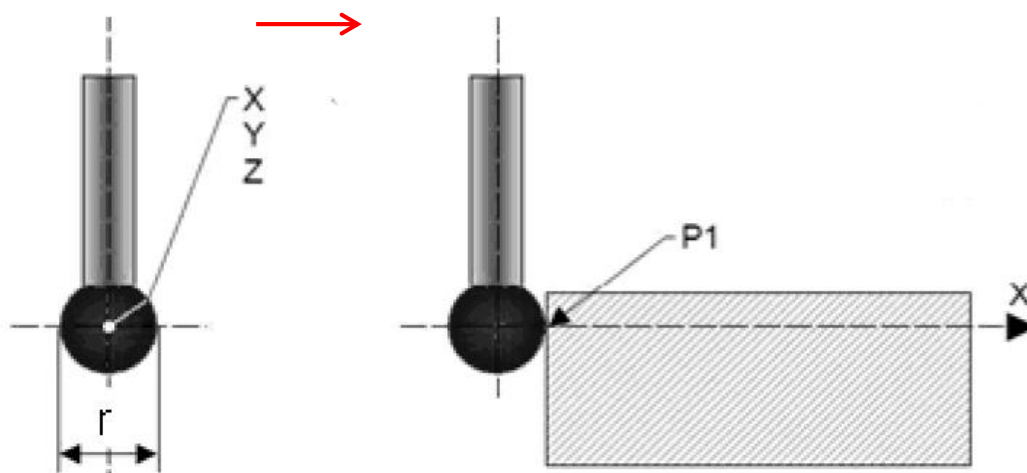
Taktilne sonde se dele na:



Krute sonde

Krute merne sonde koriste se tako što korisnik (operator) ručno dovodi merni pipak u fizički kontakt sa tačkom koja se meri, a zatim šalje signal za snimanje koordinata centra sfere ili vrha kupe putem mernog sistema.

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

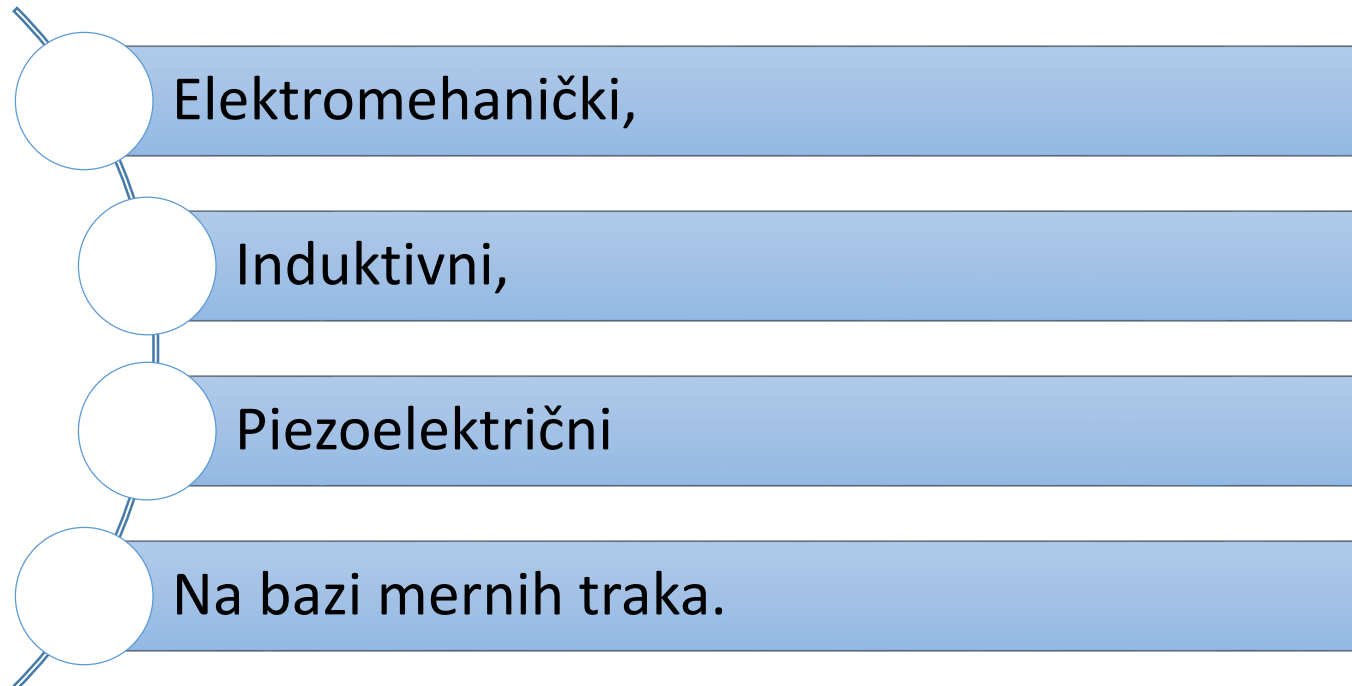


Kontaktne merne sonde za merenje „tačka po tačka“

Ove merne sonde se nazivaju i „okidačke“ (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 vrha mernog pipka od strane mernog sistema KMM.

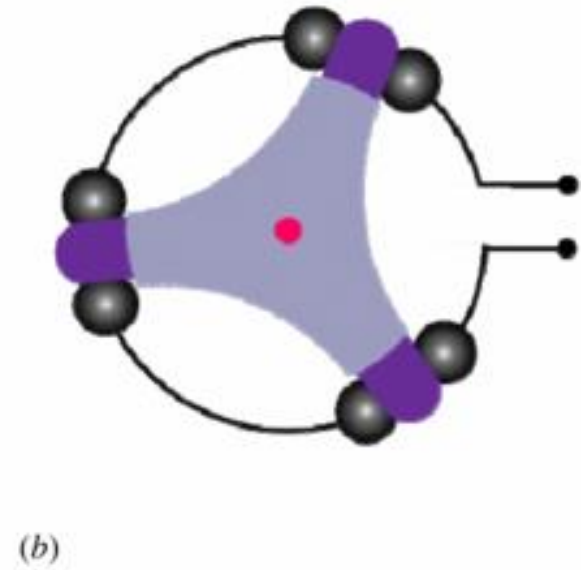
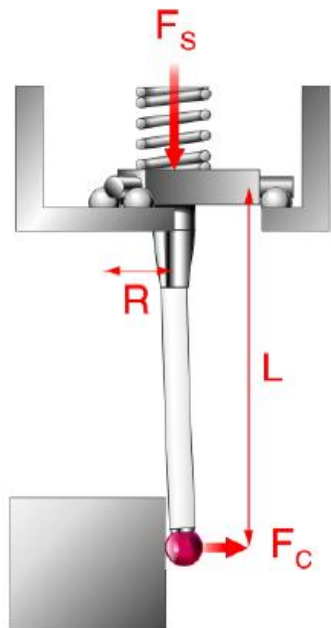
Kontaktne merne sonde za merenje na principu „tačka po tačka“ mogu se podeliti u sledeće kategorije prema vrsti senzora:



Merne sonde sa elektromehaničkim senzorum

Ova vrsta sonde spada u najjednostavnije.

Osnovna funkcija ove merne sonde 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.

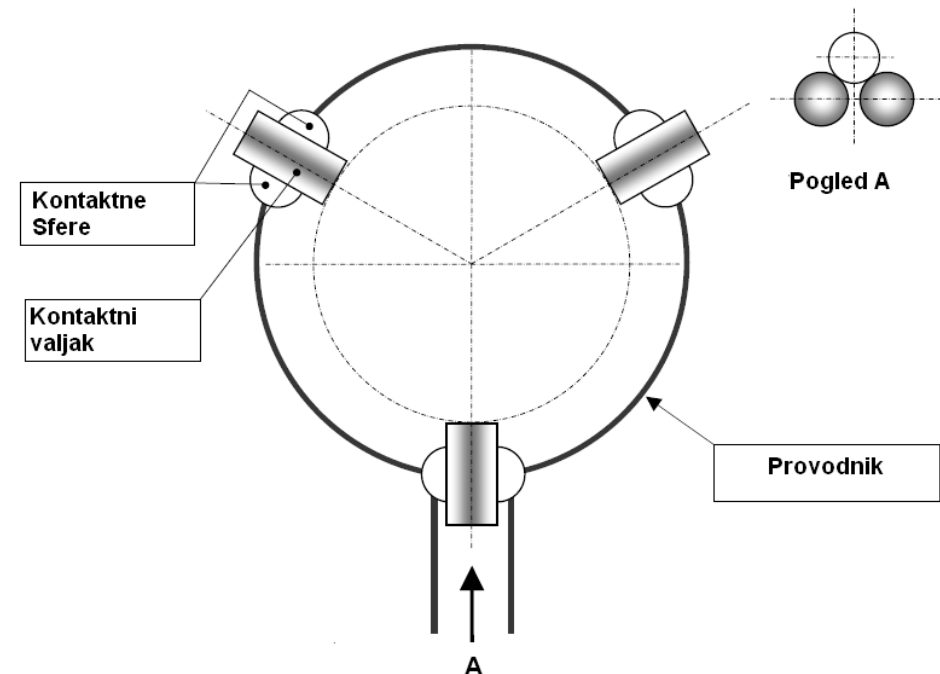
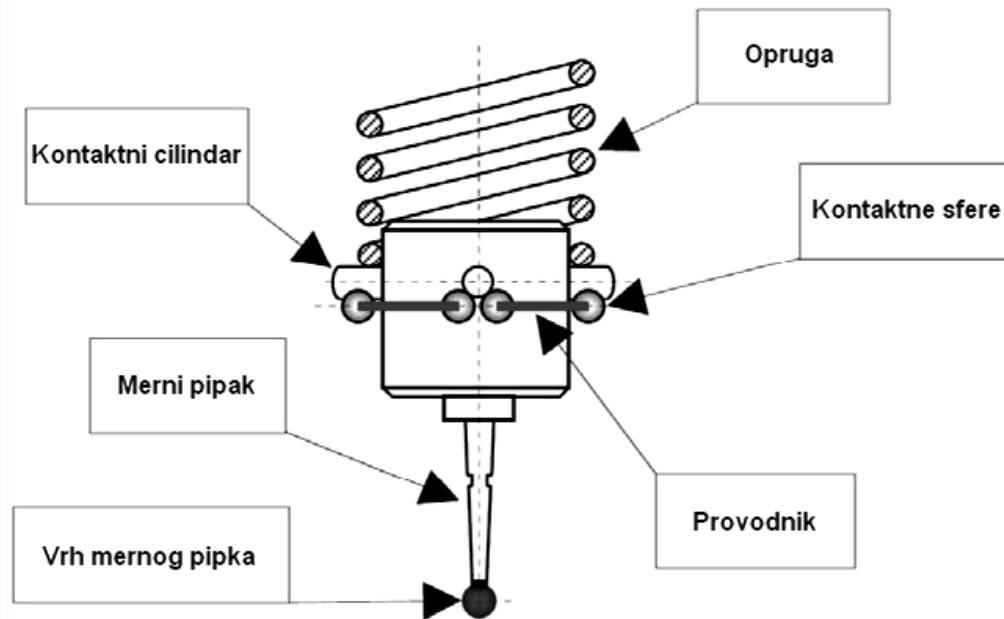
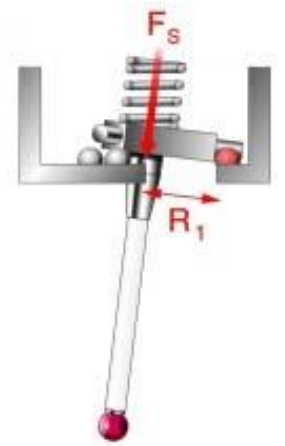


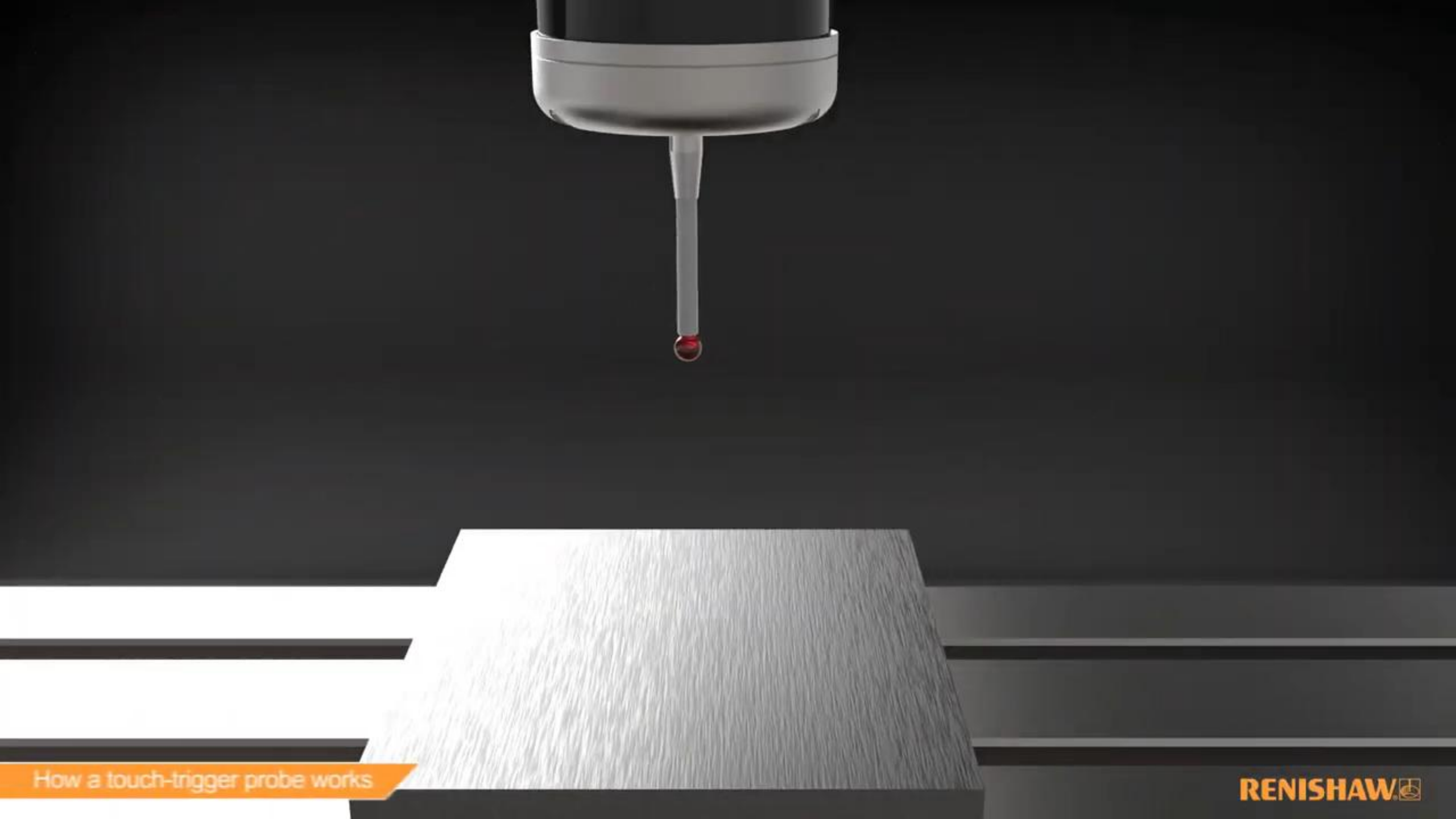
Zasnovani su na mehanizmu kod kojeg su tri para kontakata zatvorena silom opruge.

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.





How a touch-trigger probe works

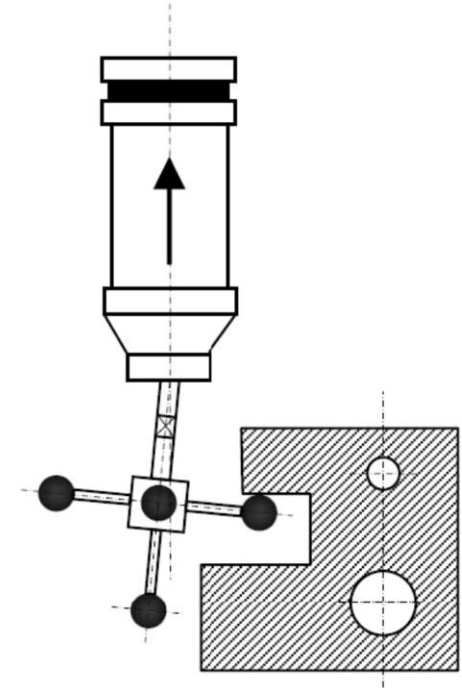
RENISHAW 

Merne sonde sa elektromehničkim senzorum se izvode kao:

- ✓ 5-smerne (sposobne za merenje u bilo kom pravcu, ali ne u pravcu ose mernog pipka) ili
- ✓ 6-smerne 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 merne sonde,
- lako se lome i
- izazivaju izvesne teškoće kod automatske izmene merne sonde.



Šestosmerna merne
sonda sa
elektromehničkim
senzorom

Merne sonde sa induktivnim senzorom

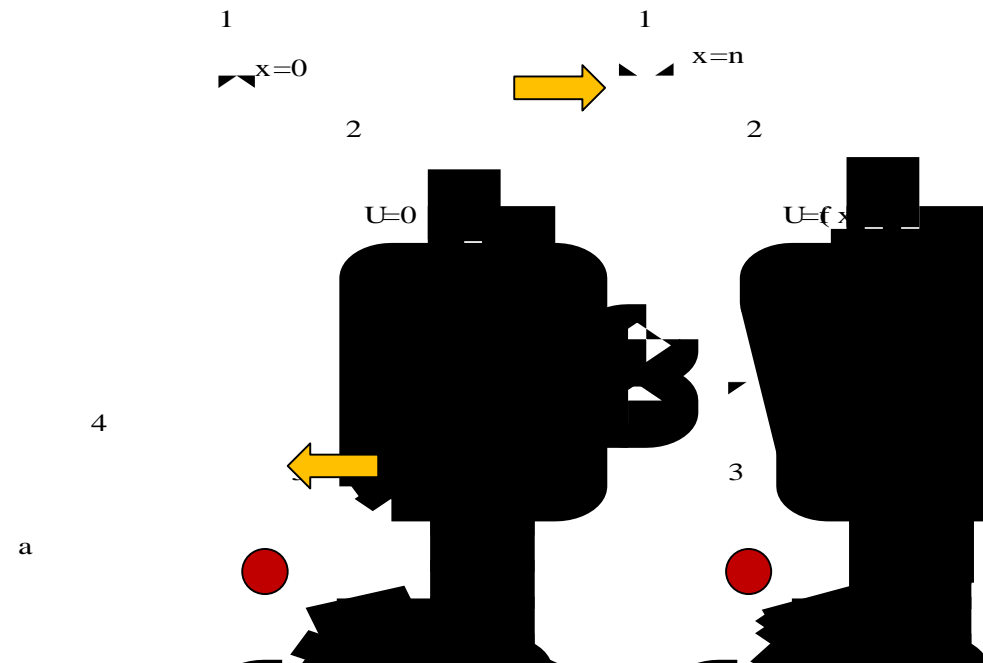
Kod većine proizvođača KMM merne sonde se izvode sa induktivnim senzorom.

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 induktivne merne sonde u jednoj osi
(1-smer kretanja;
2-induktivni senzor;
3-merni pipak;
4-merni predmet)

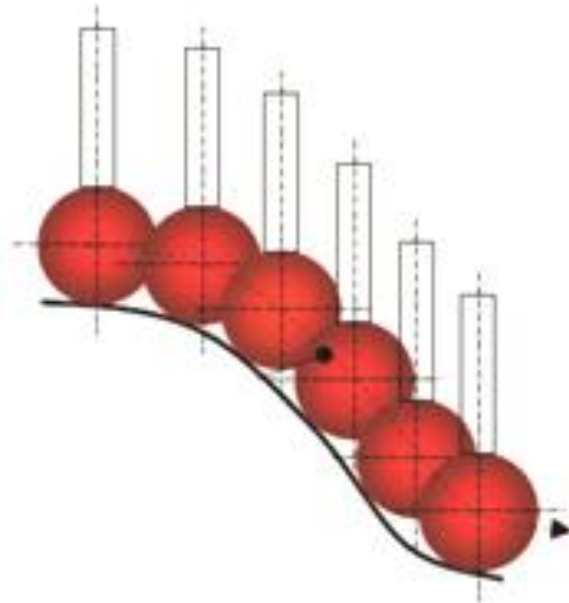


Merne sonde sa induktivnim senzorom

Omogućavaju skeniranje, odnosno kontinualno praćenje konture mernog predmeta.

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

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



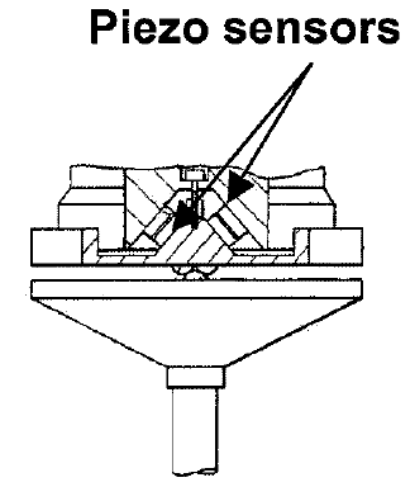
Mene sonde sa piezoelektričnim senzorom

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.

Merne sonde sa senzorom u obliku merne trake

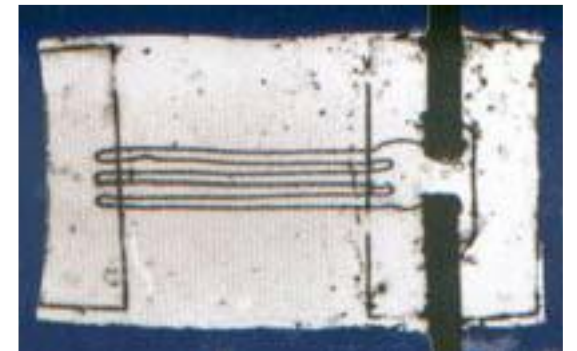
Ovi merne sonde imaju mogućnost merenja sile kontakta pipka i predmeta u tri pravca.

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 merne sonde sa mernim trakama - mogućnost upotrebe pipaka većih dužina.

Nedostatak je velika osetljivost 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.



Kontinualne kontaktne merne sonde

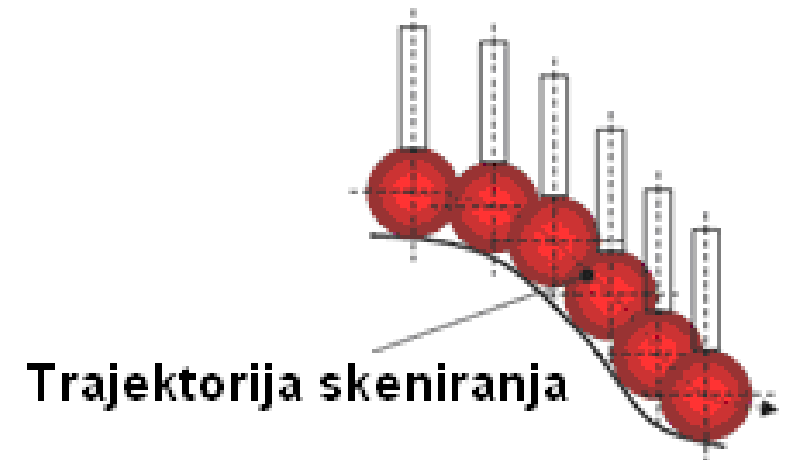
Kontinualne kontaktne merne sonde su mnogo godina predstavljale najsofisticiraniji oblik sonde korišćenih na koordinatnim mernim mašinama.

Kao što je već navedeno, kontaktna “tačka po tačka” merna sonda dolazi u dodir sa predmetom samo u trenutku merenja tačke, dok kod kontinualnog skeniranja sonda ostaje u dodiru sa predmetom prateći njegov profil i sakupljajući tačke prema prethodno definisanim pravilima.

Ovaj tip merne sonde se koristi za merenje i za digitalizaciju.

Sonde ove vrste mogu se podeliti u dve kategorije:

- pasivne i
- aktivne.



Pasivne kontinualne kontaktne merne sonde

Pasivne sonde 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.

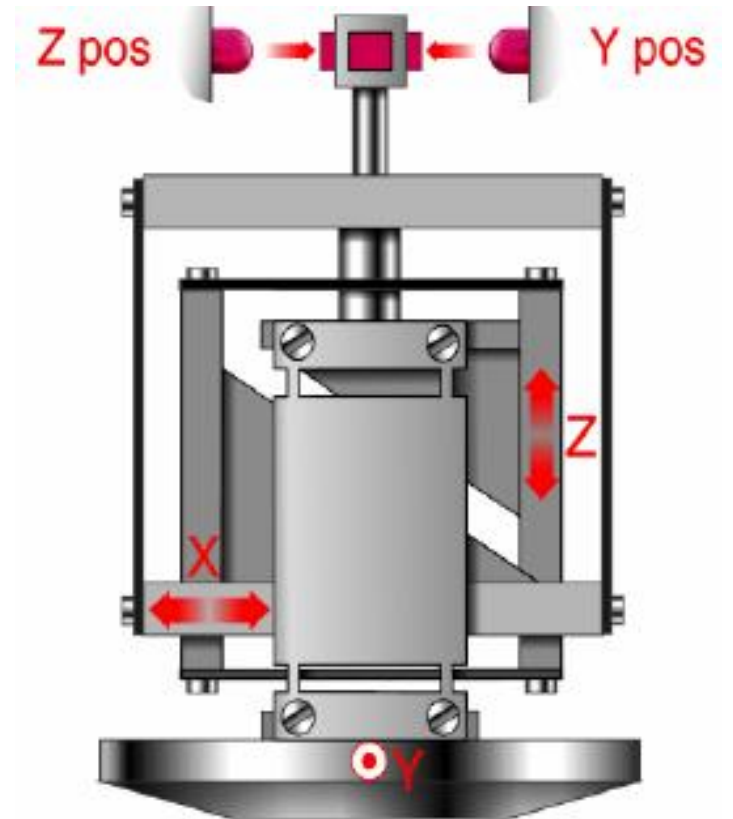
Najčešći mehanizam je zasnovan na tri para opruga, postavljenih u vidu paralelograma.

Sila merenja zavisi od otklona mernog pipka prilikom merenja.

Napretkom upravljačkog sistema KMM, pasivne kontinualne merne sonde su počele da zamenjuju aktivne zbog svoje cene.

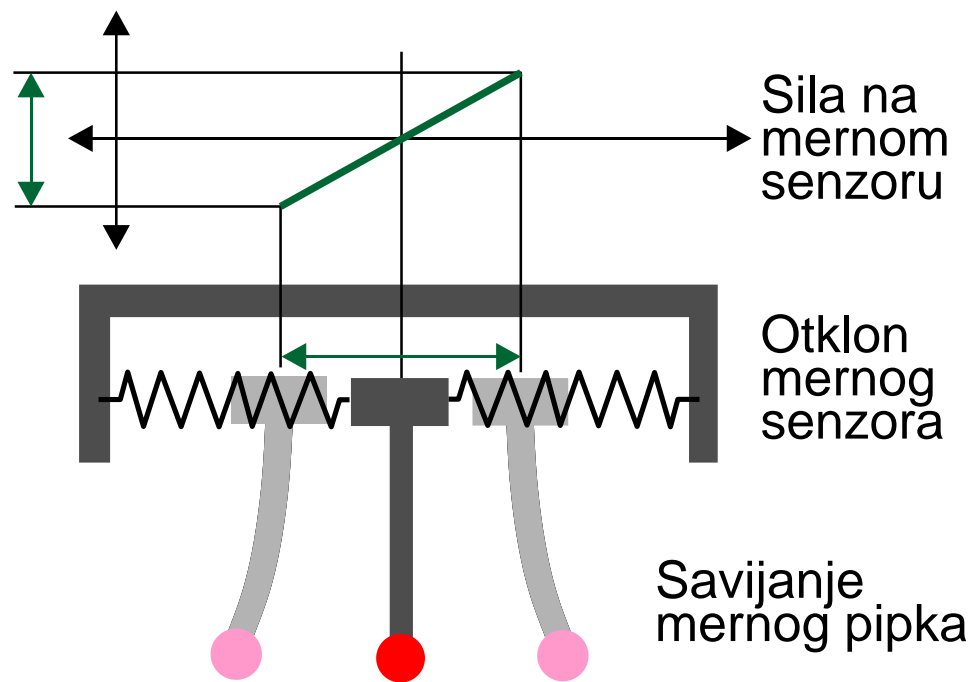
Pasivne merne sonde je moguće pričvrstiti na zglobni držač, tako da je moguće postići bilo koji položaj u prostoru uz izuzetnu ponovljivost.

Ova vrsta mernih sondi se može koristiti i za merenje diskretnih tačaka.



Pasivne kontinualne kontaktne merne sonde

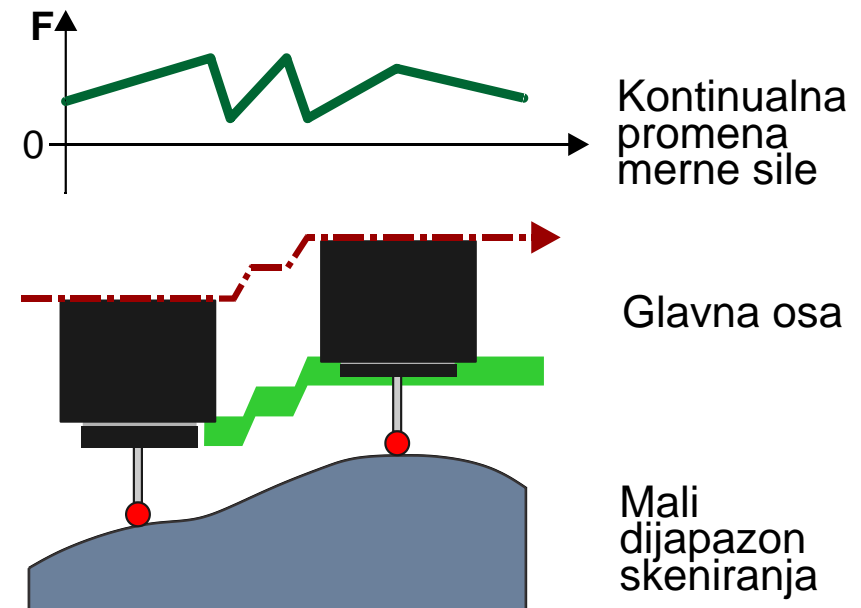
Opruge kod pasivnih mernih sondi imaju ulogu da zadrže pipak u neutralnom položaju, dok se otklon mernog pipka (koji se javlja kao posledica promene oblika konture površine koja se skenira) meri pomoću mernih traka.



Princip rada pasivnih mernih sondi

- Osnovna slabost pasivnih sondi se ogleda u potrebi za čestim repozicioniranjem sonde, 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 merne sonde, što omogućava održavanje nivoa napregnutosti opruge u granicama koje obezbeđuju zadovoljavajuću tačnost merenja.

Repozicioniranje i promena sile kod pasivnih mernih sondi



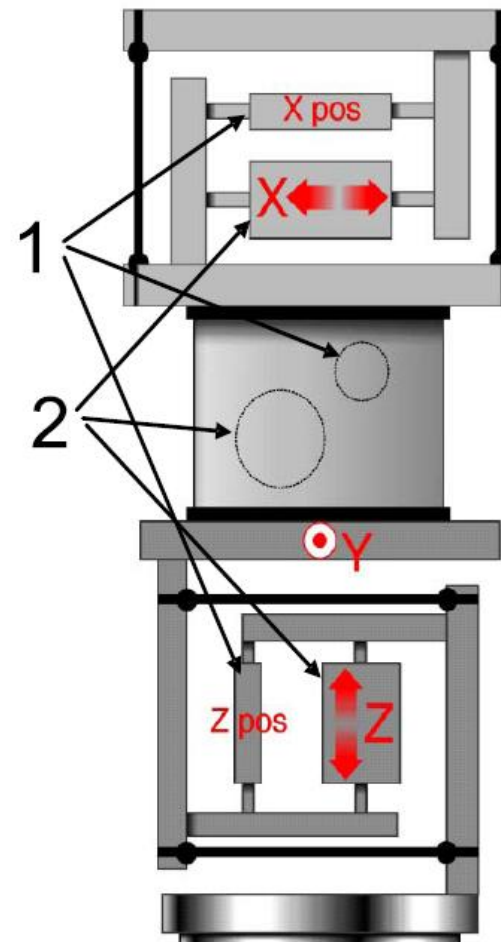
Aktivne kontinualne kontaktne merne sonde

Aktivne sonde praktično predstavlja KMM unutar KMM.

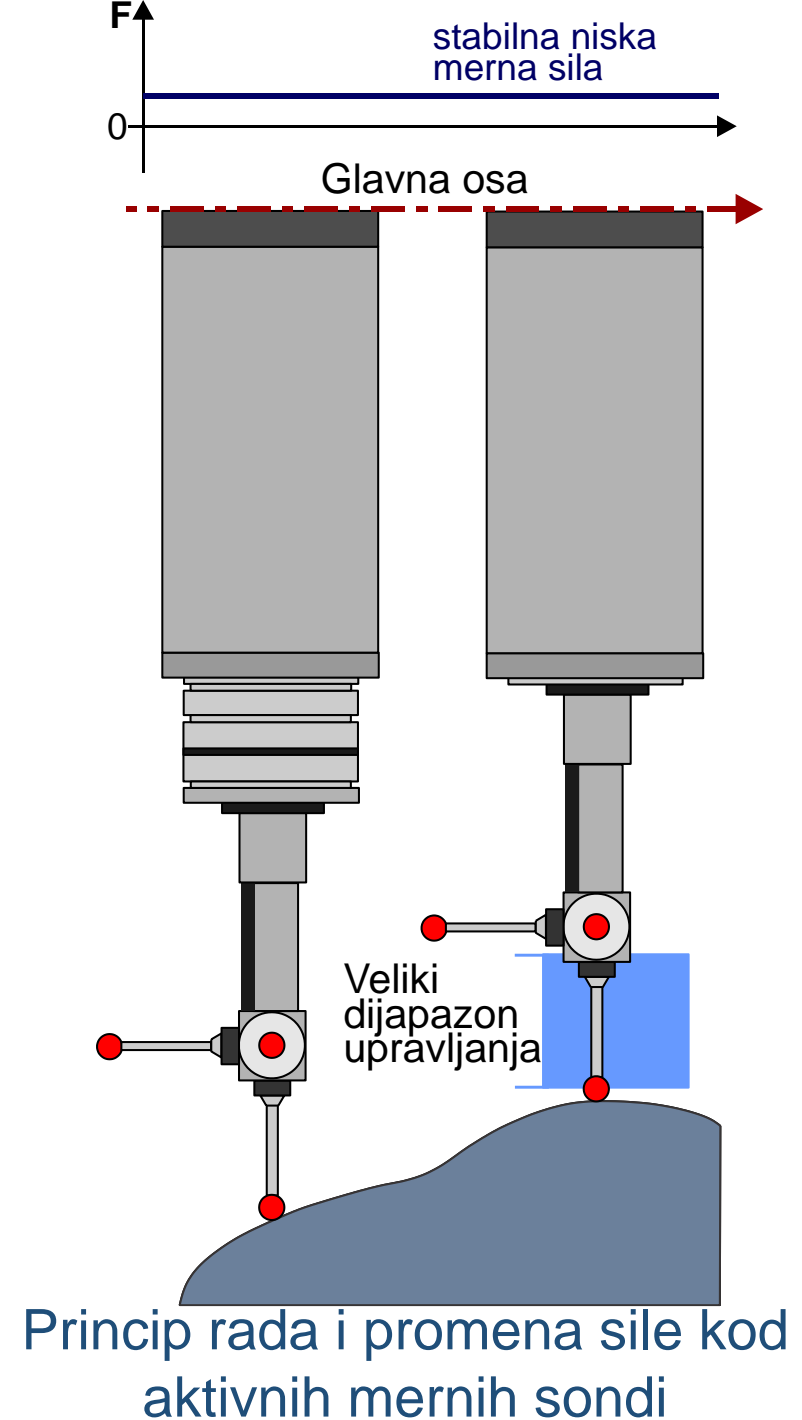
Sadrži **merni sistem (1)**, **pogonski sistem (2)** i **noseću strukturu**.

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

Savremene merne sonde ove vrste su opremljeni sistemom automatskog uravnoteženja mase sistema pipaka.



- Kod aktivnih sondi 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 merne sonde i bez promene sile primenjene na površinu koja se digitalizuje, a rezultat su veća tačnost merenja i brzina skeniranja.




Merni pipak sonde

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




Telo mernog pipaka


Telo mernog 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.



Keramika - Keramička tela nude visoku krutost sa malom težinom i stoga se posebno preporučuju za dugačke merne pipke gde je težina kritičan faktor.



Tela od **ugljeničnih vlakana** predstavljaju optimalnu kombinaciju krutosti, težine i termičkog linearnog širenja. Ovo ih čini posebno pogodnim za duge merne pipke i zahtevne zadatke merenja, kao što je proizvodnja sa stalno promenljivim temperaturama okoline. Takođe su idealni za magnetne aplikacije.



Tela od **volfram karbida** pružaju dobru kombinaciju u smislu težine, krutosti i termičke linearne ekspanzije. Ravno telo pipka je najjednostavniji dizajn, ali može se sresti i sa stepenicom.

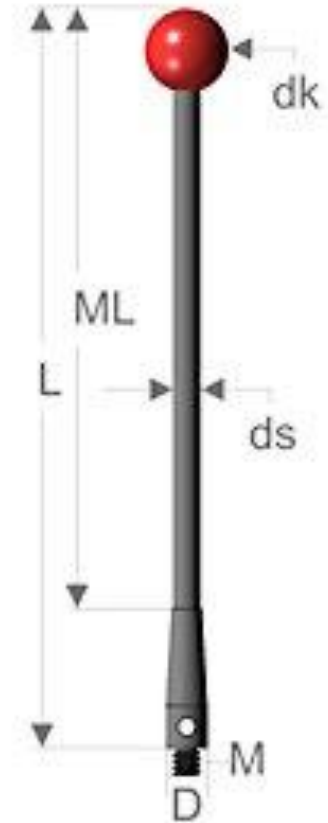
Telo mernog pipaka

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

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

Amplituda oscilacija može varirati u zavisnosti od:

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



Vrh mernog pipka

Vrh mernog pipka u obliku sfere se proizvodi od:



Silicijum nitrida - Koristi se za najčešće merne zadatke, ali su posebno pogodni za skeniranje aluminijumskih površina.



Rubin je najčešće korišćen sferni materijal u metrologiji i pogodan je za najčešće merne zadatke. Od rubina se mogu proizvesti veoma male sfere prečnika 0,12 mm.



Keramike - Keramičke sfere imaju veoma nisku poroznost. Dostupne su u velikim prečnicima sfera i kao (šuplje) hemisfere sa optimizovanom težinom i proizvode se prema specifikacijama. Posebno su pogodni za skeniranje grubih površina kao što je liveno gvožđe.

Vrh mernog pipka



Volftam Karbid – Sfere od volfram karbida mogu se napraviti prema specifikaciji. Imaju veliku težinu, upotrebljavaju se kod specifičnih zadataka kao što je merenje zupčanika.



Dijamantska prevlaka - Zahvaljujući premazu sa najtvrdim materijalom na svetu, manje je habanja i nakupljanja materijala. Ove sfere su posebno pogodne za skeniranje mekih materijala. Takođe su idealni za merenje staklenih i reflektivnih površina.



Dijamant - Dijamantske sfere su idealne za merenje veoma tvrdih ili visoko abrazivnih obradaka, kao i za skeniranje radnih komada gde je samo jedna tačka sfere uglavnom u kontaktu sa radnim predmetom (npr. merenja (skeniranja) na rotacionom stolu).

Magacin mernih pipaka



Nastavci za zakretanje sonde

