

2

Osnove proizvodnih mjerenja

1. Uvod
2. SI jedinice u proizvodnim mjerenjima
3. Definicije i pojmovi u proizvodnim mjerenjima
4. Ispitivanje, mjerenje i kontrola

1. Uvod

Proizvodna mjerenja su zastupljena kako u proizvodnji običnih svakodnevnih proizvoda široke potrošnje tako i proizvoda visokog nivoa obrade, pojedinačno napravljenih za specijalne namjene, proizvoda koji su rezultat razvoja i primjene visokih tehnologija. Shodno proizvodu i procesu proizvodnje koriste se i odgovarajuća mjerna i kontrolna sredstva. Današnja proizvodna mjerenja odnose se na:

- Jedno, dvo i trokoordinatna mjerenja koja se vrše različitim mjernim sredstvima. Ona posljednja nazivaju se češće mjerenja na koordinatnoj mjernoj mašini (CMM),
- Mjerenja oblika i površina radnih komada,
- Mjerenja zupčanika
- Mjerenje i kontrola površina korištenjem raznih sredstava uključujući i nanotehnologije,
- Geometrijska mjerenja koja se koriste za medicinske potrebe.

Sva mjerenja u proizvodnji koja se vrše u navedenim oblastima doživjela su napredak jer su se promijenili uslovi i kriteriji koje moraju zadovoljavati proizvodi. Stalno sužavanje tolerancija diktiralo je i sasvim nove konstrukcije mjernih i kontrolnih uređaja i instrumenata, kao i način njihove primjene.

Zbog svega toga je potrebno znati planirati, konstruirati, koristiti i upravljati mjernim instrumentima, etalonima, artefaktima, pristrojima itd. Moraju se poznavati metode, fizički principi rada, eventualne greške, njihova veličina i način kako se mogu izbjeći. Važan dio mjernih uređaja i mjernih instrumenata

su software-i koji sve veći broj uređaja i mjernih instrumenata ima kao neophodan sastavni dio.



Slika 2.1. Područja proizvodnih mjerenja

Osim toga potrebno je znati izmjeriti dimenzije velikih radnih komada, kao i onih izuzetno malih dimenzija, ali i komada - proizvoda složene geometrije i različitih kvaliteta površine.

Materijali koji se koriste za izradu komada su različiti i često diktiraju metode i uređaje za ispitivanje proizvoda izrađenih od takvih materijala. To se posebno odnosi na proizvode od fleksibilnih ili prozirnih materijala.

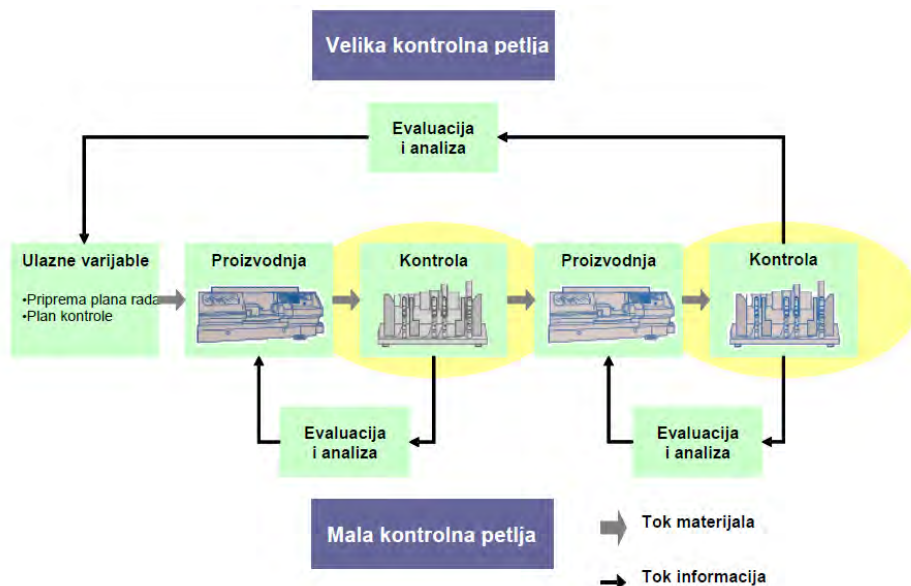
Znanje iz oblasti mjerenja je resurs koji je osnova za sva mjerenja. Da bi se mogla vršiti mjerenja u proizvodnji mora postojati kompetentnost u poznavanju slijedećeg:

- **Instrumenta** za proizvodna mjerenja ali i za dinamička mjerenja u toku vršenja proizvodnje što sve utiče na mjerni komad
- **Etalona i artefakata**, upravljanja i održavanja i umjeravanja prema propisima koji sve više postaju odrednice međunarodnog karaktera i bez kojih sve ostaje posao tržišno ograničen na uski nacionalni prostor.
- **Software-a i algoritama** koji su dio mjernih uređaja i podliježu promjenama, usavršavanjima, imaju ograničenja ili su predviđeni za specijalne namjene. Danas se i uticaj software-a uzima kao važan izvor koji utiče na tačnost rezultata mjerenja.
- **Mjerne strategije** u proizvodnim mjerenjima sve više su prisutne u planiranju i vršenju mjerenja jer utiču na krajnji rezultat mjerenja i cijene proizvoda.

- **Radni komadi ili mjerni objekti** su predmet mjerenja i sva proizvodna mjerenja podrazumijevaju da se sve u vezi proizvoda mora znati ukoliko se želi kvalitetno pristupiti mjerenju.

Proizvodnim mjerenjima prethode faza konstruiranja i planiranja u kojima se vrše mjerenja, materijal koji ulazi u proces se mjeri i kontrolira, proizvodni proces se automatizira, proizvod se ispituje nakon izrade, a u svemu tome metrologija je direktno povezana sa proizvodnim procesom, proizvodom, ispitivanjem proizvoda, kontrolom procesa i analizama. Na slici 2.2. prikazana je povezanost ulaznih parametara u proizvodni proces, proizvodnje, ispitivanja i kontrole u procesu proizvodnje i analize dobivenih rezultata unutar automatskog procesa.

Ovakav pristup integrisanih aktivnosti predstavlja mjerenje na proizvodnoj liniji i ima niz prednosti.



Slika 2.2. Veza proizvodnje, kontrole, automatizacije, proizvoda i metrologije

2. SI jedinice u proizvodnim mjerenjima

U proizvodnim mjerenjima mjere se prije svega geometrijske karakteristike proizvoda i stanje kvaliteta površina. Zato će se samo i pomenuti definicije jedinica za dužinu i ugao. Prema definiciji:

Jedinica za dužinu je metar. Metar je dužina puta koju u vakuumu napravi svjetlost u vremenu $1/299\,792\,458$ sekunde.

Jedinica za dužinu je utjelovljena u različitim mjerilima, koja se koriste za namjene mjerenja dimenzija vrlo različitih vrijednosti i sa različitom mjernom nesigurnosti. Jedinicu mjere utjelovljuju i etaloni.

Definicija metra može se realizirati na dva različita načina kako bi se i praktično moglo vršiti mjerenje dužina:

1. Vrijeme „leta“ (time of flight).

Pulsirajuća svjetlost se prostire preko dužine koja se mjeri. Vrijeme koje je potrebno da svjetlost pređe tu distancu se množi sa brzinom svjetlosti, $299\,792\,458\text{ m/s}$, i izračuna se dužina u metrima. Pošto se svjetlost brzo širi ovaj metod je najlakši za primjenu prilikom mjerenja dugih rastojanja. Prilikom mjerenja treba uzeti u obzir gravitacione efekte kada se koristi za mjerenje svemirskih rastojanja.

2. Interferencijski

Tehnike interferencije omogućavaju da se mjeri dužina u dijelovima talasne dužine svjetlosti. Koristeći svjetlosni izvor poznate i stabilne talasne dužine svjetlosti, mogu se direktno mjeriti dužine iznad 100m sa tačnošću do jednog milijarditog dijela (part in a thousand milion).

2.1. Etaloni

Etaloni su materijalizovane mjere, mjerila ili mjerni sistemi koji su namijenjeni da se definira, ostvari, čuva i reproducira jedna ili više vrijednosti jedne veličine da bi služila kao referentna vrijednost.

Etalon metar je definiran kao dužina puta u vakuumu koju pređe svjetlost tokom vremenskog perioda od $1/299\,792\,458$ sekunde. Metar se ostvaruje-izvodi na primarnom nivou preko talasne dužine jodom stabiliziranog helijum-neonskog lasera. Na nižim nivoima, upotrebljavaju se materijalne mjere kao plan-paralelne mjerke, a sljedivost se obezbjeđuje primjenom optičke interferometrije radi određivanja dužine planparalelnih mjera u odnosu na gore pomenutu talasnu dužinu laserske svjetlosti.

Etaloni za dužinu mogu biti:

- primarni,
- državni-nacionalni,
- referentni,
- industrijski,

Primarni etalon je određen ili priznat da ima najviše mjeriteljske osobine i čija je vrijednost prihvaćena bez obzira na druge etalone za istu veličinu. Na slici 2.4 su prikazani etaloni za dužine onako kako su se razvijali u toku vremena.

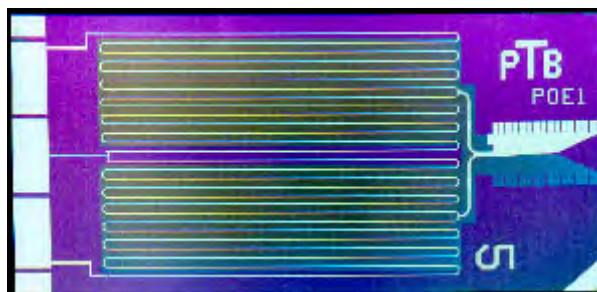
Najstariji je prototip metra iz 1889. godine koji je muzejski eksponat. Na bazi novih tehnologija i naučnih otkrića napravljeni su etaloni dužine prikazani na slikama, 2.5, 2.6 i 2.7. Složenost etalona za dužinu u NIST-u, Nacionalnom američkom institutu za tehnologiju prikazana je na slici 2.8.



Slika 2.4. Prototip metra iz 1889. godine



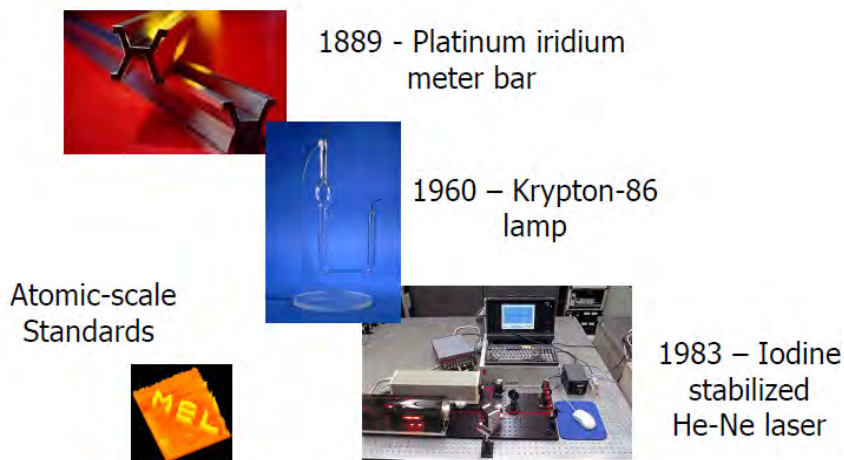
Slika 2.5. Kriogeni radiometar



Slika 2.6. 10V Josephson chip



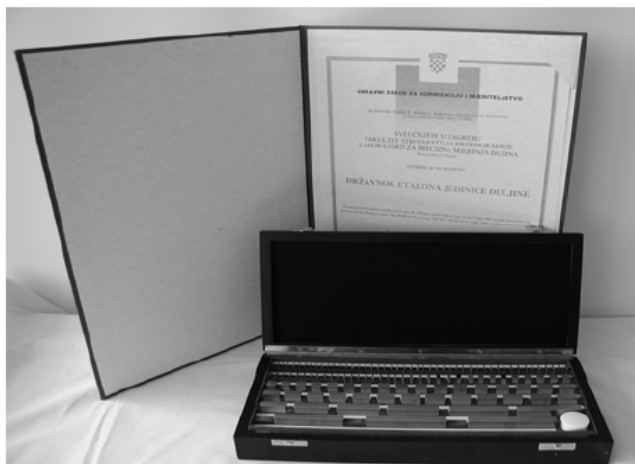
Slika 2.7. Josephson standard za napon



Slika 2.8. NIST laserski interferometar

Državni (nacionalni) etalon za dužinu priznat je službenom odlukom državnog organa da se koristi kao osnovni etalon kod utvrđivanja vrijednosti svih drugih etalona dužine.

Referentni etalon je najvišeg mjeriteljskog nivoa za dužinu na određenom mjestu ili u određenoj organizaciji.

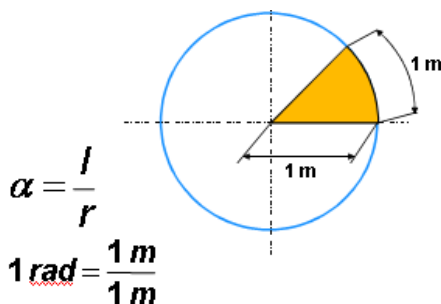


Slika 2.9. Državni etalon Hrvatske, granične mjerke

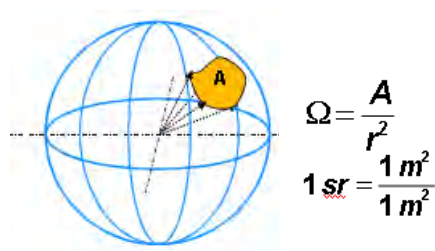
Definicije dopunskih jedinica SI:

Ugao (u ravni): Jedinica ugla u ravni je radijan. Radian je ugao između dva poluprečnika koji na krugu isijecaju luk dužine jednake poluprečniku ($1 \text{ rad} = 1\text{m}/1\text{m}$).

Prostorni ugao: Jedinica prostornog ugla je steradian. Steradian je ugao kupe sa vrhom u sredini kugle, koja na površini kugle omeđuje površinu jednaku površini kvadrata određenog poluprečnikom kugle ($1 \text{ sr} = 1\text{m}^2/\text{m}^2$).



Slika 2.10. Definicija radijana



Slika 2.11. Definicija steradiana

3. Definicije i pojmovi u proizvodnim mjerenjima

Globalna ekonomija zahtijeva od svih zemalja koje učestvuju u razmjeni roba da međusobno jasno i nedvosmisleno komuniciraju i bez dilema koriste tehničke termine.

Precizne definicije termina i pojmova koji se koriste u proizvodnim mjerenjima date su u slijedećim dokumentima, ali i nekim drugim. Ovdje su navedeni samo neki od dokumenata koji su međunarodno prihvaćeni.

- VIM (International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology), Međunarodni rječnik osnovnih i općih pojmova u metrologiji.
- ISO 3534-1, (Statistics – Vocabulary and symbols Part 1) Statistika - rječnik i simboli, Prvi dio. (Probability and general statistics terms), Vjerovatnoća i opći statistički pojmovi.
- ISO 5725, Accuracy (trueness and precision) of measurement, methods and results, Tačnost (istinitost i preciznost) mjerenja, metode i rezultati
- ISO 8402, Quality management and quality assurance – Vocabulary, Upravljanje kvalitetom i osiguranje kvaliteta, Rječnik.
- ISO 10012, (Quality assurance requirement for measuring equipment: Part 1). Zhtjevi za osiguranje kvaliteta za mjernu opremu: Prvi dio. (Metrological confirmation system for measuring equipment). Sistem za metrološko potvrđivanje mjerne opreme.
- EN 45020, (General terms and their definitions concerning standardization and related activities). Opći pojmovi i njihove definicije prema standardima i pratećim aktivnostima.

Postoji čitav niz termina koji se koriste u proizvodnim mjerenjima tačno definiranih u VIM-u, u kome su date definicije svih termina metrologije koji se koriste u međunarodnim relacijama. To je potrebno kako bi se izbjegla zabuna prilikom mjerenja i uspostavljanja pisane dokumentacije u međulaboratorijskim i uopšte međunarodnim relacijama. Za sve pojmove vezane za metrologiju čitalac se upućuje na VIM.

Pojmovi u dimenzionalnoj metrologiji:

Mjerena veličina je svaka veličina koja se mjeri.

Mjerena vrijednost je vrijednost mjerene veličine koja se utvrđuje mjernim instrumentom ili mjernim sistemom:

Mjerena vrijednost = istinita vrijednost + jedinica mjere; npr. 22,35 mm.

Rezultat mjerenja je vrijednost kojom je određena mjerena veličina, a dobije se mjerenjem.

$L = (50 \pm 0,02) \text{ mm.}$

Rezultat mjerenja je vrijednost dobivena mjerenjem. Iskazivanjem mjernog rezultata treba jasno naznačiti odnosi li se na:

- neispravljeni rezultat,
- ispravljeni rezultat,
- prosjek više vrijednosti.

- Potpuna mjeriteljska informacija (iskazivanje rezultata mjerenja) uključuje i podatke o mjernoj nesigurnosti.

Neispravljeni rezultat je mjerni rezultat prije ispravljanja sistemske greške.

Ispravljeni rezultat je mjerni rezultat nakon ispravljanja sistemske greške.

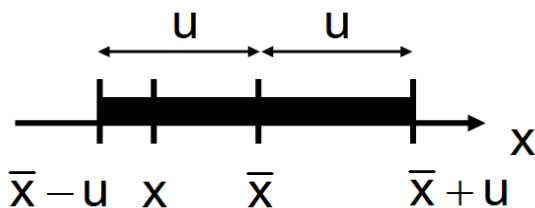
Odstupanje je vrijednost minus njezina referentna vrijednost.

Korekcija (ispravak) je vrijednost manje njezina referentna vrijednost (korekcija je jednaka negativnoj vrijednosti procijenjene sistemske greške).

Korekcionni faktor je brojčani faktor kojim se množi mjerni rezultat da bi se nadoknadila sistemska greška.

Greška mjerenja je razlika izmjerene vrijednosti mjerene veličine i istinite vrijednosti mjerene veličine.

Nesigurnost mjerenja je parametar pridružen rezultatu mjerenja koji pokazuje rasipanje vrijednosti koje se mogu pridružiti mjerenoj veličini. Npr. unutar dogovorenog intervala se očekuje da leži izmjerena vrijednost mjerene veličine



Slika 2.12. Nesigurnost mjerenja

Istinita vrijednost je ona vrijednost koja je karakteristika neke veličine, a nekada je prihvaćana konvencijom. Nesigurnost istinite vrijednosti odgovara datoj namjeni rezultata mjerenja.

Maksimalna dozvoljena greška je maksimalna vrijednost greške, dozvoljene prema specifikaciji za dati mjerni instrument.

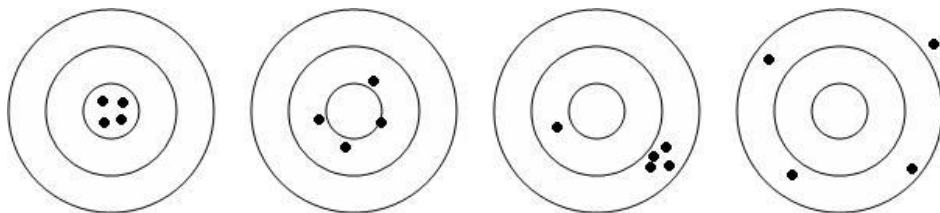
Tačnost (accuracy) je definirana standardom ISO 5725. Bliskost rezultata ispitivanja i usvojene referentne vrijednosti.

Ovdje treba razlikovati preciznost (precision) i istinitost (trueness).

Preciznost (ISO 5725) je bliskost između rezultata nezavisnih ispitivanja dobivenih pod određenim uslovima. Razlika između tačnosti i preciznosti može se pokazati na primjeru streljačkih meta (slika 2.13).

Na slici 2.13 su prikazane četiri mete. Na prvoj slici a) su četiri pogotka u centar (tačno) i rezultati su blizu (precizno). Na slici b) su rezultati tačni (blizu centra) i neprecizni (rastureni i nisu bliski). Na slici c) su rezultati netačni (daleko od

postavljenog cilja, ali precizni (bliski). Na slici d) su rezultati netačni (daleko od utvrđene referentne vrijednosti – cilja) i neprecizni (rasuti).



a) tačno i precizno

b) tačno i
nepreciznoc) netačno i
preciznod) netačno i
neprecizno

Slika 2.13. Tačnost i preciznost

Nazivno područje je područje pokazivanja koje se obično izražava svojom donjom i gornjom granicom.

Raspon je apsolutna vrijednost razlike između dviju granica nazivnog područja.

Nazivna vrijednost je zaokružena približna vrijednost karakteristike mjerila koja služi kao uputa za njegovu upotrebu (paralelna granična mjerka 100 mm).

Mjerno područje je skup vrijednosti mjerenih veličina za koje se greška mjerila mora nalaziti unutar navedenih granica.

Granični uslovi su krajnji uslovi koje mjerilo mora izdržati bez oštećenja i bez gubljenja mjeriteljskih osobina u radu pod određenim radnim uslovima.

Prag osjetljivosti je najveća promjena (spora i jednolična) poticaja koja ne izaziva zamjetnu promjenu odziva.

Istinitost (trueness) (ISO 5725) je bliskost između srednje vrijednosti dobivene za veliku seriju rezultata ispitivanja i usvojene referentne vrijednosti.

Područje neosjetljivosti je najveći raspon u kojem se poticaj može promijeniti u oba smjera, a da ne izazove promjenu odziva mjerila.

Stabilnost je sposobnost mjerila da održava svoje mjeriteljske karakteristike stalnim u vremenu.

Slabljenje mjeriteljskih karakteristika (drift) je spora promjena mjeriteljskih karakteristika mjerila.

Razred tačnosti je razred mjerila koja zadovoljavaju zahtjeve kojima je svrha održavanje grešaka u navedenim granicama.

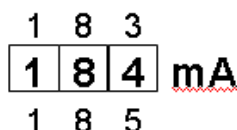
Greška (pokazivanja) mjerila je pokazivanje mjerila manje istinita (referencijska) vrijednost odgovarajuće ulazne veličine.

Greška mjernog instrumenta je karakteristika mjernog instrumenta. Svaki instrument ima svoju grešku.

Granična greška je krajnja vrijednost greške dopuštene specifikacijama, propisima itd. za određeno mjerilo.

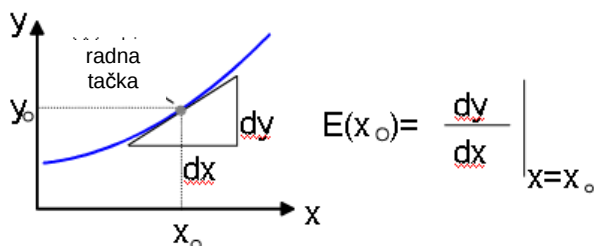
Rezolucija (DIN 1319-1, 1995.) je najveća razlika koja se može zabilježiti između dvije indikacije na sredstvu za pokazivanje takvog mjernog instrumenta. Rezolucija može biti kvantitativna karakteristika mjernog instrumenta.

Rezolucija (VIM, 1994.), je najmanja razlika između pokazivanja na sredstvu za pokazivanje.



Slika 2.14. Rezolucija

Osjetljivost (DIN 1319-1, 1995): Promjena odgovora-izlaznog rezultata ili signala mjernog sredstva podijeljena sa odgovarajućom pobudom-ulaznom mjerenom veličinom. Ako je osjetljivost instrumenta zavisna od veličine pobude, to se za svaku pobudu daje i osjetljivost.



Slika 2.15. Osjetljivost

Opit je tehnička operacija koja se sastoji od utvrđivanja jedne ili više karakteristika datog proizvoda, procesa ili usluge u skladu sa specificiranim postupkom.

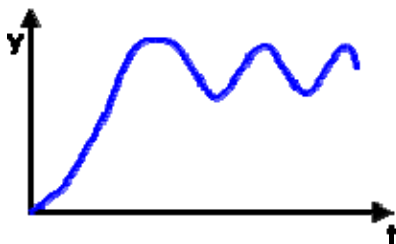
3.1. Termini koji se koriste u tehnici mjernih signala

Mjerni signal je veličina koja predstavlja mjerenu veličinu i funkcionalno je sa njom povezana (VIM, 1994.). Veličina dobivena pomoću mjernog instrumenta ili sistema koja ima osobine mjerne veličine (DIN 1319-1/1995).

Signal predstavlja informaciju. Predstavljanje se vrši pomoću vrijednosti ili distribucije vrijednosti fizičke veličine

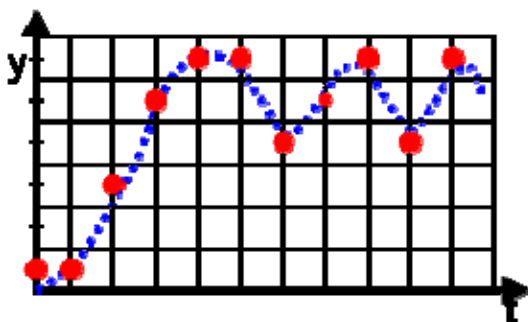
Parametar signala je karakteristika signala koji nosi informaciju.

Analogni signal je signal koji je kontinuiran prikaz vrijednosti mjerenog parametra i u svakoj tački ima drugu vrijednost, slika 2.16.



Slika 2.16. Analogni signal

Digitalni signal je signal sa konačnim brojem vrijednosti mjerenog parametra gdje je svaka vrijednost konačna informacija, slika 2.17.



Slika 2.17. Digitalni signal

Kalibracija je skup operacija koje imaju za cilj uspostavljanje, pod određenim uslovima, veza između veličina koje se očitavaju na indikatoru instrumenta i odgovarajuće vrijednosti etalona. Rezultat kalibracije može se dati u vidu dokumenta npr. certifikata kalibracije. Rezultat se može izraziti kao korekcija izvršena u odnosu na pokazivanje instrumenta.

Kalibracija ne znači da instrument radi u skladu sa njegovom specifikacijom. Osnovni koncept osiguranja kvaliteta je kalibracija mjernih instrumenata. Kalibrirati mjerni instrument znači odrediti koliko je odstupanje, odnosno greška očitavanja na instrumentu u odnosu na etalon za kojim se upoređuje. Kalibracija obično ne znači poboljšanje. Ona samo daje informaciju o grešci opreme u odnosu na prihvaćenu referentnu vrijednost koju mjerni instrument (sredstvo) treba da ima.

Posljedica kalibracije je odluka koju donosi korisnik mjerne opreme koji odlučuje da li je oprema dovoljno dobra da se sa njom mogu vršiti sigurna mjerenja.

Sistem kvaliteta zahtijeva da se vrši kalibracija mjernih sredstava u odnosu na etalone čija je tačnost veća od tačnosti opreme koja se kalibrira. Postupak kalibracije izvodi se po određenoj proceduri i uz korištenje izabranih metoda.

Kalibracijom, ukoliko se vrši u odnosu na odgovarajući etalon ostvaruje se sljedivost mjernog sredstva u odnosu na taj etalon. Kalibracija predstavlja osnovno sredstvo u obezbjeđenju sljedivosti mjerenja. Kalibracijom se određuju metrološke karakteristike mjernog uređaja.

Kalibracioni laboratoriji moraju imati program kalibracije opreme koja obezbjeđuje da su svi rezultati kalibracija i mjerenja koja laboratorij sprovodi sljedivi do SI jedinica i dati standardom BAS EN ISO /IEC 17025:2006.

Ispitni laboratoriji moraju imati program kalibracija opreme koja se koristi pri ispitivanju i za koju je ustanovljeno da je doprinos mjerne nesigurnosti te opreme u ukupnoj mjernoj nesigurnosti rezultata ispitivanja značajan, odnosno da se ne može zanemariti.

Međulaboratorijska poređenja se vrše između dvije ili više laboratorija. Organizacija, provedba i ocjena poređenja na istim ili sličnim primjerima u dvije ili više laboratorija vrši se u skladu sa unaprijed određenim uslovima.

Poređenje se vrši radi:

- validacije ispitnih metoda,
- certifikacije referentnih materijala i
- provjere osposobljenosti laboratorija.

Verifikacija mjerila ili referentnih materijala je niz postupaka kojima se utvrđuje da li mjerilo ili referentni materijal ispunjava propisane mjeriteljske zahtjeve.

Sljedivost

Industrija obezbjeđuje sljedivost na najvišem međunarodnom nivou. Za te svrhe koriste se akreditirane evropske laboratorije.

Sljedivost predstavlja neprekidan lanac poređenja kojim će se postići da mjerni rezultati budu sigurni ili da se postigne sljedivost etalona prema referentnom etalonu sve do onog etalona na najvišem nivou .Najviši nivo sljedivosti je primarni etalon odnosno definicija dužine, slika 2.18.

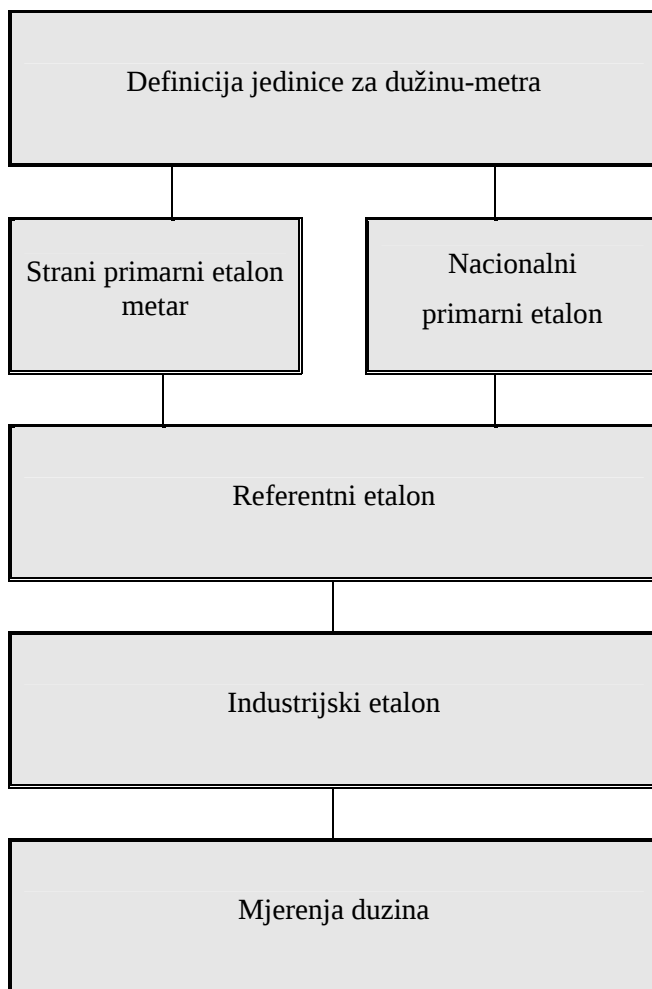
Lanac sljedivosti

BIMP

Međunarodni biro za
tegove i mjereNacionalni metrološki
institut ili imenovana
nacionalna laboratorijaAkreditovane
laboratorije

Preduzeća

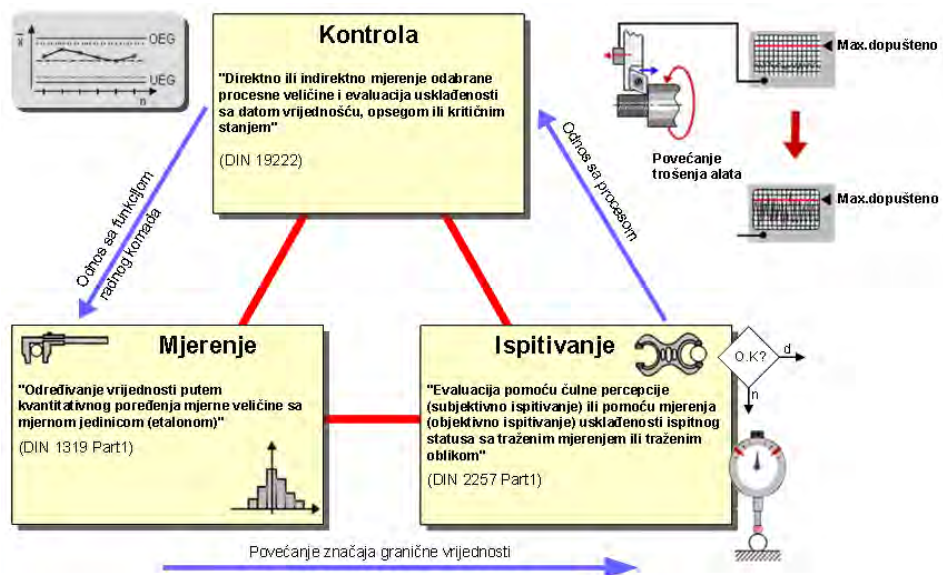
Krajnji korisnici



Slika 2.18. Metrološka infrastruktura za mjerenje dužine

4. Ispitivanje, mjerenje i kontrola

Često se miješaju značenja ovih pojmova. Iako se sva tri pojma odnose na procese kvalifikacije proizvoda i procesa, između njih postoje razlike. Na slici 2.19 su prikazane definicije sva tri pojma prema standardima.



Slika 2.19. Ispitivanje, mjerenje i kontrola

4.1. Ispitivanje

Sve što treba eksperimentalno provjeravati bez opreme ili uz korištenje bilo koje opreme, bilo mjerne ili kontrolne, može se nazvati ispitivanjem. Ispitivanje se, u principu, dijeli na subjektivno, objektivno i brojanje. U dimenzionalnoj metrologiji i proizvodnim mjerenjima vrše se ispitivanja

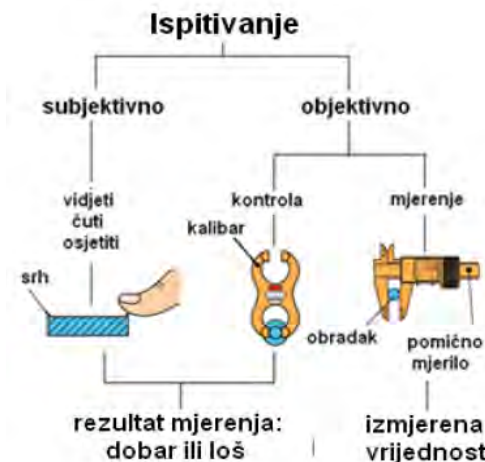
Subjektivno ispitivanje je zaključivanje o karakteristikama i pojavama na bazi osjećaja dodirnom, zvučnim efektima, čulom mirisa, okusa ili vizualno.

Brojanjem se utvrđuje ponovljivost neke pojave ili signala.

Objektivni postupci ispitivanja imaju dimenzionalnu karakteristiku i dijele se na mjerenje i kontrolu, slika 2.20.

4.2. Kontrola (DIN 1319, DIN 2257, DIN 19222, ISO 286-1)

Postupak kontrole spada u objektivne postupke ispitivanja. Razlikuje od mjerenja. Kontrolom se ne dobivaju brojčane vrijednosti kontroliranih veličina. Dobiva se samo informacija da li je neka dimenzija mjerenog objekta u granicama ili izvan granica postavljenih dimenzija i njihovih tolerancija. Rezultati kontrole, slika 2.20, pomažu u donošenju odluka u procesu proizvodnje da li je neki komad dobar, loš ili za doradu. Kontrolom se dobiva informacija o karakteru procesa kojim se izrađuje kontrolirani komad. Na osnovu rezultata kontrole zaključuje se o stabilnosti procesa ili potrebi korekcije upravljanja tehnološkim procesom.



Slika 2.20. Ispitivanje, mjerenje i kontrola

Kontrola se prema procesu proizvodnje može organizirati kao:

- Ulazna,
- Kontrola u toku proizvodnje,
- Međufazna,
- Međuoperacijska,
- Završna .

Ulaznom kontrolom ili predprocesnom se utvrđuje kvalitet ulaznih materijala u proces, adekvatnost pribora i alata, maziva i pomoćnih sredstava i sl. Ova vrsta kontrole može biti dogovorena i često je zadatak isporučioaca navedenih kontroliranih stvari.

Kontrola u toku proizvodnje je:

Međuoperacijska kontrola se vrši nakon jedne ili više operacije u proizvodnom procesu. Uključuje dimenzionalne kontrole i kontrole parametara procesa.

Međufazna kontrola proizvodnje se uspostavlja na granici dvije ili više faza tehnološke izrade proizvoda. To može biti termička obrada, dio montaže, mehanička obrada nakon livenja i sl.

Završna kontrola proizvodnje se vrši na kraju procesa proizvodnje i ima za cilj još jednu kontrolu nakon procesa tehnološke obrade.

Proces kontrole zahtijeva poznavanje tokova materijala, alata, pribora, dijelova koje isporučuju eksterni dobavljači, kao i drugih specifičnosti vezanih za određeni proizvodni proces. Osim toga treba znati raspored mašina, proizvodnih linija i faze izrade, transportne puteve, pakovanja i sve vezano za finalizaciju proizvoda prije isporuke.

Kontrola proizvoda može biti:

- 100% kontrola tj. kontrola svih proizvedenih komada,
- Kontrola uz korištenje statističkih alata,
- Kombinovane metode kontrole.
- Automatski procesi kontrole.

Izbor metode zavisi od niza faktora, a naročito od zahtjeva kupaca, osposobljenosti proizvođača, zahtijevanog nivoa kvaliteta proizvoda i sl.

100% kontrola je selektivna kontrola i primjenjuje se u pojedinačnoj proizvodnji, prema zahtjevu kupaca, za proizvode od posebnog značaja (auto industrija), za neponovljivu seriju proizvoda i sl.

Statistička kontrola se najviše primjenjuje u proizvodnji, čime se izbjegava završna kontrola. Prikazivanje rezultata kontrole vrši se pomoću kontrolnih karata. Postoje različite vrste kontrolnih karata:

- Kontrolne karte za praćenje mjernih veličina,
- Kontrolne karte za atributivnu kontrolu

Praćenje mjerenih veličina u procesu proizvodnje vrši se :

- Kartom mjera; $\bar{X}$ karta
- Kartom srednjih vrijednosti; $\bar{x}$ karta
- Kartom raspona mjera; R karta
- Kartom standardne devijacije; σ karta

Detaljnije o kontrolnim kartama dato je u tekstu četvrtog poglavlja. Kontrolom se identificiraju odstupanja kontrolirane veličine od dokumentacijom predviđene. Kontrola je provjera da li se kontrolirana veličina - dimenzija nalazi unutar propisanih granica tolerancije (gornje i donje).

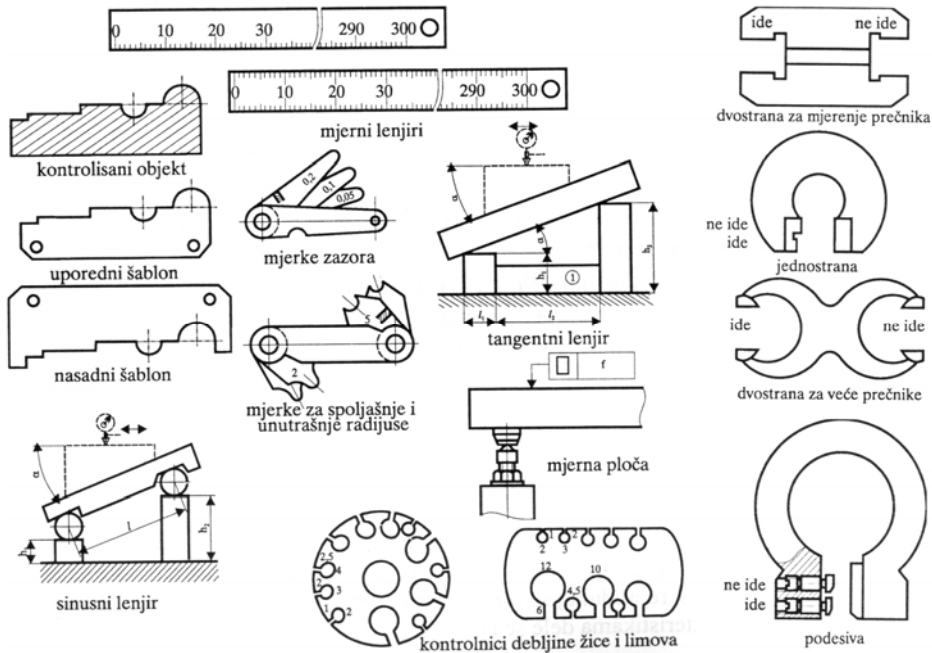
Vrijednost kontrolirane veličine se izražava zaključcima:

- mjerena veličina je u granicama tolerancije
- mjerena veličina je iznad gornje granice tolerancije,
- mjerena veličina je ispod donje granice tolerancije,

Kontrola se može podijeliti na :

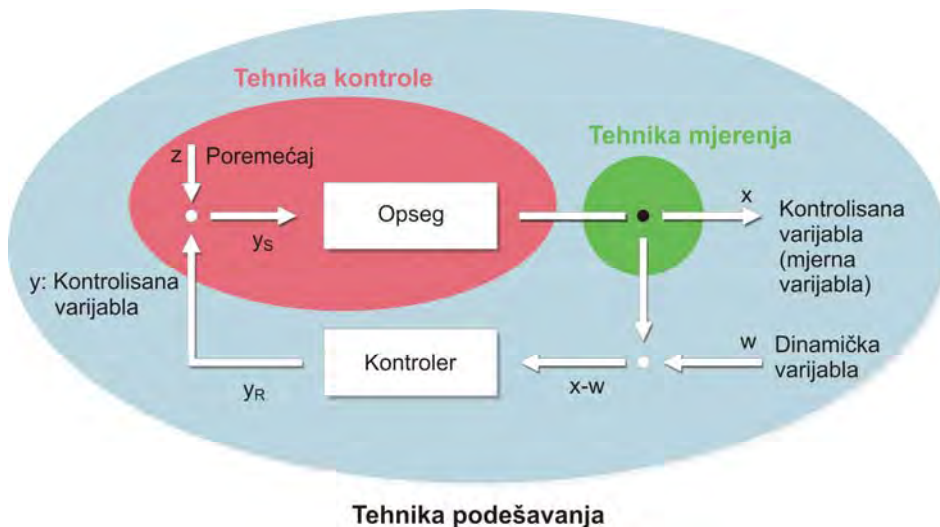
- aktivnu i
- pasivnu.

Kontrolna oprema može se koristiti u kontroli različitih aktivnosti u proizvodnji i održavanju i može bi sasvim jednostavna kao na slici 2.21.



Slika 2.21. Kontrolna oprema

Automatskom ili aktivnom kontrolom se osim utvrđivanja stanja kontrolirane veličine vrši i automatsko upravljanje tj. promjena parametara koji utiču na proces kako bi se proces odvijao prema propisanim parametrima, slika 2.22.



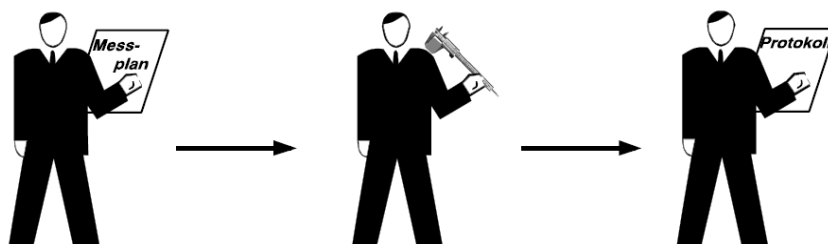
Slika 2.22. Automatska kontrola

Pasivna kontrola se izvodi nakon završene obrade dijelova ili izrade proizvoda. Rezultati pasivne kontrole nemaju uticaja na proces.

U procesu proizvodnje donose se odluke kada će se vršiti kontrola, a kada mjerenje. U principu, ako se radi o jednom mjernom komadu ili jednom parametru koji se mjeri na manje od 20 komada vrši se mjerenje. Ako je broj komada veći od 20 vrši se kontrola predviđenog parametra.

4.3. Mjerenje

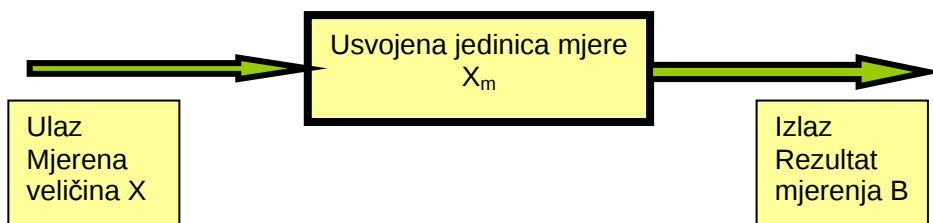
Mjerenje je skup operacija koje se vrše na objektu kako bi se odredile vrijednosti veličine koja se mjeri.



Slika 2.23. Plan mjerenja, mjerenje izvještaj o mjerenju

Mjera istinitosti rezultata mjerenja neke dimenzije se izražava u vidu greške. Greška je razlika između očekivanih rezultata ispitivanja i usvojene referentne vrijednosti.

U postupku izrade proizvoda ili odvijanja procesa vrše se mjerenja s ciljem da se dobiju karakteristike proizvoda ili procesa onakve kakve su nacrtane u dokumentaciji ili propisane za odvijanje procesa. Mjerenje se vrši u toku izrade proizvoda i da bi se provjerile tehničko-tehnološke mogućnosti sistema za izradu jednostavnih i složenih proizvoda. U klasičnom mjerenju vrši se uspoređivanje mjerene veličine X sa usvojenom jedinicom mjere (etalonom) X_m , slika 2.23.



Slika 2.24. Proces mjerenja

Mjerena veličina je B puta manja ili veća od usvojene jedinice (standarda) X_m .

$$X = B \cdot X_m$$

gdje su:

B – brojčana (numerička) vrijednost mjerene veličine

X_m – usvojena jedinica.

Proces mjerenja

U procesu mjerenja neke veličine izuzetno je važno provoditi mjerenje prema određenom redoslijedu.

1. Eksplicitno definiranje mjernog zadatka i mjerene veličine.

Mjerenja dimenzija ili karakteristika površina nekog mjernog komada tj. mjerni zadatak moraju biti tačno definirani.

2. Definiranje jedinice u SI sistemu u kojoj će se izraziti rezultati mjerenja

Prema Međunarodnoj metarskoj konvenciji iz 1875. definirano je sedam osnovnih jedinica i izvedene jedinice od čega je osnovna jedinica u dimenzionalnim mjerenjima metar.

3. Kombinacija graničnih uslova

Ograničenja ili granični uslovi mogu biti i u praksi i jesu vrlo različiti, kao karakteristike radnog komada (materijala, površina mjerenog komada) ili uslovi pri kojima se vrše mjerenja. Treba za svako konkretno mjerenje napraviti najbolju kombinaciju graničnih uslova kako bi rezultati bili pouzdani.

4. Izbor mjernog sistema ili mjernog instrumenta

Ako za mjerni zadatak postoji mjerni uređaj onda se taj koristi. Ukoliko ne postoji mjerni uređaj za planirana mjerenja tada treba definirati princip, metod i proceduru mjerenja a onda razviti mjerni sistem, kupiti ili konstruirati.

5. Kalibracija mjernog sistema ili instrumenta

Kalibracija je komponenta sljedivosti prema osnovnoj jedinici i obezbjeđuje tačnost mjerenja. Prije svakog mjerenja provjeriti mjerno sredstvo, a često se može izvršiti i kalibracija.

6. Vršenje mjerenja i određivanje rezultata

Prilikom mjerenja nekada je moguće vršiti više operacija mjerenja (radi ponovljivosti ili reproduciranja) zbog čega treba rezultate mjerenja registrirati.

7. Razmatranje uticaja na mjerenje

Poznato je da nema mjerenja bez greške pa treba one greške koje je moguće ukloniti. Nakon toga odrediti mjernu nesigurnost mjerenja.

8. Određivanje ukupnog rezultata mjerenja

Zajedno sa izmjerenom vrijednosti (srednja vrijednost mjerenja ili serije mjerenja), jedinicom i mjernom nesigurnošću dobije se stvarni rezultat mjerenja

9. Ocjena rezultata mjerenja ukoliko je to potrebno.

Mjerenje uključuje i ocjenu rezultata mjerenja.

Proces mjerenja u općem slučaju je složen proces, koji se provodi unutar i izvan proizvodnog procesa u toku i poslije izrade proizvoda. Mjerenje se mora provoditi prema redoslijedu koji ne treba da se zanemaruje i koji je dat u devet prethodno navedenih koraka. Radi toga se može vremenski posmatrano proces mjerenja podijeliti u nekoliko faza, bez obzira o kojem proizvodnom mjerenju se radilo, da li o preciznim ili mjerenjima u fabrici.

Mjerenje ima svoju tehnologiju i može posmatrati kroz nekoliko neizostavnih koraka bez obzira na prethodno navedeni cijeli postupak.

Faze svakog mjerenja su:

1. postavljanje zadataka i ciljeva mjerenja,
2. formiranje plana mjerenja (plan eksperimenta),
3. izvršenje mjerenja,
4. obrada rezultata mjerenja.

Mjerenjem se ukazuje na stanje tehnološkog procesa, proizvodnog i drugih sistema u cjelini. Postoje četiri osnovne faze u mjerenju. Sve aktivnosti mjerenja mogu se smjestiti u te četiri faze. Svako mjerenje je posao koji treba ozbiljno planirati, izvršiti planirane aktivnosti, a zatim stručno obraditi rezultate mjerenja zavisno od toga kakva su mjerenja vršena, koliko je mjerenja vršeno, sa kojim ciljem su vršena, koji parametri su mjereni i sl.

Prvu fazu mjerenja opisuje skup parametara kao što su: mjerena veličina (šta se mjeri, prečnik, visina, dubina), greška mjerenja, interval povjerenja u kome će se nalaziti vrijednost izmjerene veličine, vjerovatnoća da se vrijednost izmjerene veličine nađe u intervalu povjerenja, vrijeme kada će započeti mjerenje, vrijeme kada će se završiti mjerenje, vremenski interval u kome je vršeno mjerenje itd.

U drugoj fazi mjerenja pravi se plan mjerenja koji obuhvata tip i strukturu, interval mogućih vrijednosti mjerene veličine, karakter njene promjene u vremenu, broj mjerenja i sl.

Realizacija plana zacrtanih mjerenja obuhvata uslove i kriterije za postavljena mjerenja, mjernu opremu, tip mjernog signala.

Četvrta faza mjerenja je obrada i analiza podataka dobivenih mjerenjem. Prave se zaključci da li je mjerenje provedeno na odgovarajući način i da li su rezultati mjerenja, greške mjerenja i vjerovatnoće uključeni u intervale pouzdanosti.

Ukoliko se mjerenje ne vrši na klasičan način nego se koriste mjerni pretvarači različitih vrsta onda se mjerenje svodi na proces generiranja i pretvaranja mjernih informacija - signala koji se dobiju mjerenjem. Mjerena veličina prikazana je rezultatom mjerenja na indikatorskoj jedinici ili su rezultati, što je najčešći slučaj pohranjeni u memoriji kompjutera.

Uz pomoć odgovarajućeg software-a podaci mjerenja, u vidu dobivenih signala se obrađuju na osnovu odgovarajućeg algoritma za date namjene.

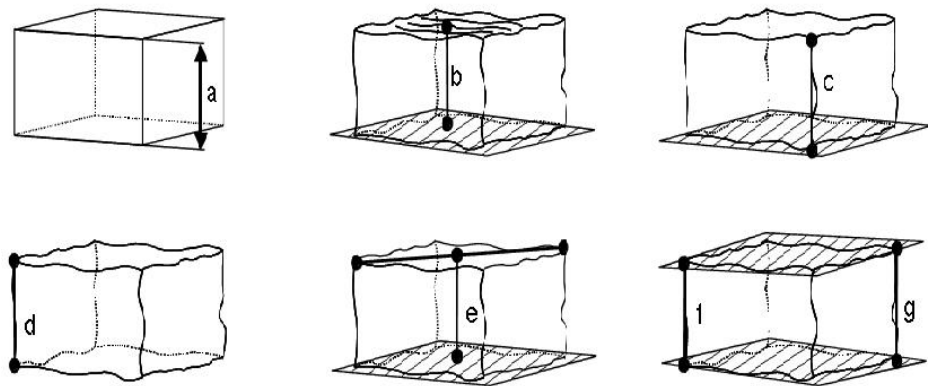
Postulati mjerenja

Prije svakog mjerenja treba imati na umu univerzalne pristupe mjerenju koji su definirani u vidu tri postulata.

Prvi postulat mjerenja glasi:

Mjerena veličina mora biti jedinstveno definirana.

Nije moguće izvršiti mjerenja ukoliko se ne definira baza idealne geometrije koja je osnova za mjerenje u odnosu na koju će se vršiti mjerenje i analizirati rezultati. Na slici 2.25, dat je primjer kako se prvi postulat primjenjuje u proizvodnim mjerenjima. Tačno se odredi šta je referentna površina u odnosu na koju se vrši mjerenje dužine.



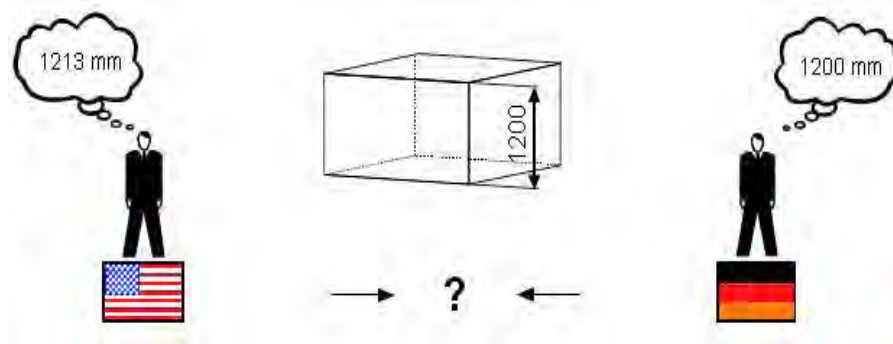
Slika 2.25. Prvi postulat mjerenja (Različite definicije mjerene veličine - razmaka između dvije paralelne ploče)

a: Definicija na bazi idealne geometrije radnog komada,
b do g: Moguće definicije na realnom komadu

Drugi postulat mjerenja glasi:

Referenca ili mjerna jedinica moraju biti fiksne ili definirane konvencijom.

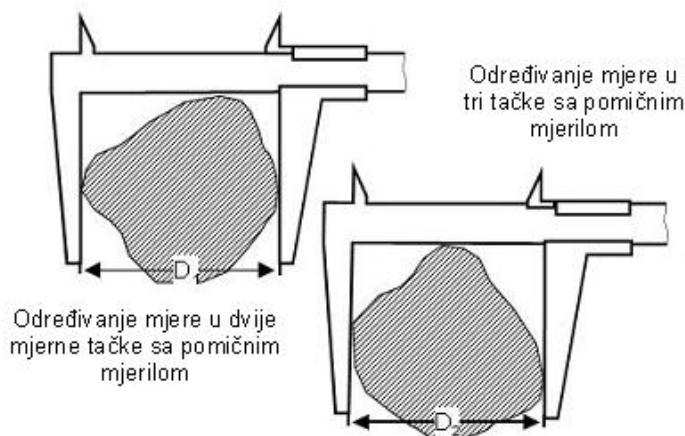
Za svako mjerenje treba da se zna u kojim jedinicama se izražava mjerni rezultat odnosno koja se mjerna jedinica koristi. Mjerna jedinica mora biti tačno uzeta bez obzira o kom se mjernom sistemu radi, npr. metričkom ili anglosaksonskom.



Slika 2.26. Drugi postulat mjerenja

Treći postulat mjerenja glasi:

Mjerna tehnika mora biti jedinstveno usvojena sa svim uslovima i uticajima.



Slika 2.27. Treći postulat mjerenja

Korištenje mjerne tehnike zavisno od mjerenja koje se vrši je slobodan izbor i mogućnost korisnika ili zahtjev kupca. Uslovi koji se pri tom moraju poštovati su mogućnosti i dosljedna primjena svih karakteristika izabrane mjerna opreme.

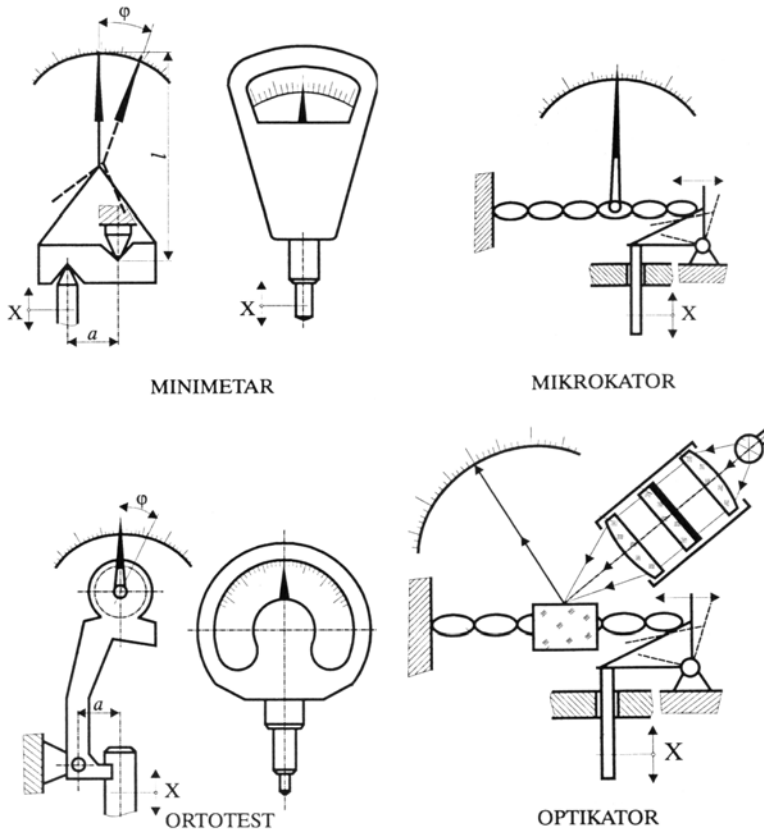
Princip rada mjernih uređaja - princip mjerenja

Princip mjerenja u dimenzionalnoj metrologiji se zasniva na poznatom fizičkom efektu (termoelektrični, fotoelektrični, piezoelektrični, pneumatski, hidraulički i sl.). Mjerna sredstva kojima se vrše mjerenja u proizvodnji se izrađuju da rade na određenom fizičkom principu koji postaje princip mjerenja. Takva mjerna sredstva su laser, elektrootporna mjerna traka itd).

Prema principu kao i sva druga mjerenja fizičkih veličina i za mjerenja u proizvodnji mogu se koristiti mjerni sistemi, uređaji i sredstva čiji se rad zasniva na slijedećim principima:

- mehaničkom,
- optičkom,
- optoelektričnom,
- električnom,
- piezoelektričnom,
- fotoelektričnom,
- pneumatskom.

Primjeri rada takvih sredstava prikazani su na slici 2.28.



Slika 2.28. Mehanički, pneumatski i optički principi mjerenja

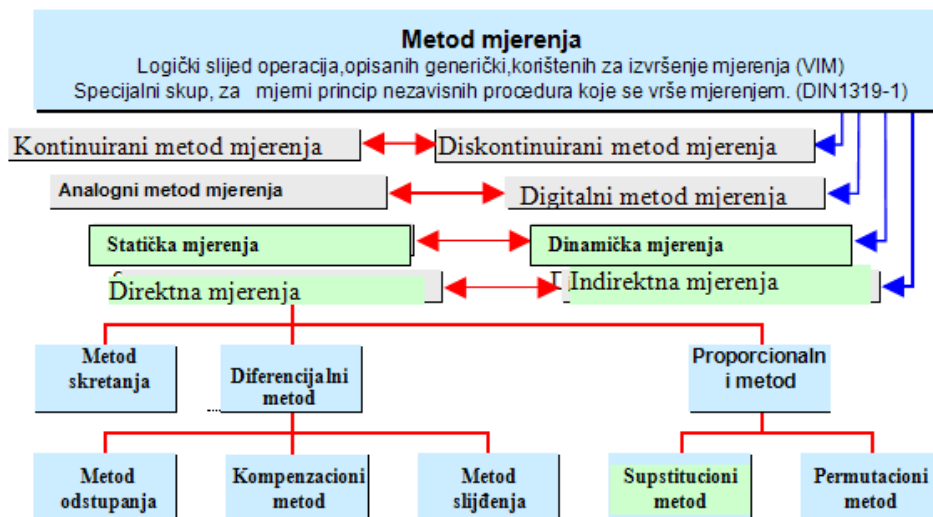
Ostale podjele proizvodnih mjerenja

Proizvodna mjerenja se mogu razvrstati na :

- klasična mjerenja u proizvodnji,
- mjerenje na bazi mjernih pretvarača,
- trokoordinatne mjerne mašine (mjerno informacijski sistemi).

Klasična mjerenja obuhvataju postupke upoređivanja mjerne veličine sa istorodnom poznatom veličinom.

Na slici 2.29. prikazana je šema podjele mjerenja po različitim kriterijima.



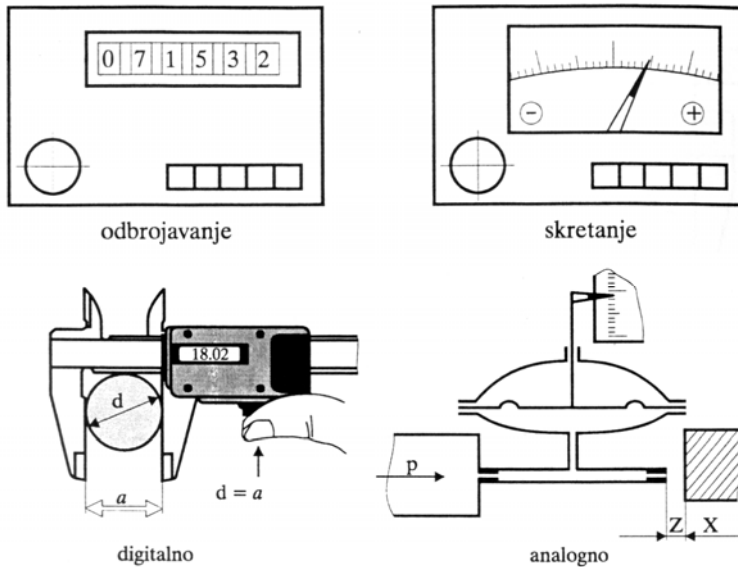
Slika 2.29. Podjela mjerenja

Najčešće se u tehničkoj praksi koriste metode mjerenja kod kojih se mjerenje izvodi pomoću instrumenata koji rade na bazi **mjernih pretvarača** (senzora). Mjerni instrumenti su samo dio strukturnog sistema članova međusobno povezanih u mjerni lanac. U principu mjerenje ovom metodom je postupak generiranja i pretvaranja informacija o mjerenoj veličini. Ovako dobivene informacije mogu se registrovati ili mogu biti ulazne veličine za upravljanje procesima.

Koordinatne mjerene mašine su mjerno informacijski sistemi i predstavljaju najsavremeniji oblik mjerenja. Prednosti koordinatnih mjernih mašina su višestruke i o njima će biti riječi u posebnom poglavlju.

Svaka od ovih metoda može imati dva načina registracije izmjene veličine i to :

- analogni,
- digitalni.



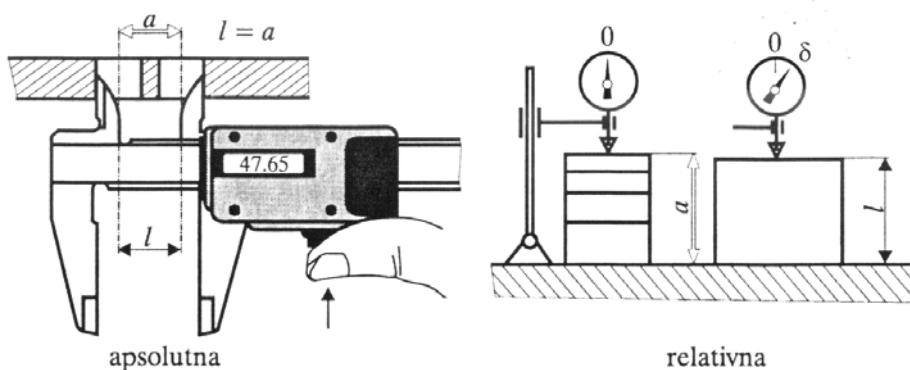
Slika 2.30. Analogne i digitalne metode mjerenja

Kod **analognih** metoda koristi se princip skretanja, a kod digitalnih princip odbrojavanja

Metode mjerenja mogu biti:

- apsolutne i
- relativne

Apsolutne metode omogućavaju direktno očitavanje rezultata mjerenja na indikatoru ili registracionom članu, npr. mjerenja pomičnim mjerilom, mikrometrima i sl., slika 2.31.



Slika 2.31. Apsolutna i relativna mjerenja

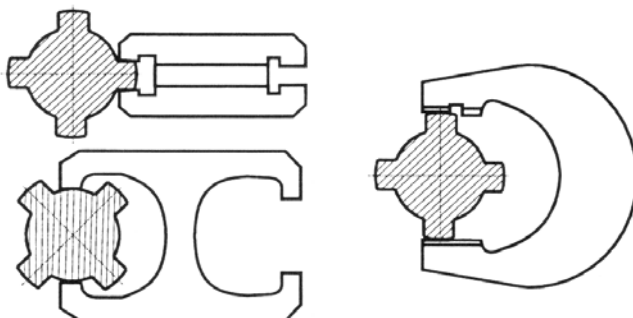
Relativna (uporedna) metoda mjerenja zasniva se na poređenju mjerene veličine sa posebno izrađenim uzorkom ili etalonom. Na slici 2.31 je prikazano poređenje sa graničnim paralelnim mjerkama.

Vrijednost izmjerene veličine izražava se na osnovu poznatih dimenzija uzorka (npr. sloga graničnih mjerki) i odstupanja relativne dimenzije čija se vrijednost očitava na mjernom sredstvu koje se koristi za mjerenje (poređenje).

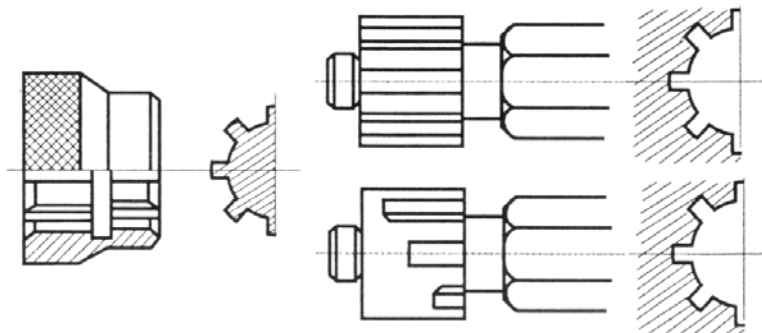
Metodi kontrole mogu biti:

- diferencijalni (elementarni) i
- kompleksni (integralni).

Diferencijalni metodi kontrole omogućavaju da se utvrdi koji su to uzorci zbog kojih je mjereni objekat van granica odstupanja. Diferencijalni metodi kontrole su dobri da se izvrši kontrola parametara mjenog objekta složene konfiguracije. Kontrola se može izvoditi kontrolom svakog parametra posebno. Ovaj vid kontrole se može vršiti po određenom redoslijedu kod proizvoda složene konfiguracije npr. ožljebljenih vratila. Vrš se kontrola unutrašnjeg i spoljašnjeg prečnika, zatim širina i visina žlijeba, slika 2.32.



Slika 2.32. Diferencijalni metod kontrole



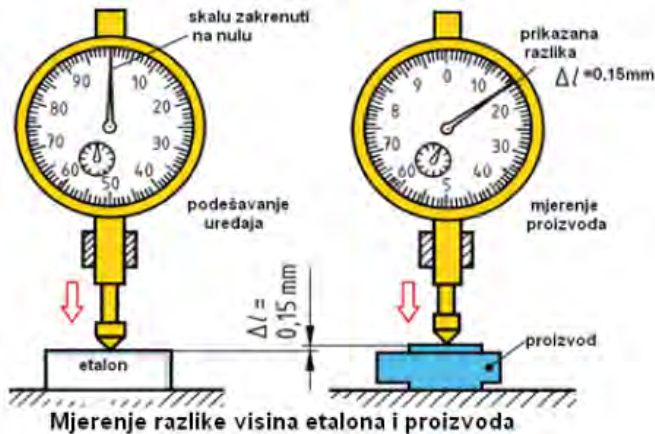
Slika 2.33. Kompleksni metod

Kompleksni metod se koristi za kontrolu gotovih proizvoda složene izrade. Parametri se kontroliraju istovremeno. Uglavnom se postupak svodi na razmatranje kontroliranih komada na dobre i loše - škart. Pri tome se loši komadi razvrstavaju na one koji se mogu doraditi i one koji se odbacuju jer se ne mogu popraviti naknadnom doradom. Ovaj metod se koristi u završnoj kontroli u proizvodnom procesu, slika 2.33.

Prema korištenoj mjernoj opremi metode mjerenja i kontrole se mogu podijeliti i na:

- kontaktne (taktilne) i
- bezkontaktne.

Kontaktne metode koriste instrumente čiji mjerni pipak dodiruje mjereni ili kontrolirani objekat u toku mjerenja ili kontrole. Na slici 2.34 prikazan je komparator sa kontaktnim pipkom.



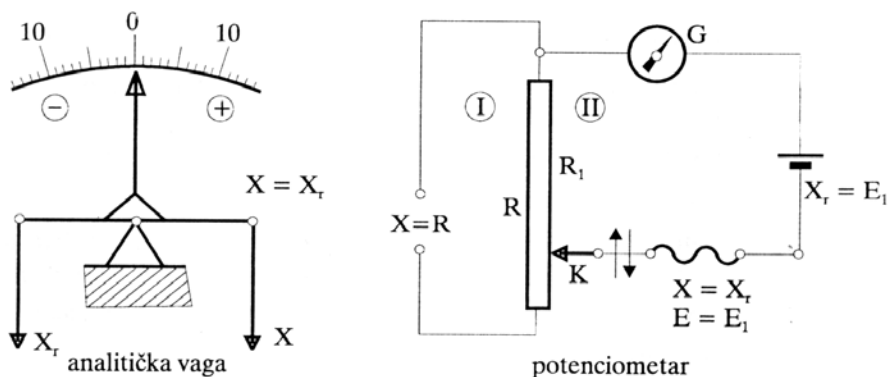
Slika 2.34. Mjerno sredstvo za kontaktnu kontrolu

Bezkontaktnim metodama se vrši mjerenje ili kontrola objekata ili parametara bez fizičkog dodira sa njima. Ove metode su npr. optičke metode mjerenja i kontrole.

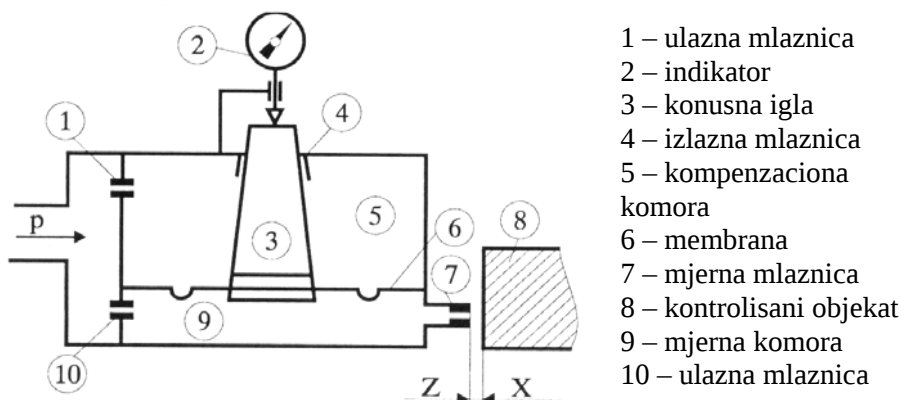
Nulti metod, kako mu i samo ime kaže, svodi se na dovođenje razlike između mjerene i referentne vrijednosti na nulu i uspostavljanje ravnoteže. Ovaj metod se koristi za vaganje kod različitih vrsta vaga, slika 2.35, ili kod mjerenja elektropretvaračkim mjernim trakama gdje se koristi električni most.

Kompenzacioni metod je kombinacija nultog metoda i metoda skretanja. Prvo se mjeri mjerni pribor podesi na nulu uz pomoć nekog etalona npr. graničnih paralelni mjerki. Na njemu je kao nulta vrijednost registrirana referentna vrijednost. Zatim se uporedi sa referentnim objektom. Tada kazaljka mjernog instrumenta skrene i pokaže koliko je odstupanje od referentne vrijednosti. Zbir

te dvije vrijednosti; referentne i nakon toga zabilježene vrijednosti, predstavlja izmjerenu vrijednost parametra, slika 2.36.



Slika 2.35. Nulti metod i električni most



Slika 2.36. Kompenzacioni metod mjerenja

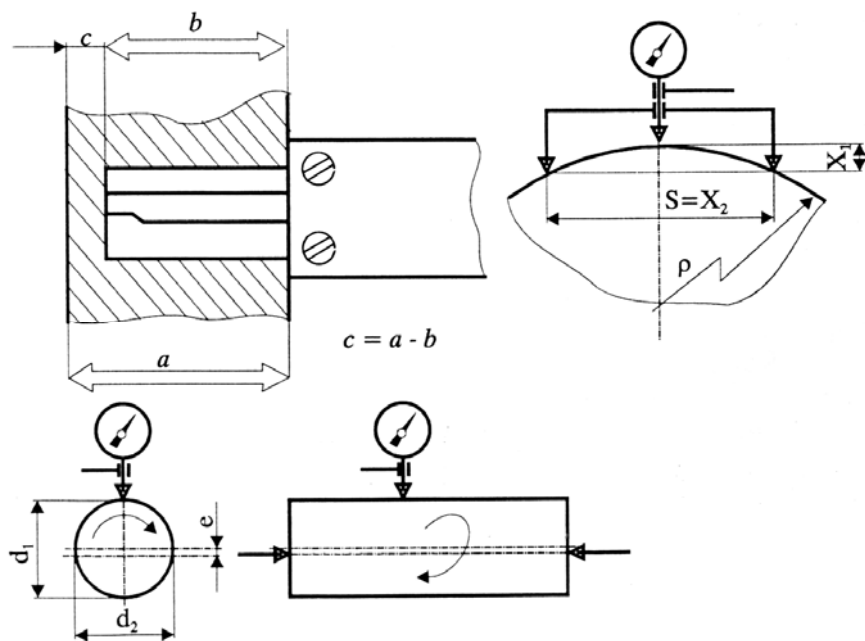
Korištenjem mjerne tehnike mogu se vršiti mjerenja i dobiti rezultati na neki od sljedećih načina:

- direktno,
- indirektno,
- grupno i
- centralizovano (kompleksno)

Najjednostavnija mjerenja sa aspekta dobijanja rezultata su **direktna mjerenja**. Vrijednost mjerne veličine se direktno očitava iz rezultata mjerenja. Mjerna veličina se upoređuje sa mjerom pomoću mjernog uređaja, graduisanog u

odgovarajućim jedinicama, npr. mjerenje dužine je upoređivanje sa mjernim uređajem koji ima skalu u metrima i manjim jedinicama.

Kod **indirektnog mjerenja** mjerna veličina se dobiva se posredno iz poznatih relacija koje povezuju izmjerene i tražene veličine. Na primjer, mjeri se dužina stranice kvadra i na osnovu nje izračuna zapremina kvadra. Ova mjerenja vrše se u slučaju kada je jednostavnije, brže i jeftinije doći do rezultata mjerenja, ali i u slučaju kada se direktnim mjerenjem dobiju rezultati manje tačnosti.



Slika 2.37. Indirektno mjerenje

Grupna mjerenja se provode tako što se istovremeno vrši direktno mjerenje više istorodnih veličina. Tražene veličine dobiju se rješavanjem sistema jednačina.

Kompleksna mjerenja se provode tako sto se istovremeno vrši mjerenje više nejednorodnih veličina. Kod ovih mjerenja treba uspostaviti vezu između mjernih veličina.

S obzirom na tačnost rezultata, mjerenja mogu biti :

- maksimalne tačnosti,
- u cilju provjere i kontrole,
- tehnička mjerenja.

U prvu grupu se ubrajaju **etalonska mjerenja**, čiji rezultati daju vrijednosti najveće tačnosti s obzirom na postojeći nivo tehnike. Ova mjerenja se koriste za dobivanje odgovarajućih jedinica fizičkih veličina i konstanti.

Mjerenja čiji je cilj kontrola imaju greške koje se kreću u zadanim granicama. Ova vrsta mjerenja se provodi u laboratorijama, a služi za uvođenje standarda i provjeru mjerne tehnike u proizvodnim mjernim laboratorijama i pogonima

Tehnička mjerenja koja se vrše u proizvodnim i pogonskim uslovima imaju grešku. Veličina i vrsta greške zavisi od korištene mjerne opreme i metode mjerenja. To su mjerenja koja se vrše u cilju kontrole i dijagnostike stanja sistema. Ova vrsta mjerenja najčešće se koristi u proizvodnji i obuhvata različite vrste mjerenja zavisno od toga o kakvom se tehničkom sistemu radi.

U zavisnosti od procesa koji se odvija mjerenja mogu biti :

- predprocesna,
- procesna i
- postprocesna

Predprocesna mjerenja vrše se prije procesa, npr. obrada u metaloprerađivačkoj industriji. Obuhvataju niz mjernih i kontrolnih radnji, a cilj im je kontrola i zaštita. Kontrola podrazumijeva otklanjanje loših komada. Zaštita u predprocesnim mjerenjima podrazumijeva zaštitu mašina, pribora i alata od oštećenja koja mogu nastupiti uslijed obrade neodgovarajućih komada.

Procesna mjerenja se obavljaju u toku odvijanja procesa, **postprocesna** nakon završetka procesa (kontrola serije, klasiranje proizvoda, itd.).

Prema **uticaju rezultata na proces** mjerenja mogu biti :

- aktivna i
- pasivna.

Aktivna mjerenja se vrše s ciljem upravljanja i regulisanja procesa. Aktivni mjerni sistemi su funkcionalno povezani preko specijalnih upravljačkih jedinica sa izvršnim organima mijenjajući parametar npr. režima obrade, odmicanje i primicanje alata. Osim toga aktivni mjerni sistemi mogu da vrše kompenzaciju greške obrade kao i korekciju dimenzija na osnovu rezultata mjerenja ili statističke ocjene izmjerenih vrijednosti iz serije.

Cilj **pasivnih mjerenja** je dobivanje informacije o izmjerenoj veličini kako bi se izvršila selekcija loših komada kada se mjerenja provode u proizvodnim procesima.