

KONTAKTNE MERNE SONDE NA KMM

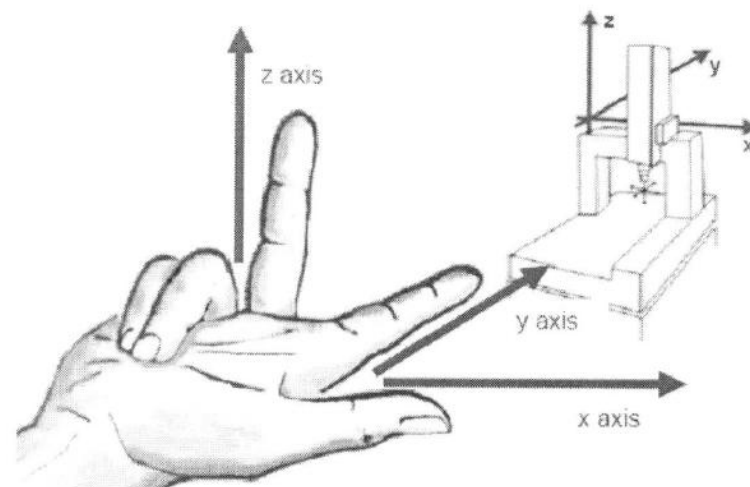
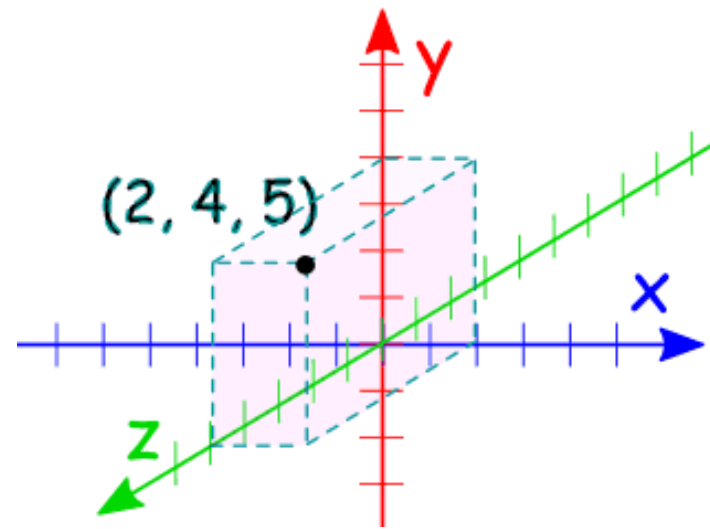
Uvod

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

Uređaji namenjeni za obezbeđivanje ove vrste informacija nazivaju se SENZORI i/ili SONDE.

Termin **SONDA** se odnosi na kontaktna, dok se termin **SENZOR** koristi kod beskontaktnog merenja.

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

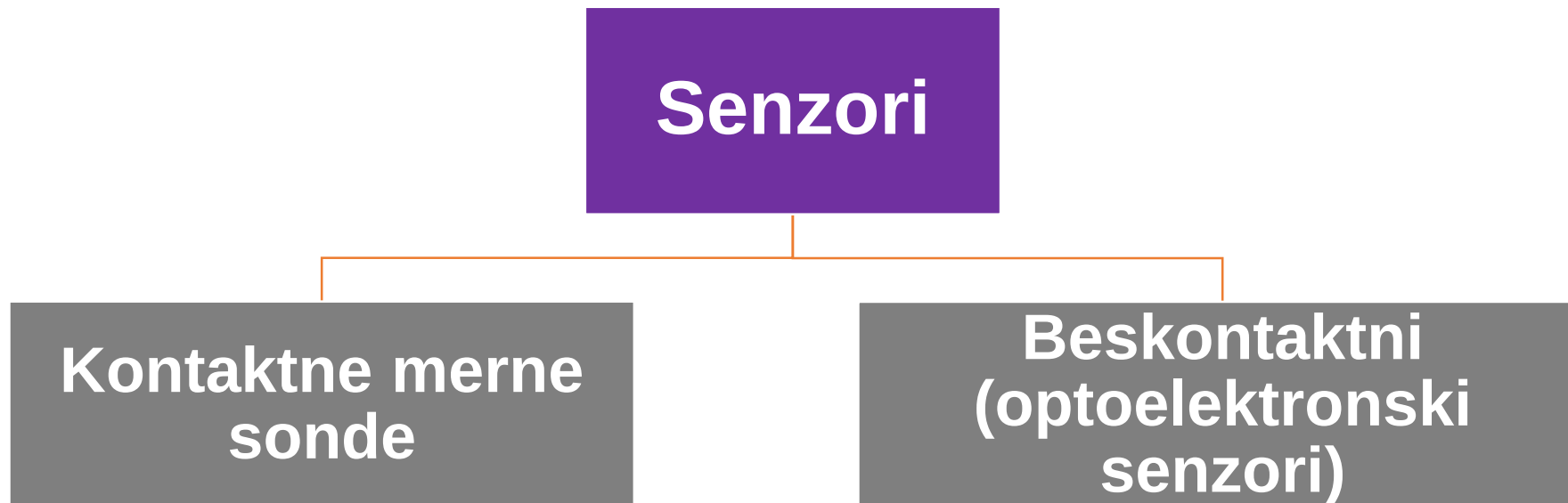


Pravilo desne ruke

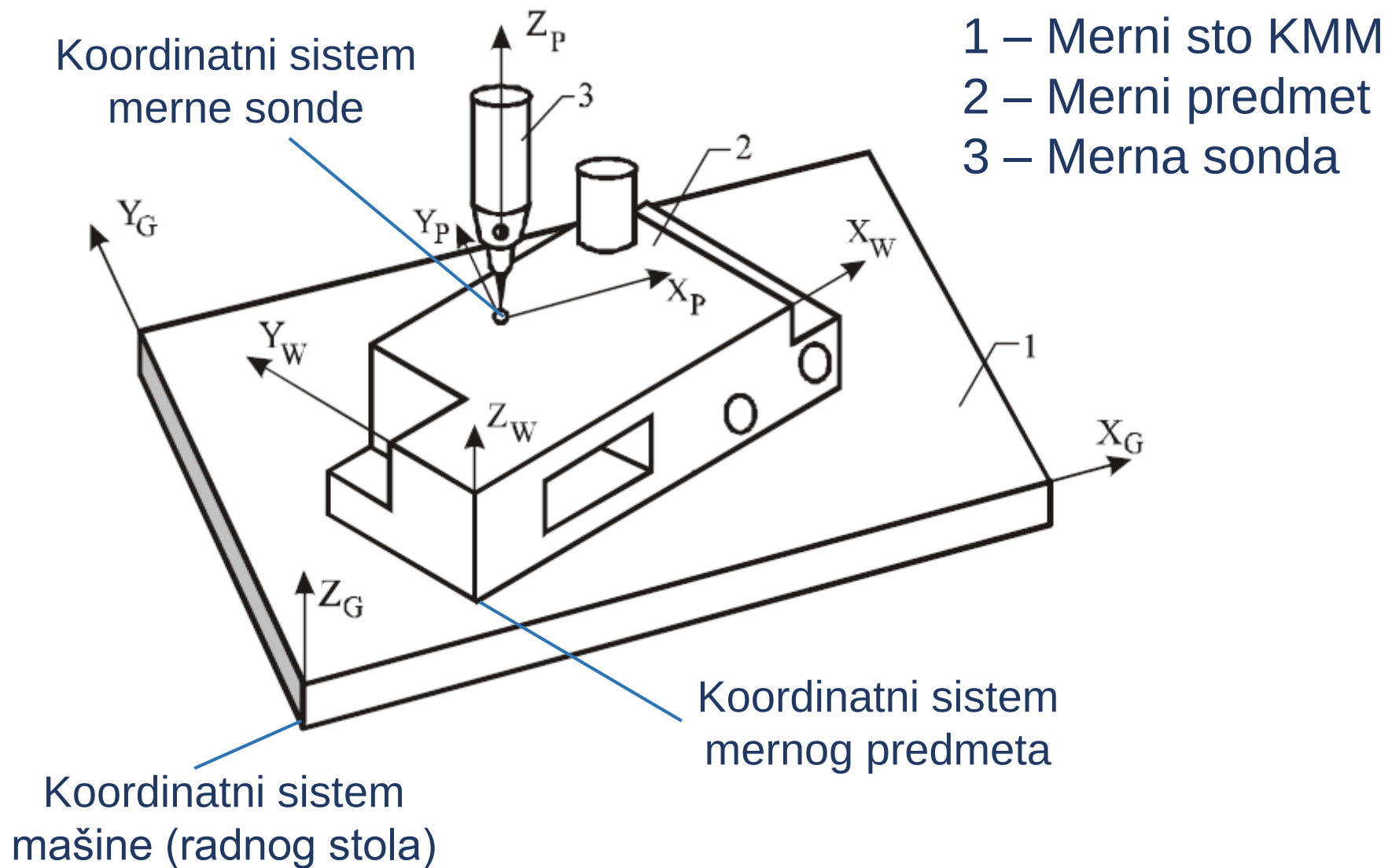
Podela mernih senzora

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

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



Koordinatni sistemi kod KMM



Merna sonda

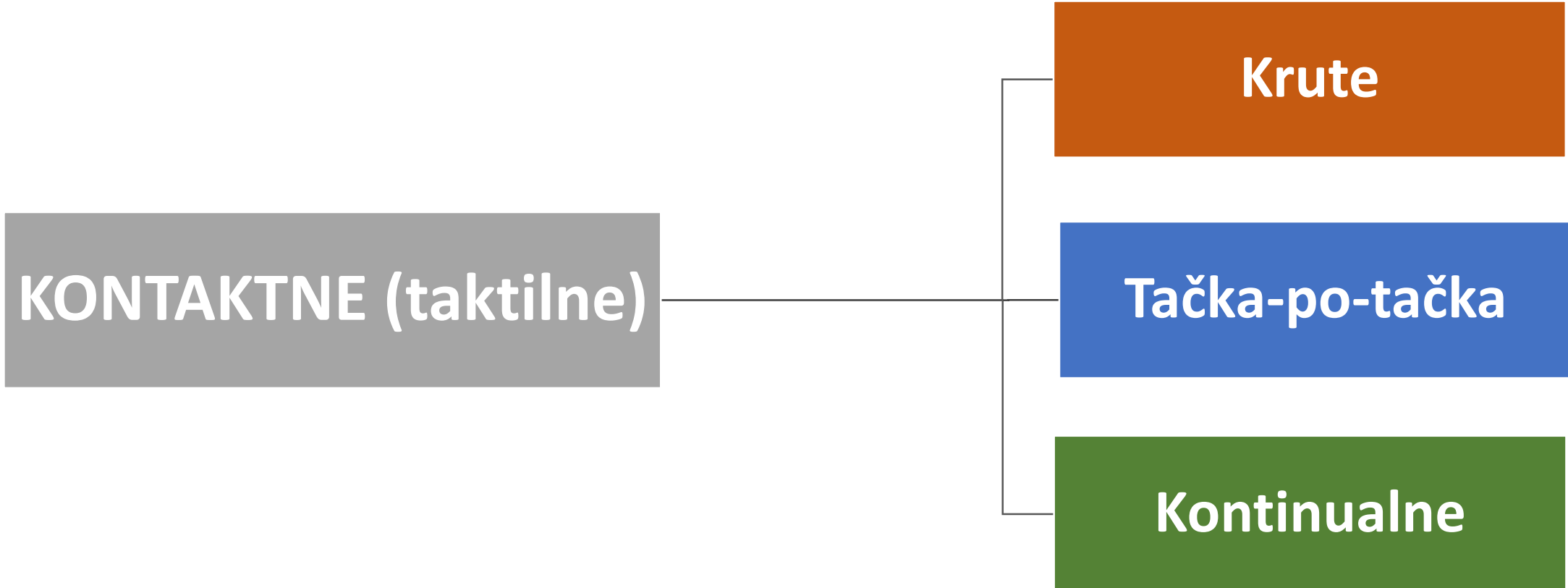
- ✓ Merna sonda predstavlja jedan od najvažnijih podsistema KMM.
- ✓ To je prvi element mernog lanca koji generiše merni signal srazmeran vrednosti merne veličine, odnosno detektovanoj sili.
- ✓ Uloga merne sonde je da definiše poziciju tačke kontakta, ali takođe i da generiše signal srazmeran detektovanoj sili kontakta koji se šalje mernom i pogonskom sistemu kod KMM.
- ✓ Mernu sondu čine tri osnovna dela:
 - 1) **merni pipak sonde** i/ili sistem mernih pipaka,
 - 2) **telo sonde** sa u kome je smešten odgovarajući senzor,
 - 3) **sistem za prihvatanje sonde**.



Kontaktne merne sonde

Ova grupa mernih sondi omogućava merenje na bazi kontakta sa merenim predmetom.

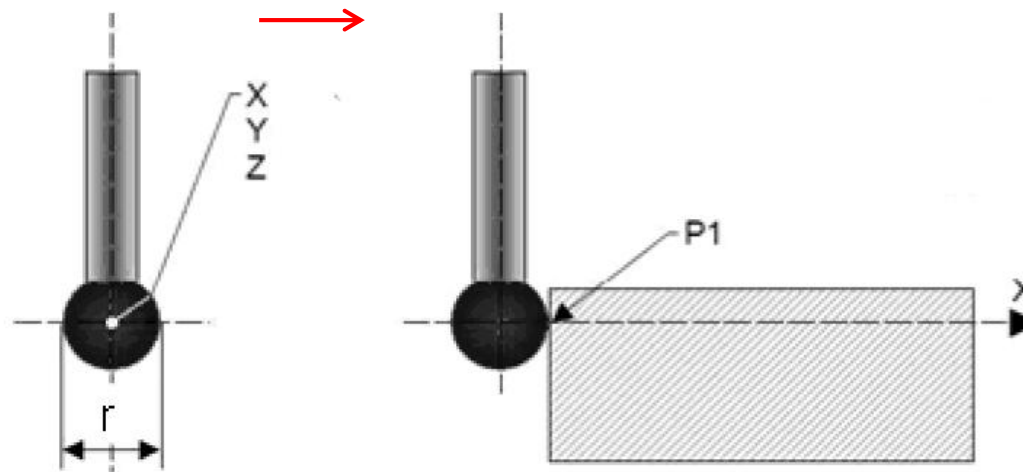
Kontaktne merne sonde se dele na:



Kruta sonda

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 zglobove merne ruke.



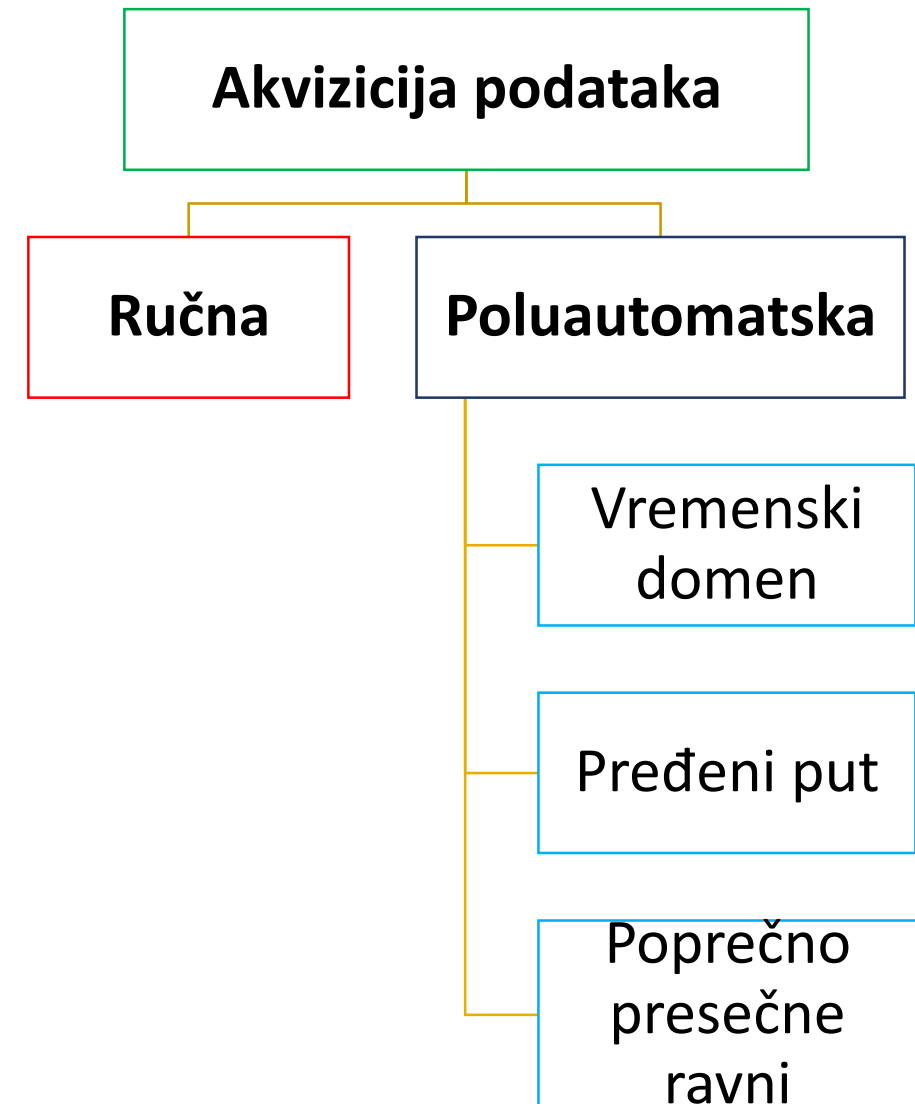
Akvizicija podataka (kruta merna sonda)

Akvizicija podataka može biti:

1) ručna - operater pritiskom na taster (ili papučicu) daje signal softverskoj podršci da memoriše koordinate trenutne pozicije vrha mernog pipka.

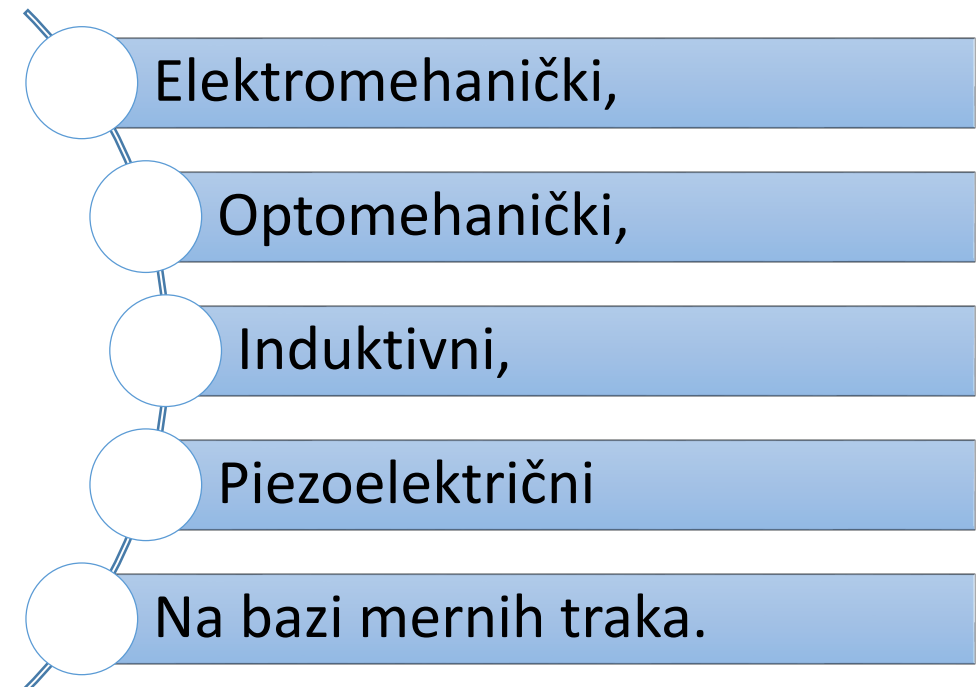
2) poluautomatska - na osnovu ručno zadatog signala, softverska podrška automatski prikuplja podatke u različitim režimima.

Režimi mogu biti definisani vremenskim domenom, pređenim putem ili pomoću predefinisanim poprečno presečnim ravnima, u skladu sa koordinatnim sistemom i rezolucijom.



Kontaktne merne sonde za merenje “tačka po tačka”

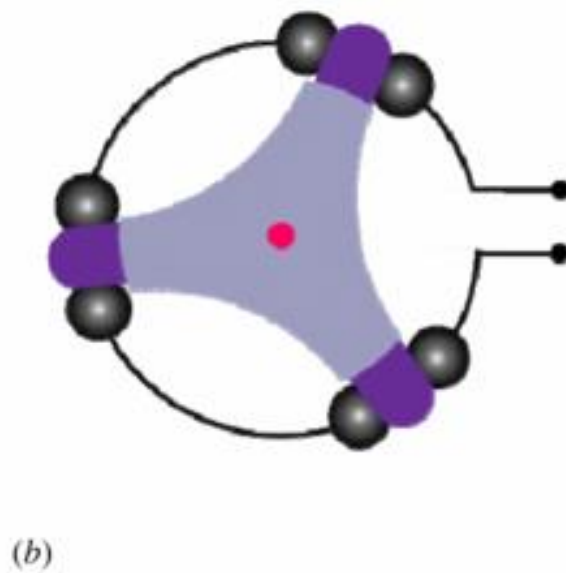
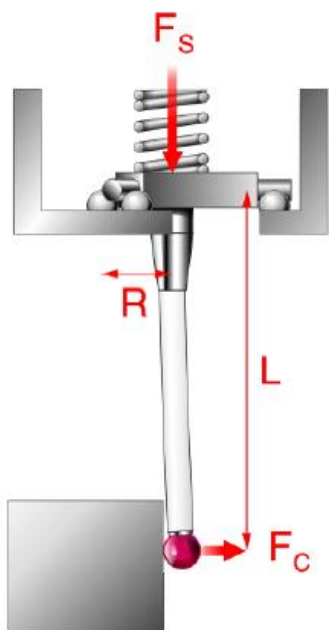
- Ove merne sonde se nazivaju i „okidačke“ (eng. trigger) zato što generišu električni signal kada dođu u fizički kontakt sa mernim predmetom.
- Ovaj signal se koristi za zaustavljanje svih kretanja mašine i snimanje koordinata centra vrha mernog pipka od strane mernog sistema KMM.
- Kontaktne merne sonde za merenje na principu „tačka po tačka“ mogu se podeliti u sledeće kategorije prema vrsti senzora:



Merne sonde sa elektromehaničkim senzorom

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.



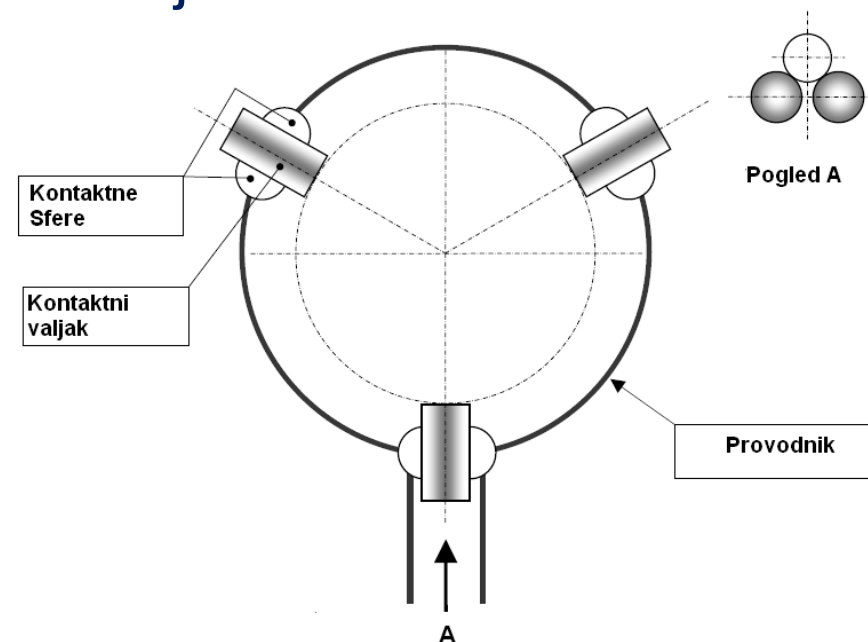
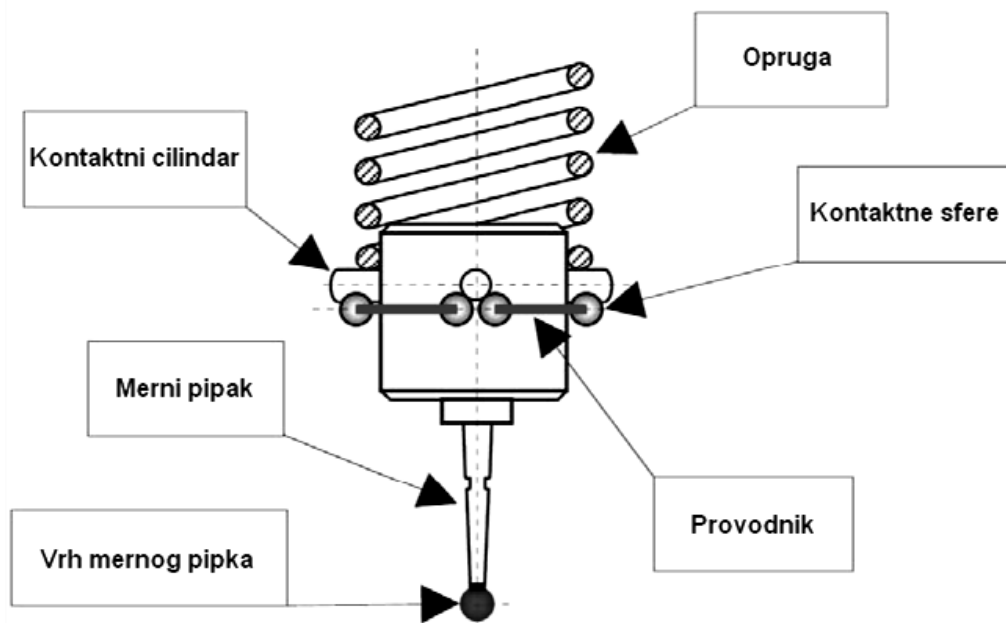
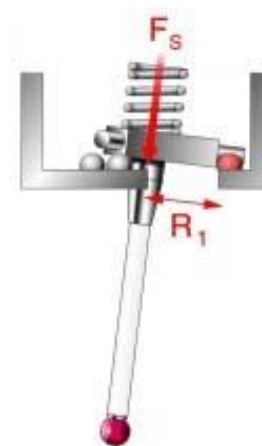
Merne sonde sa elektromehaničkim senzorom

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

Tri kontakta obrazuju trotačkasti ležaj, 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.



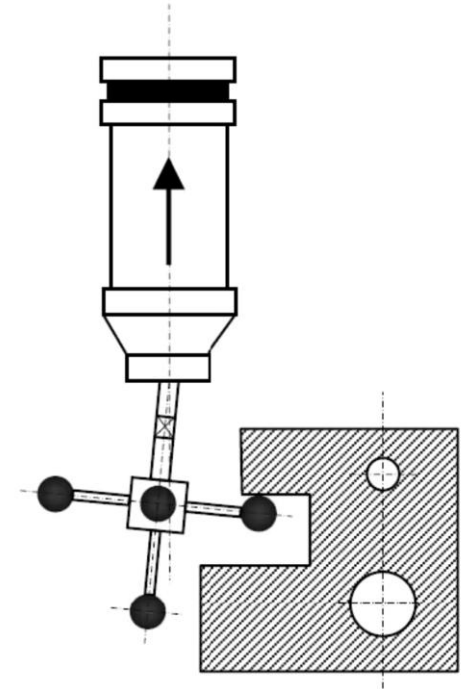
Merne sonde sa elektromehaničkim senzorom

Merne sonde sa elektromehaničkim senzorom 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



Šestosmerna merna sonda sa elektromehaničkim senzorom



How a touch-trigger probe works

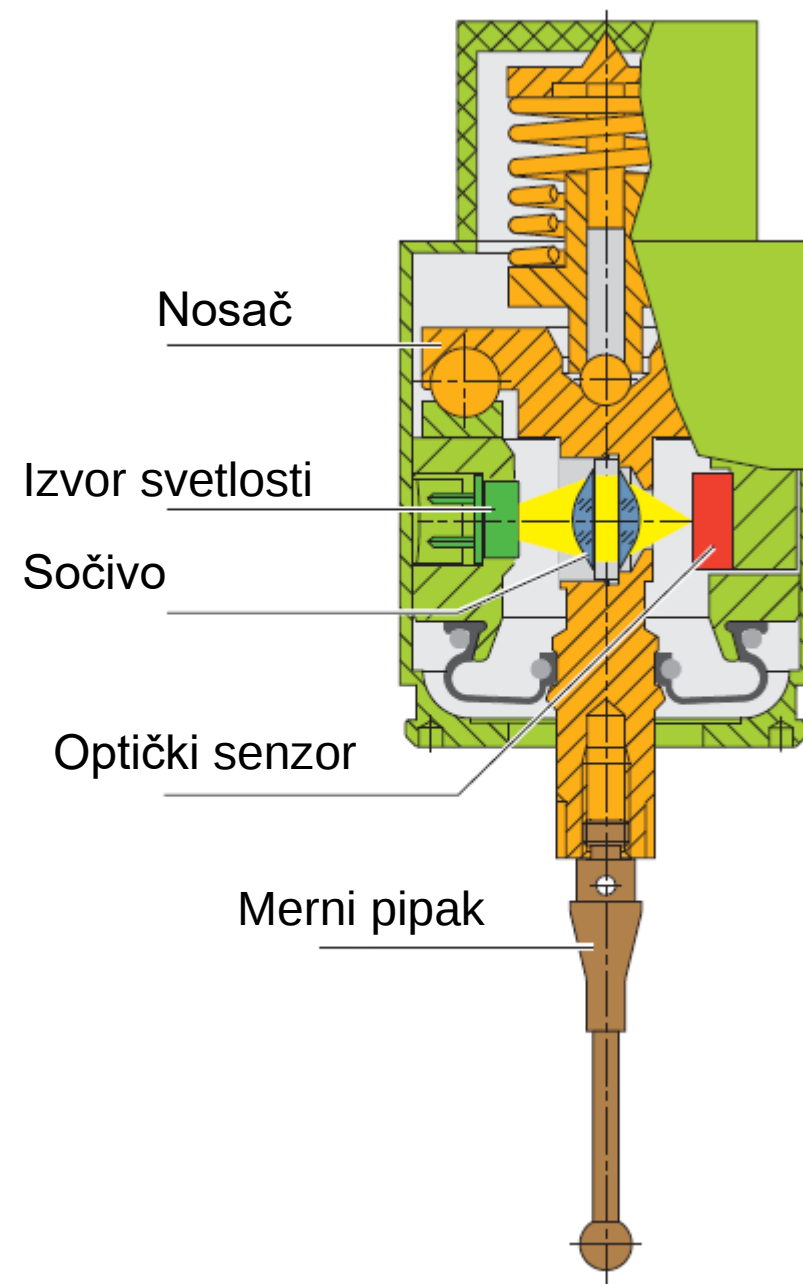
RENISHAW 

Merne sonde sa optomehaničkim senzorom

Ove merne sonde rade sa optičkim prekidačem kao senzorom. Sistem sočiva kolimira svetlost generisanu iz LED diode (izvora svetlosti) i fokusira je na diferencijalnu fotoćeliju (optički senzor).

Kada se pomeri merni pipak usled kontakta sa mernim predmetom, diferencijalna fotoćelija proizvodi okidački signal. Sa svojim beskontaktnim optičkim prekidačem, senzor radi bez habanja kako bi garantovao dugoročnu stabilnost.

Merni pipak je kruto povezan sa pločom nosača integrisanom u kućište sonde na trotačkastom ležaju. Trotačkasti ležaj obezbeđuje fizički idealan položaj mirovanja.



Merne sonde sa induktivnim senzorom

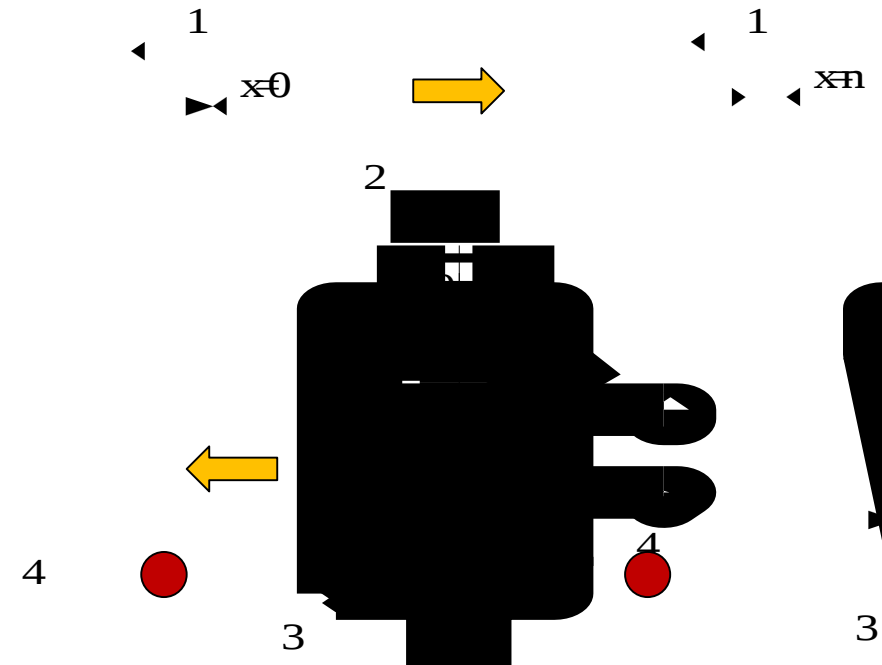
Kod većine proizvođača KMM merne sonde se izvode sa induktivnim senzorom.

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)

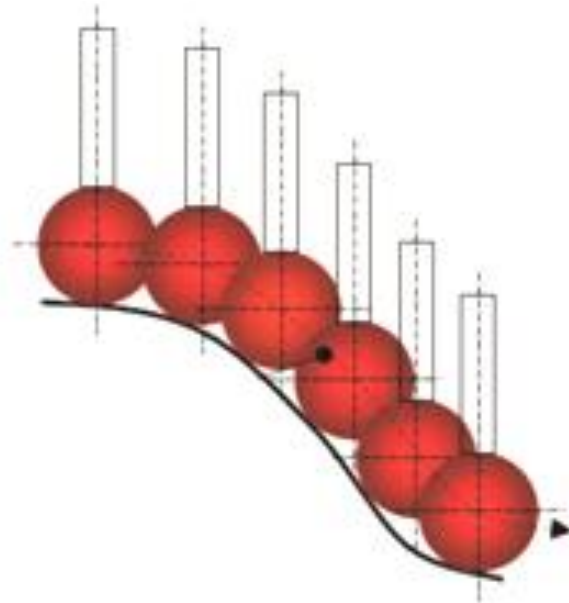


Merne sonde sa induktivnim senzorom

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

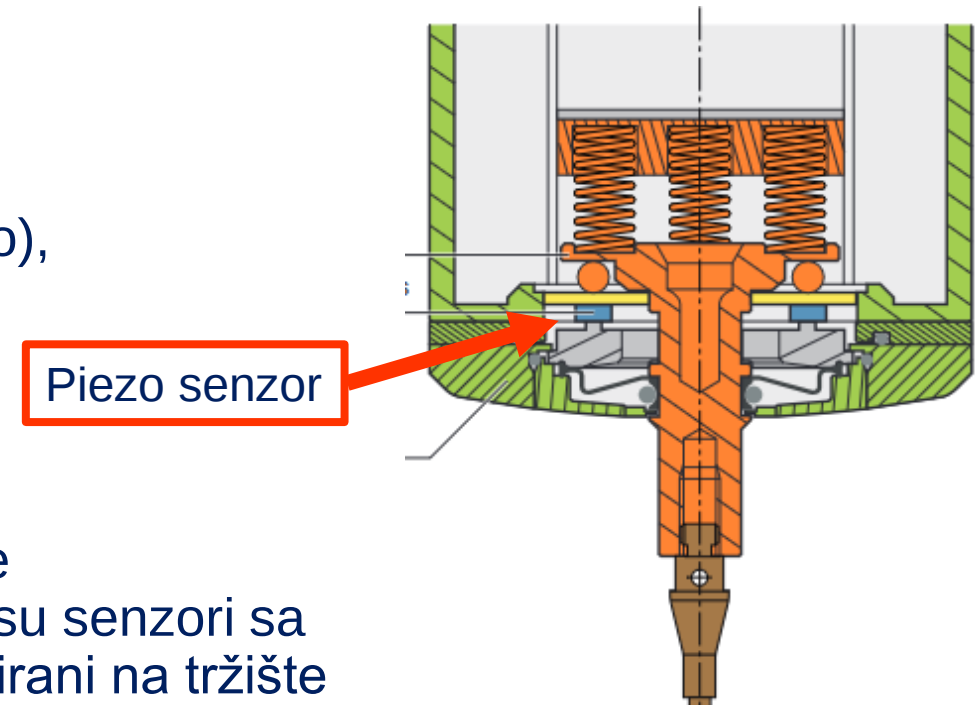
Piezoelektricitet (od grčke reči „piezin“ = pritiskati) je fenomen (koji su otkrili Pjer i Džek Kiri 1880. godine) da je električni potencijal prisutan u određenim oblicima kristala kada su izloženi mehaničkom dejstvu.

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

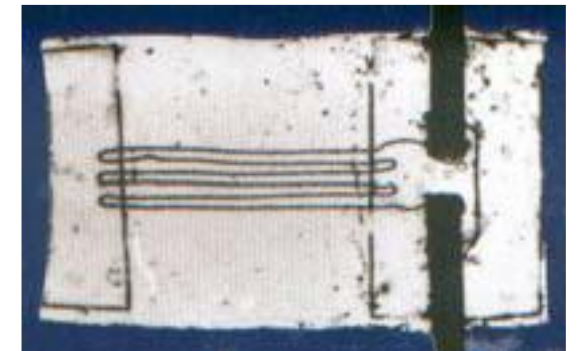
Ove merne sonde imaju mogućnost merenja sile kontakta pipka i predmeta u tri pravca.

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

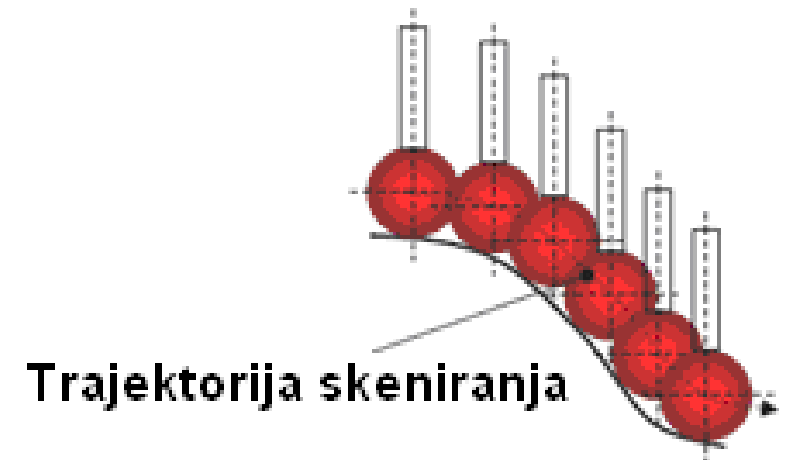
Kontinualne kontaktne merne sonde su mnogo godina predstavljale najsofisticiraniji oblik sonde korišćenih na koordinatnim mernim mašinama.

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.

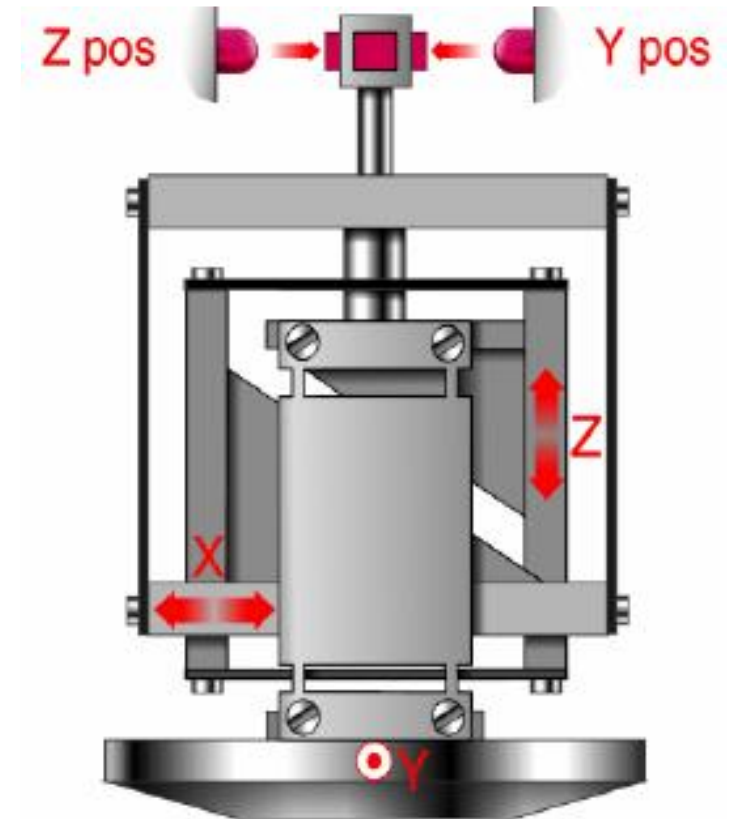
Najčešći mehanizam je zasnovan na tri para opruga, postavljenih u vidu paralelograma.

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.

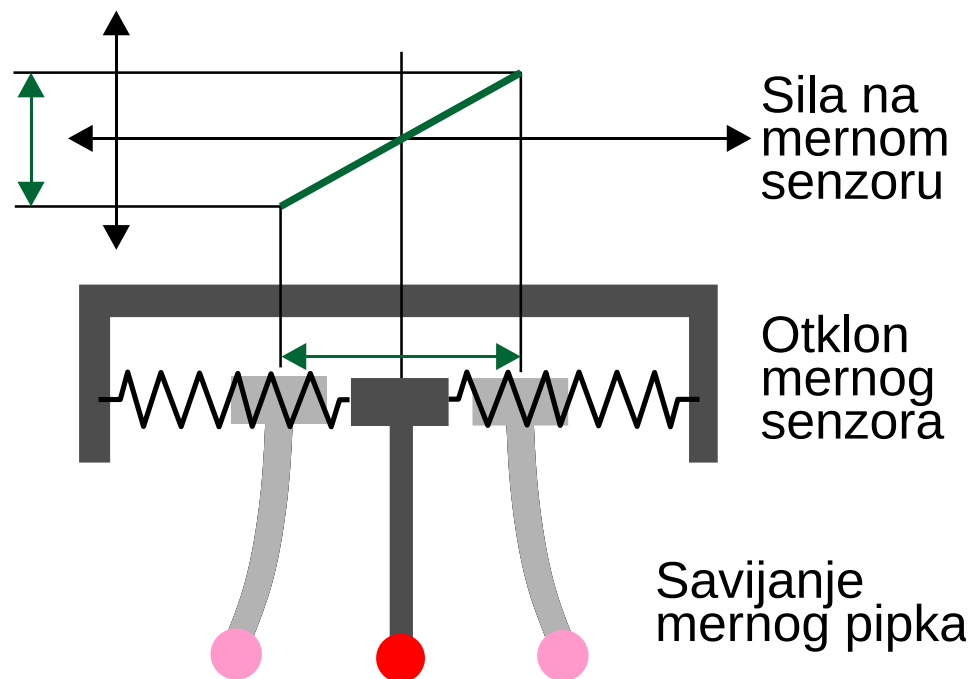
Pasivne merne sonde je moguće pričvrstiti na zglobni držač, tako da je moguće postići bilo koji položaj u prostoru uz izuzetnu ponovljivost.

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



Pasivne kontinualne kontaktne merne sonde

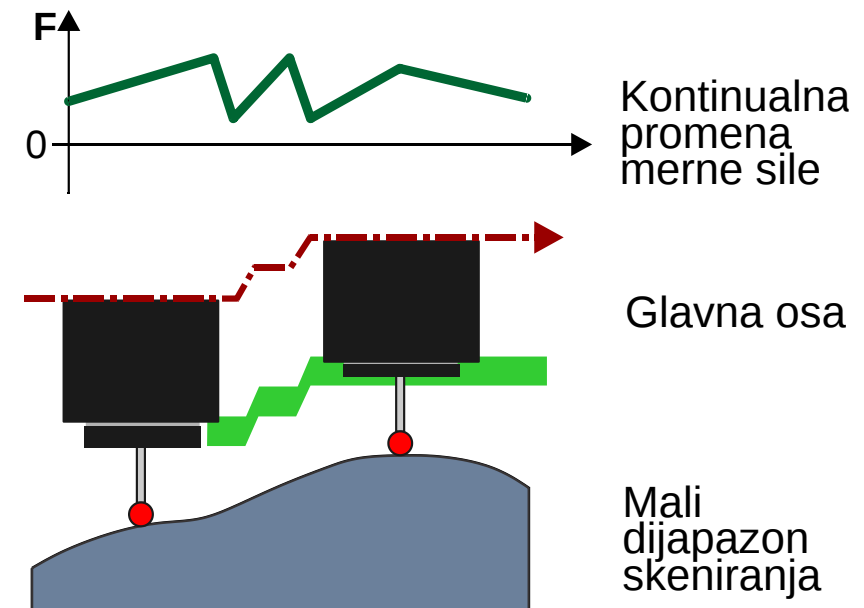
Opruge kod pasivnih mernih sondi imaju ulogu da zadrže pipak u neutralnom položaju, dok se otklon mernog pipka (koji se javlja kao posledica promene oblika konture površine koja se skenira) meri pomoću mernih traka.



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



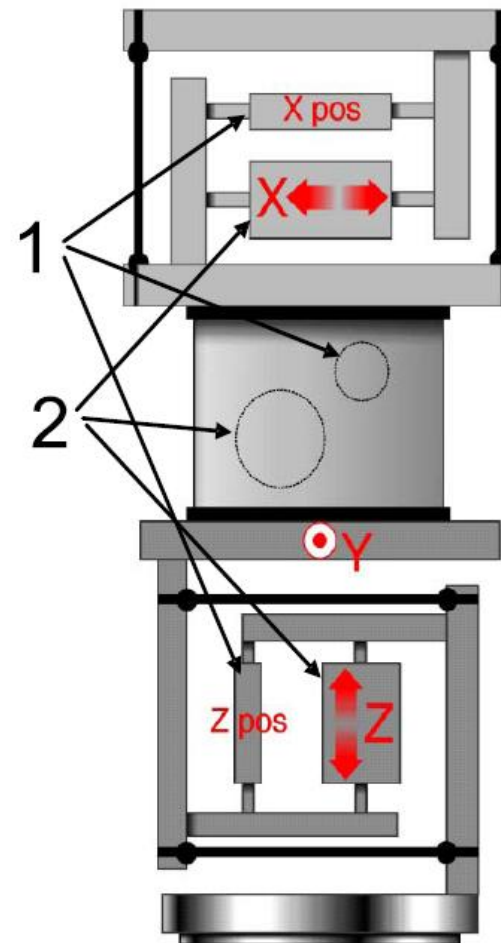
Aktivne kontinualne kontaktne merne sonde

Aktivne sonde praktično predstavlja KMM unutar KMM.

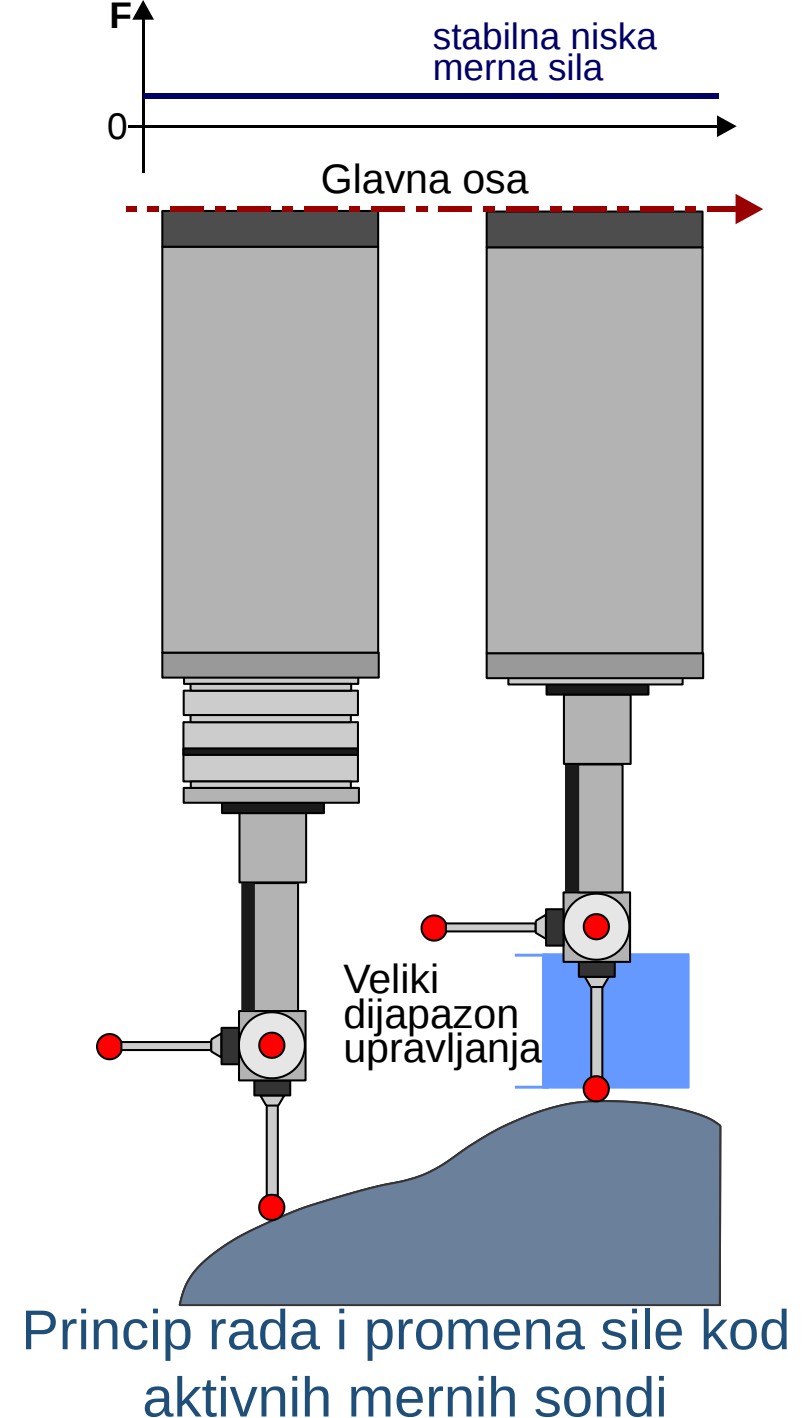
Sadrži **merni sistem (1)**, **pogonski sistem (2)** i **noseću strukturu**.

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.

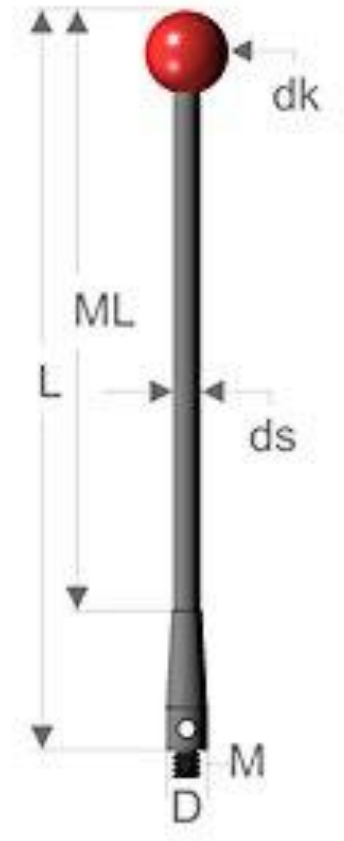
Telo mernog pipaka

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 merne sonde

