



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Zavod za kvalitetu
Katedra za mjerenje i kontrolu

TEORIJA I TEHNIKA MJERENJA

Prof.dr.sc Sanjin Mahović



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Zavod za kvalitetu
Katedra za mjerenje i kontrolu

Sadržaj

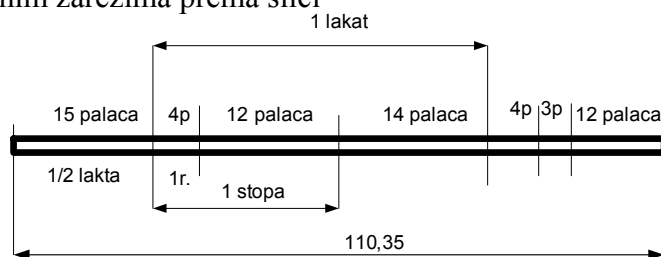
1. Uvod – Kratki prikaz povijesti mjeriteljstva duljine
2. Temeljni pojmovi mjeriteljstva
 - 2.1. Sastavnice mjernog postupka
 - 2.1.1 Mjerne pogreške
 - 2.1.2 Mjeriteljski uvjeti
 - 2.1.3 Značajke mjerila
 - 2.2. Iskazivanje mjernog rezultata
 - 2.2.1 Ponovljivost i obnovljivost
 - 2.2.3 Analiza mjernog sustava (R&R)
 - 2.2.4 Mjerna nesigurnost
3. Mjeriteljstvo duljine
 - 3.1 Mjerno jedinstvo
 - 3.2 Mjerne jedinice
 - 3.3 Etaloni
 - 3.4 Sustavi umjeravanja
4. Mjerenje kutova
5. Ispitivanje odstupanja od oblika i položaja
 - 5.1. Odstupanja od pravocrtnosti
 - 5.2 Odstupanje od ravnosti
 - 5.3 Odstupanje od kružnosti
6. Ispitivanje hrapavosti površina

Pramjera duljine

Babilonci su prije 4 tisuće godina imali jedinstveni sustav mjera koji je propisao vladar.

Arheološkim nalazom pramjera duljine i mase na više različitih mjesta dokazano je postojanje jedinstvenog sustava mjera.

Pramjerilo duljine: bakreni štap duljine 110,35cm i mase 41,5kg sa ucrtanim zarezima prema slici



Pramjera duljine

Osnovna jedinica : lakat (30 palaca = 51,72 cm)

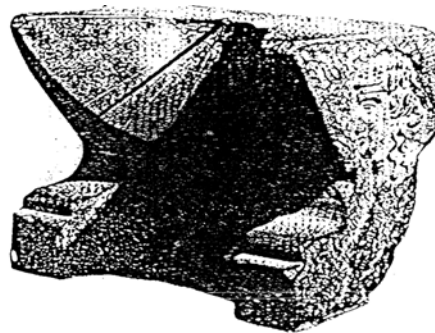
stopa (16 palaca = 27,58 cm)

ruka (4 palca = 6,9 cm)

½ lakta (15 palaca)

opeka (19 palaca)

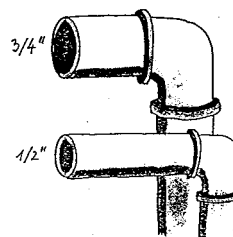
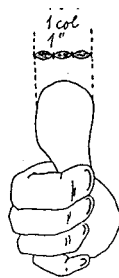
BABILONSKI POLUKUGLASTI SUNČANI SAT



Babilonski polukuglasti sunčani sat
(oko 3. st. prije Krista)

Oko 3. st. Prije Krista

JEDINICA DULJINE INČ (INCH)



Kralj David I (1150) izabrao je iz sredine klasa ječma tri zrna, postavio ih je u niz i tako dobio inč (col, palac). Danas se jedinica inč koristi za cijevni navoj.

MJERA LAKTA – ORLANDOV STUP U DUBROVNIKU



Na podlaktici kipa i u podnožju ugrađena mjera lakta (51,2 cm) za mjerenje tkanine (oko 1430. god.)

STARE DOMAĆE MJERE VOLUMENA IZRAĐENE U KAMENU



Stare domaće »suplje mjere« izrađane u kamenu sačuvane su u nekoliko istarskih i primorskih gradova
– na slici su kamene mjere u Pivčanu (snimio Z. J.)

Sačuvane u nekoliko istarskih i primorskih gradova

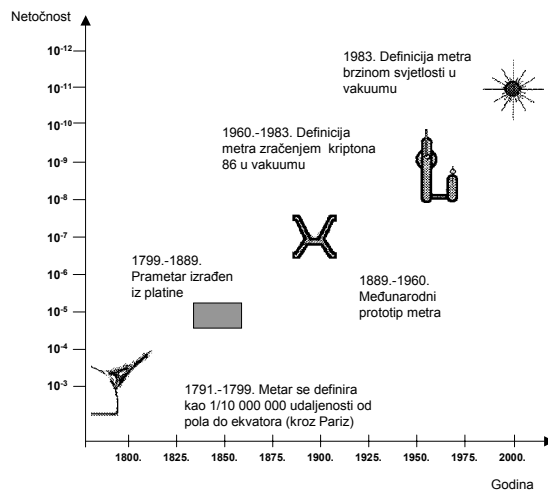
HRVATSKA MILJA



Hrvatska je milja, uz njemačku, prikazana u Glavačevu zemljovidu Hrvatske iz 1673. godine (iz knjige u biljezi 3)

Prikazana u Glavačevu zemljovidu Hrvatske iz 1673. godine

RAZVOJ JEDINICE DULJINE METRA





DEFINICIJE METRA

Meridijanski metar: 1791. god.

(fizikalni – 1/40000000 dio zemaljskog meridijana);

$\pm(150-200)\mu\text{m}$

Arhivski metar: 1799. god.

(materijalni – iz platine određen razmakom krajnjih ploha štapa)

$\pm(10-20)\mu\text{m}$

M-prototip: 1889. (1927.) god.

(materijalni – iz legure 90% platine i 10% iridija određen razmakom između osi dviju srednjih crtica na štapu)

$\pm 0,2 \mu\text{m}$



DEFINICIJE METRA

Valni metar: 1960. god.

(fizikalni – određen sa 1650763,73 duljine vala zračenja kriptona 86)

$\pm 0,02 \mu\text{m}$

Laserski metar: 1983. god.

(fizikalni – metar je jednak duljini puta koji svjetlost prijeđe u praznini za vrijeme jednog 299792458-og dijela sekunde)

$\pm 0,004 \mu\text{m}$



TEMELJNI POJMOVI IZ MJERITELJSTVA



Mjerenje:

je skup postupaka kojima se određuje vrijednost određene veličine.
Općenito mjerenje je usporedba neke veličine s drugom istoimenom veličinom koja se dogovorno uzima kao jedinica.

$$x = n \cdot i$$

x - mjera (*fizikalne*) veličine koja se mjeri
n - omjer tj. brojčani odnos izmjerene veličine odabrane jedinice mjere
i - pogodno odabrana jedinica mjere

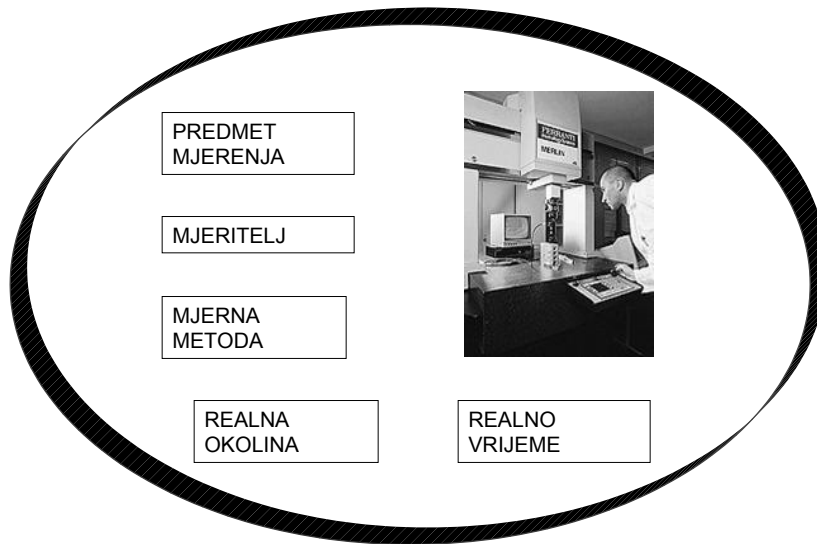
Mjerni postupak:

je slijed definiranih radnji koje se upotrebljavaju za provođenje pojedinih mjerenja u skladu sa određenom metodom.

Mjerna metoda:

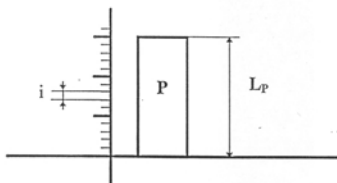
je smislen niz postupaka, koji se upotrebljava za provođenje mjerenja.

MJERNI POSTUPAK



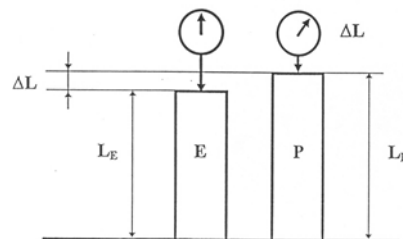
IZRAVNA MJERNA METODA

Metoda u kojoj se vrijednost mjerene veličine određuje izravno, bez mjerenja drugih veličina funkcijski povezanih s mjernom veličinom.



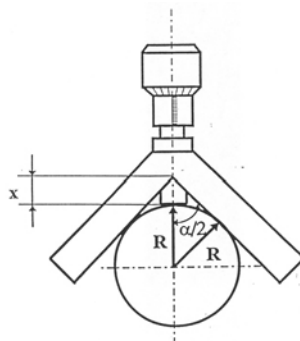
DIFERENCIJSKA MJERNA METODA

Metoda u kojoj se mjerena veličina uspoređuje s istovrsnom veličinom poznate vrijednosti, malo različitom od mjerene veličine, a mjeri se razlika tih dviju vrijednosti.



POSREDNA MJERNA METODA

Metoda u kojoj se vrijednost mjerene veličine određuje mjerenjem drugih veličina što su s njom funkcijski povezane.



$$R = x \cdot (\sqrt{2} + 1)$$

MJERNE POGREŠKE

VRSTE POGREŠAKA

SUSTAVNE
POGREŠKE



U tijeku ponovljenih mjerenja iste veličine ostaju stabilne ili se mijenjaju na predvidiv način.

SLUČAJNE
POGREŠKE



U tijeku ponovljenih mjerenja iste veličine mijenjaju se na nepredvidiv način.

GRUBE
POGREŠKE



U tijeku ponovljenih mjerenja iste veličine značajno odstupaju u odnosu na ostale rezultate.



SUSTAVNE POGREŠKE

Sastavnica mjerne pogreške koja u tijeku niza mjerenja iste veličine ostaje stabilnom ili se mijenja na predvidiv način.

Teorijski se može definirati kao srednja vrijednost koja bi proizašla iz beskonačnog broja mjerenja iste veličine izvedenih u uvjetima ponovljivosti manje istinita vrijednost mjerene veličine.

Kao ni istinita vrijednost, niti sustavna pogreška, a niti njeni uzroci ne mogu biti potpuno poznati. Sustavne pogreške nastaju zbog nesavršenosti mjernog objekta, mjerne opreme, mjernog postupka, mjeritelja i utjecaja okoline.

Ako sustavna pogreška potječe od utvrđenog djelovanja utjecajne veličine na mjerni rezultat to se djelovanje može količinski iskazati.

Sustavne pogreške poznatih uzroka i odredivih vrijednosti mogu se iz rezultata odstraniti ispravkom. Ispravak je jednak procijenjenoj sustavnoj pogrešci, ali je suprotnoga predznaka.

Budući da se sustavna pogreška ne može točno znati, ispravak je obilježen nesigurnošću.



SLUČAJNE POGREŠKE

Slučajna pogreška je sastavnica mjerne pogreške koja se u tijeku mjerenja iste veličine mijenja na nepredvidiv način.

Teorijski se može definirati kao mjera rasipanja rezultata mjerenja oko srednja vrijednost koja bi proizašla iz mjerenja beskonačno puta iste veličine izvedenih u uvjetima ponovljivosti.

Za slučajnu pogrešku pretpostavlja se da nastaje iz nepredvidivih ili slučajnih vremenskih ili prostornih promjena utjecajnih veličina koja se zbivaju u mjernom objektu, mjernoj opremi i okolini ili ih uzrokuje sam mjeritelj. Djelovanje takvih promjena, uzrokuje promjene u ponovljenim opažanjima mjerene veličine.

Premda slučajnu pogrešku mjernog rezultata nije moguće svesti na ničticu, ona se može smanjiti povećanjem broja opažanja; njezino je očekivanje ili očekivana vrijednost jednaka ničtici.

GRUBE POGREŠKE

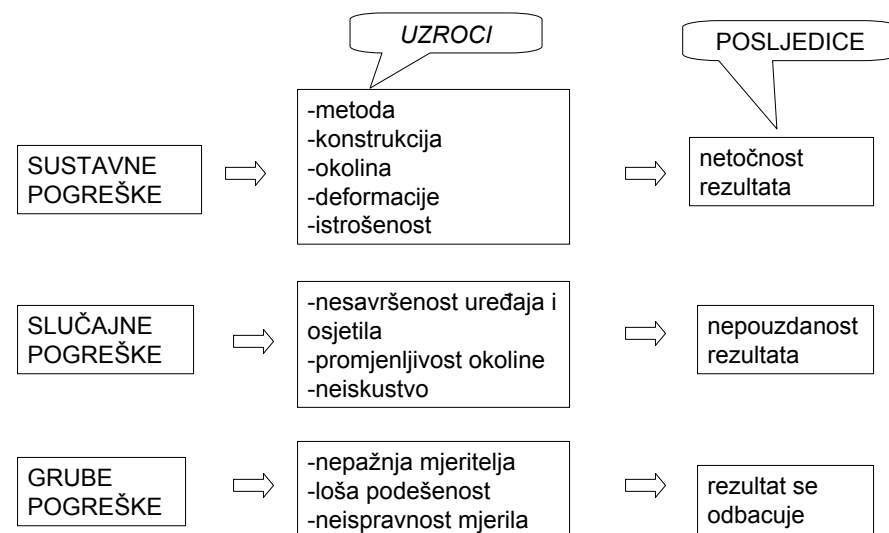
Grube pogreške nastaju zbog nepažnje mjeritelja, pogrešno primjenjene metode i neodgovarajućeg ili neispravnog mjerila.

Mjerni rezultat s grubom pogreškom se odbacuje.

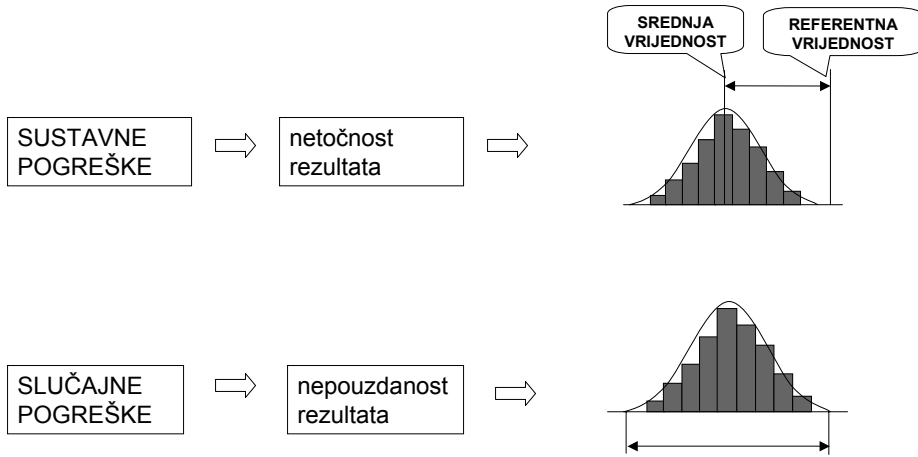
Katkad je teško razlučiti radi li se o gruboj pogrešci ili samo o većem slučajnom odstupanju. U takvim nejasnim slučajevima koriste se statistički testovi na osnovi kojih su definirani kriteriji za određivanje i uklanjanje mjernog rezultata za koji se sumnja da je gruba pogreška:

- kriterij "3s"
- Grubbsov kriterij
- Dixonov kriterij i drugi

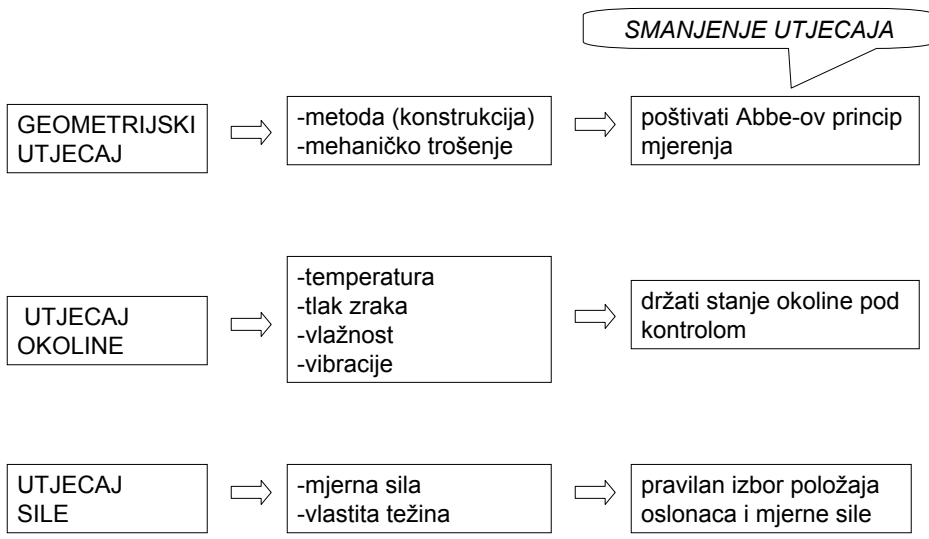
VRSTE POGREŠAKA



VRSTE POGREŠAKA

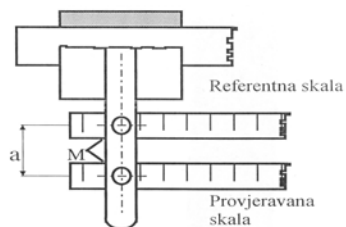
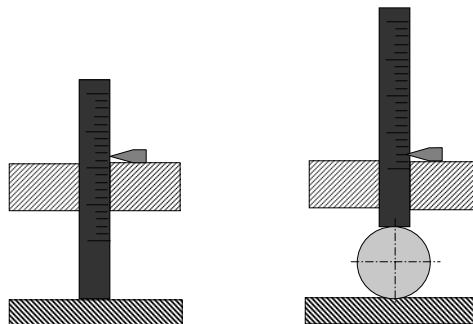


SUSTAVNE POGREŠAKA



ABBE-OV PRINCIP MJERENJA

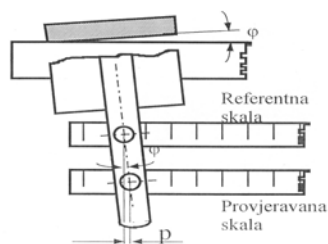
U cilju uklanjanja pogrešaka 1. reda, koje su najveće i koje imaju dominantnu ulogu, potrebno je da se predmet mjerenja nalazi u produžetku mjerne skale.



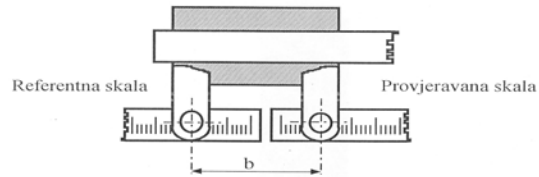
UREĐAJ ZA KONTROLU SKALA

Ne zadovoljava Abbeov princip

Pogreška prvog reda



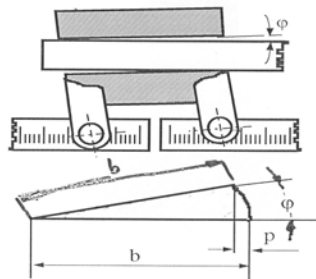
$$p = a \cdot \sin \varphi = a \cdot \hat{\varphi} \rightarrow \sin \varphi = \hat{\varphi} - \frac{\hat{\varphi}^3}{6} + \frac{\hat{\varphi}^5}{120} \dots$$



UREĐAJ ZA KONTROLU SKALA

Zadovoljava Abbeov princip

Pogreška drugog reda



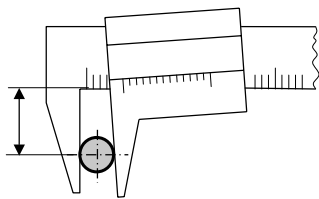
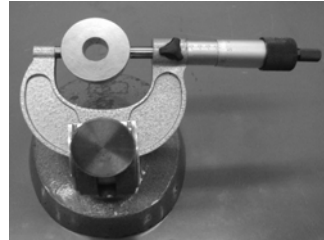
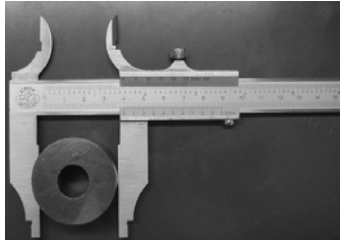
$$\cos \varphi = \frac{b-p}{b} \rightarrow p = b(1 - \cos \varphi) \quad \cos \varphi = 1 - \frac{\widehat{\varphi}^2}{2} + \frac{\widehat{\varphi}^4}{24} \dots$$

$$p = \frac{b}{2} \widehat{\varphi}^2$$

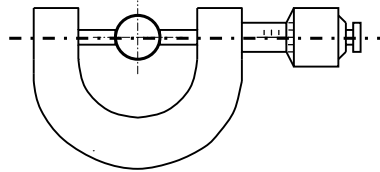
UREĐAJ ZA KONTROLU SKALA

| | $a = 100 \text{ mm}$ | $b = 100 \text{ mm}$ |
|---------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| zračnost | 0,05 mm | 0,10 mm |
| $\widehat{\varphi}$ | 0,001 rad | 0,001 rad |
| p | 0,1 mm | 0,00005 mm |
| | $p = a \cdot \widehat{\varphi}$ | $p = b/2 \widehat{\varphi}^2$ |

ABBE-OV PRINCIP MJERENJA

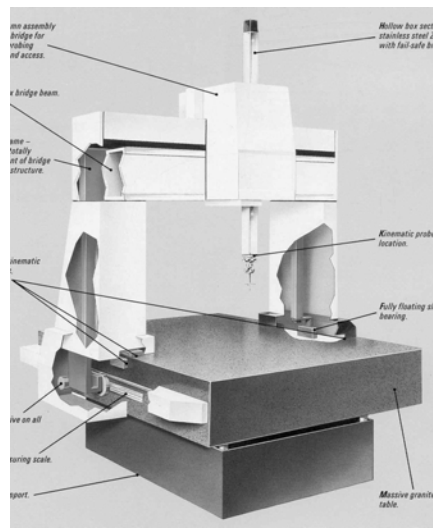
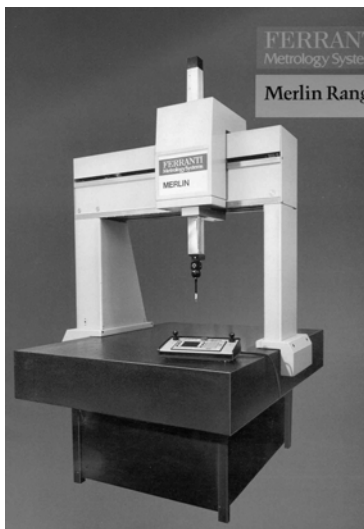


NEZADOVOLJAVA

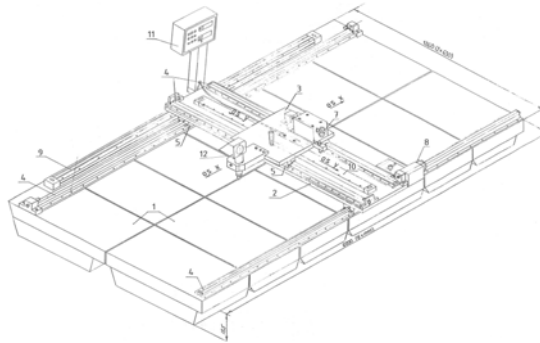


ZADOVOLJAVA

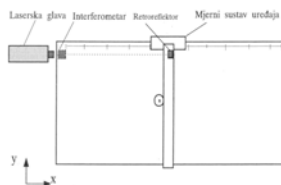
ABBE-OV PRINCIP MJERENJA



2D KOORDINATNI MJERNI UREĐAJ

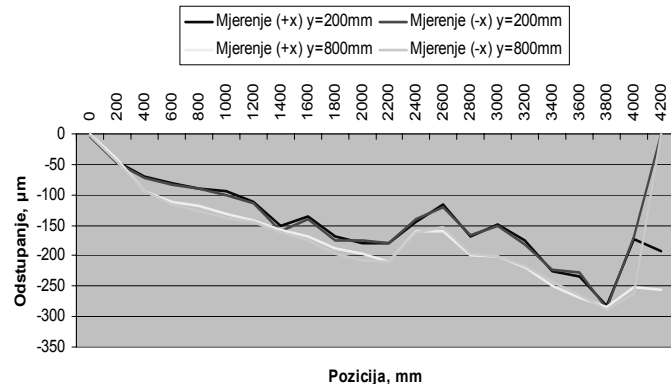


Rezultati odstupanja točnosti pozicioniranja u smjeru osi x



| Pozicija, [mm] | ODSTUPANJA u pravcu koordinatne osi x | | | |
|----------------|--|------------|--|------------|
| | Mjerenje u položaju y=200 mm Odstupanje točnosti pozicioniranja, [µm] | | Mjerenje u položaju y=800 mm Odstupanje točnosti pozicioniranja, [µm] | |
| | smjer (+x) | smjer (-x) | smjer (+x) | smjer (-x) |
| 0 | 0 | -5 | 0 | -2 |
| 200 | -47 | -48 | -41 | -47 |
| 400 | -71 | -73 | -94 | -93 |
| 600 | -81 | -84 | -111 | -115 |
| 800 | -89 | -90 | -119 | -126 |
| 1000 | -95 | -100 | -132 | -138 |
| 1200 | -112 | -114 | -142 | -145 |
| 1400 | -150 | -159 | -158 | -161 |
| 1600 | -136 | -139 | -168 | -175 |
| 1800 | -168 | -174 | -188 | -196 |
| 2000 | -179 | -175 | -197 | -207 |
| 2200 | -179 | -179 | -209 | -209 |
| 2400 | -144 | -141 | -159 | -162 |
| 2600 | -115 | -120 | -160 | -154 |
| 2800 | -168 | -167 | -199 | -196 |
| 3000 | -149 | -152 | -202 | -202 |
| 3200 | -176 | -181 | -219 | -216 |
| 3400 | -226 | -223 | -249 | -243 |
| 3600 | -233 | -228 | -270 | -264 |
| 3800 | -283 | -286 | -285 | -288 |
| 4000 | -173 | -169 | -252 | -262 |
| 4200 | -193 | 0 | -255 | 0 |

Grafički prikaz odstupanja u smjeru osi x



Standardni mjeriteljski uvjeti
 okoline

TEMPERATURA
 20°C

TLAK
 1013,25 mbar

RELATIVNA VLAŽNOST
 58%

UTJECAJ TEMPERATURE

$$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta t$$

ΔL – promjena duljine predmeta uslijed temperatue

L - duljina predmeta

α - linearni koeficijent temperaturnog rastezanja u K^{-1} (m/mK ili $m/m^{\circ}C$)

Δt – razlika temperature predmeta od $20^{\circ}C$ ($\Delta t = t - 20$, gdje je t temperatura predmeta u $^{\circ}C$)

TEMPERATURNNA KOREKCIJA KOD IZRAVNOG MJERENJA

$$L_{P20} = L_P - L_P (\alpha_P \cdot \Delta t_P - \alpha_E \cdot \Delta t_E)$$

L_{P20} – ispravljena mjerena duljina predmete kod $20^{\circ}C$

L_P – očitana duljina predmeta na skali

α_P – linearni koeficijent temperaturnog rastezanja materijala predmeta mjerenja

α_E – linearni koeficijent temperaturnog rastezanja materijala etalona

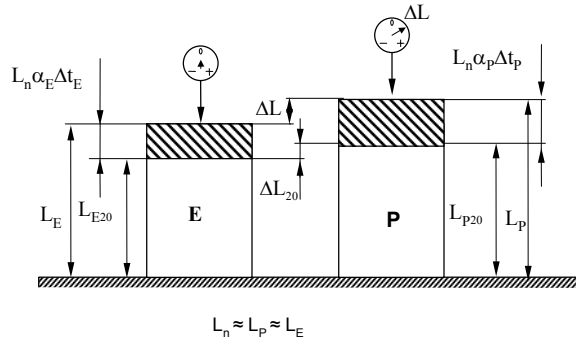
Δt_P – razlika temperature predmeta mjerenja t_P od $20^{\circ}C$

$$\Delta t_P = t_P - 20$$

Δt_E – razlika temperature etalona t_E od $20^{\circ}C$

$$\Delta t_E = t_E - 20$$

TEMPERATURNNA KOREKCIJA KOD DIFERENCIJSKOG MJERENJA



L_E – duljina etalona
 L_P – duljina predmeta mjerenja
 L_n – nazivna vrijednost
 ΔL – ustanovljeno diferencijskim mjerenjem
 α_P – linearni koeficijent temperaturnog rastezanja materijala predmeta mjerenja
 α_E – linearni koeficijent temperaturnog rastezanja materijala etalona
 Δt_P – razlika temperature predmeta mjerenja t_P od 20°C
 Δt_E – razlika temperature etalona t_E od 20°C

$$\Delta L_{20} + L_n \cdot \alpha_P \cdot \Delta t_P = \Delta L + L_n \cdot \alpha_E \cdot \Delta t_E$$

$$L_n \approx L_P \approx L_E$$

$$\Delta L_{20} + L_n \cdot \alpha_P \cdot \Delta t_P = \Delta L + L_n \cdot \alpha_E \cdot \Delta t_E$$

$$\Delta L_{20} = \Delta L - L_n (\alpha_E \cdot \Delta t_E - \alpha_P \cdot \Delta t_P)$$

$$k_t = L_n (\alpha_E \cdot \Delta t_E - \alpha_P \cdot \Delta t_P)$$

$$\Delta L_{20} = \Delta L - k_t$$

k_t – korekcija uslijed temperaturnih razlika

ΔL_{20} – ispravljena vrijednost rezultata diferencijskog mjerenja za temperaturnu razliku etalona i predmeta mjerenja od 20° C

$$L_{P20} = L_{E20} + \Delta L_{20}$$

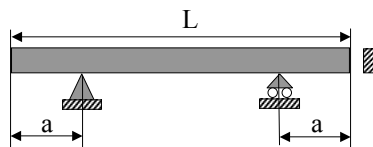
L_{P20} – ispravljena izmjerena vrijednost duljine predmeta mjerenja za korekciju uslijed temperaturnih razlika

L_{E20} – duljina etalona kod 20° C

LINEARNI KOEFICIJENTI TEMPERATURNOG RASTEZANJA

| MATERIJAL | α u K^{-1} |
|-----------------|------------------------|
| CINK | $28 \cdot 10^{-6}$ |
| ALUMINIJ | $24 \cdot 10^{-6}$ |
| MJED | $18 \cdot 10^{-6}$ |
| BAKAR | $17 \cdot 10^{-6}$ |
| ČELIK | $11,5 \cdot 10^{-6}$ |
| LJEVANO ŽELJEZO | $9 \cdot 10^{-6}$ |
| INVAR | $2,5 \cdot 10^{-6}$ |
| KVARC | $0,5 \cdot 10^{-6}$ |
| STAKLO | $2 - 11 \cdot 10^{-6}$ |

UTJECAJ SILE - VLASTITA TEŽINA



$$a = 0,2113 \cdot L$$



Granične mjerne plohe ostaju međusobno usporedne (Besselove točke)

$$a = 0,2203 \cdot L$$



Najmanje ukupno skraćenje duljine L

$$a = 0,2113 \cdot L$$



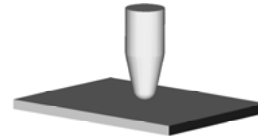
Najmanji progib

UTJECAJ MJERNE SILE – IZBOR MJERNE KAPICE

MJERNA POVRŠINA
RAVNINA



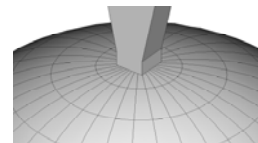
KUGLASTA KAPICA



MJERNA POVRŠINA
KUGLA



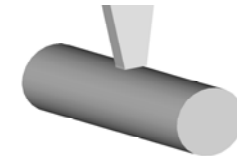
PLANSKA KAPICA



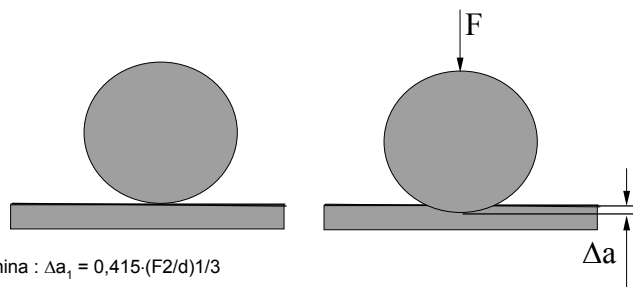
MJERNA POVRŠINA
VALJAK



NOŽASTA KAPICA



Mjerna sila - elastične deformacije



Kugla – ravnina : $\Delta a_1 = 0,415 \cdot (F^2/d)^{1/3}$

Kugla između dvije ravnine : $\Delta a_2 = 2 \cdot \Delta a_1$

Valjak – ravnina : $\Delta a_3 = 4,69 \cdot 10^{-2} F \cdot (1/d)^{1/3} L$

Valjak između dvije ravnine : $\Delta a_4 = 2 \cdot \Delta a_3$

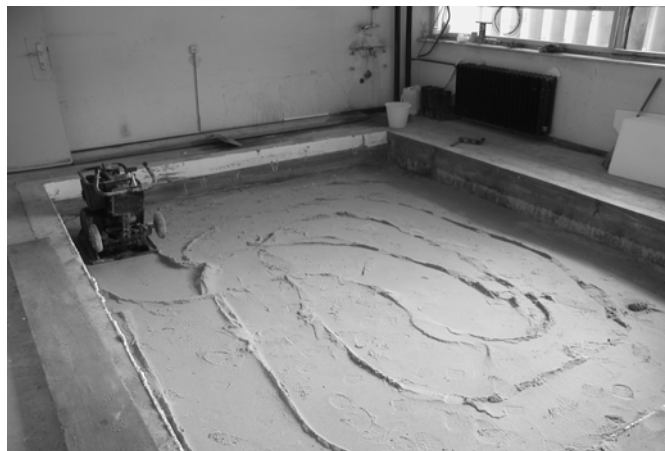
Valjak - valjak (ukršteno): $\Delta a_5 = 0,415 \left[F^2 \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \right]^{1/3}$

F u N, a dužinske mjere u mm → Δa_i u μm

ZAŠTITA OD VIBRACIJA PROSTORA ZA NANOMJERITELJSTVO



ZAŠTITA OD VIBRACIJA PROSTORA ZA NANOMJERITELJSTVO





ZNAČAJKE MJERILA



- **Nazivno područje**- područje pokazivanja koje se obično izražava svojom donjom i gornjom granicom.
- **Raspon**- apsolutna vrijednost razlike između dviju granica nazivnog područja.
- **Nazivna vrijednost**- zaokružena približna vrijednost značajke mjerila koja služi kao uputa za njegovu upotrebu (paralelna granična mjerka 100 mm).
- **Mjerno područje**- skup vrijednosti mjerenih veličina za koje se pogreška mjerila mora nalaziti unutar navedenih granica.
- **Granični uvjeti**- krajnji uvjeti koje mjerilo mora izdržati bez oštećenja i bez gubljenja mjeriteljskih značajki u radu pod određenim radnim uvjetima.
- **Osjetljivost**- promjena odziva mjerila podijeljena s odgovarajućom promjenom poticaja.
- **Prag osjetljivosti**- najveća promjena (spora i jednolična) poticaja koja ne izaziva zamjetnu promjenu odziva.
- **Razlučivanje**- najmanja razlika između pokazivanja pokaznog uređaja koja se može jasno zamijetiti.



- **Područje neosjetljivosti**- najveći raspon u kojem se poticaj može promijeniti u oba smjera, a da ne izazove promjenu odziva mjerila.
- **Stabilnost**- sposobnost mjerila da održava svoje mjeriteljske značajke stalnim u vremenu.
- **Slabljenje mjeriteljskih značajki (drift)**- spora promjena mjeriteljskih značajki mjerila.
- **Točnost mjerila**- sposobnost mjerila da daje odzive bliske istinitoj (referentnoj) vrijednosti.
- **Razred točnosti**- razred mjerila koja zadovoljavaju zahtjeve kojima je svrha održavanje pogrešaka u navedenim granicama.
- **Pogreška (pokazivanja) mjerila**- pokazivanje mjerila manje istinita (referencijska) vrijednost odgovarajuće ulazne veličine.
- **Granična pogreška**- krajnje vrijednosti pogreške dopuštene specifikacijama, propisima itd. za određeno mjerilo.



ISKAZIVANJE MJERNOG REZULTATA

MJERNI REZULTAT: vrijednost dobivena mjerenjem

Iskazivanjem mjernog rezultata treba jasno naznačiti odnosi li se na:
neispravljeni rezultat,
ispravljeni rezultat,
prosjeck više vrijednosti.

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

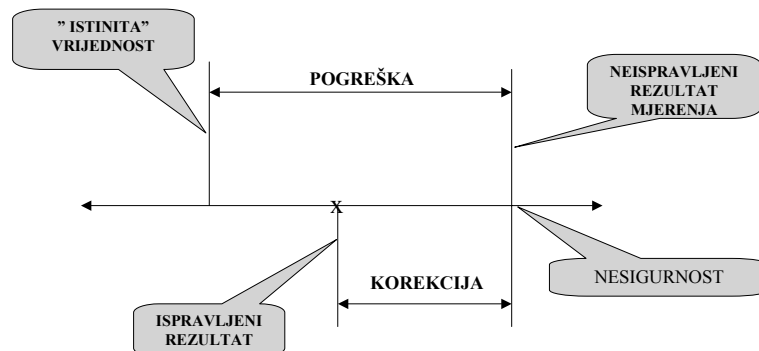
- **Neispravljeni rezultat**- mjerni rezultata prije ispravljanja sustavne pogreške.
- **Ispravljeni rezultat**- mjerni rezultata nakon ispravljanja sustavne pogreške.
- **Mjerna pogreška**- mjerni rezultat manje istinita vrijednost mjerene veličine.

$$p = x_i - x \quad x_i - \text{izmjerena vrijednost} ; x - \text{istinita vrijednost}$$

- **Odstupanje**- vrijednost manje njezina referencijska vrijednost.
- **Mjerna nesigurnost**- parametar, pridružen rezultatu mjerenja, koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se opravdano moglo pripisati mjerenoj veličini.

$$l = 125,324 \text{ mm} \quad U = 5 \text{ } \mu\text{m} \text{ uz } k=2 \text{ i } P=95\%$$

- **Korekcija (ispravak)**- vrijednost manje njezina referencijska vrijednost (korekcija je jednaka negativnoj vrijednosti procijenjene sustavne pogreške).
- **Korekcijski faktor**- bročani faktor kojim se množi mjerni rezultat da bi se nadoknadila sustavna pogreška.



ANALIZA MJERNOG SUSTAVA U PROIZVODNIM UVJETIMA

PROCJENA MJERNOG SUSTAVA

TRI
OSNOVNA
PITANJA



Ima li mjerni sustav zadovoljavajuće razlučivanje?



Je li mjerni sustav stabilan?



Je li mjerni sustav sposoban za kontrolu procesa (proizvoda)?

POTREBE ZA ANALIZOM MJERNOG SUSTAVA

- pri preuzimanju nove mjerne opreme,
- pri usporedbi mjernih karakteristika različitih mjernih sredstava,
- pri utvrđivanju sustavnih pogrešaka,
- pri usporedbi mjernih karakteristika prije i poslije popravka mjerne opreme,
- pri određivanju sastavnica za izračunavanje varijacija procesa mjerenja i ocjenjivanja prihvatljivost za kontrolu proizvodnog procesa.

KLASIFIKACIJA POGREŠAKA MJERNOG SUSTAVA

NETOČNOST

LINEARNA POGREŠKA

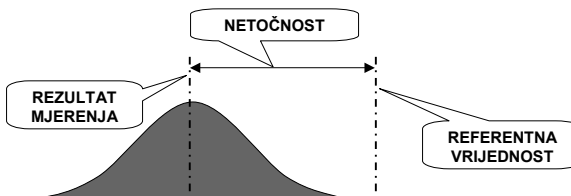
NESTABILNOST

PONOVLJIVOST

OBNOVLJIVOST

NETOČNOST

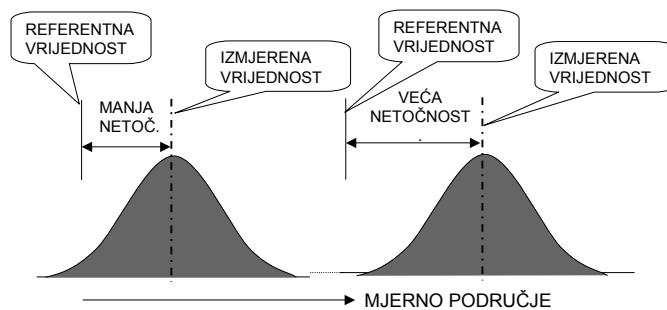
Netočnost je razlika između dobivenog rezultata mjerenja i referentne vrijednosti.



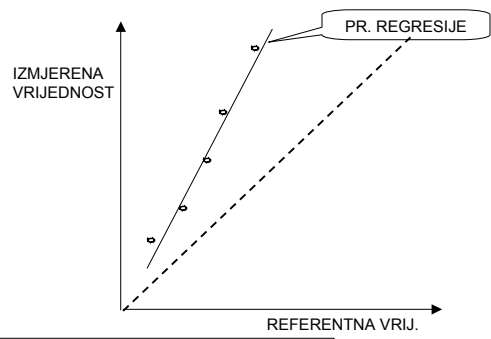
Referentna vrijednost je vrijednost koja služi kao dogovorena referenca za mjernu vrijednost, a može biti utvrđena na osnovi srednje vrijednosti rezultata više mjerenja provedenih mjernom opremom više razine točnosti.

LINEARNA POGREŠKA

Linearna pogreška je stalan (linearni) rast ili pad vrijednosti pogreške rezultata mjerenja (netočnosti) unutar određenog dijela mjernog područja instrumenta.



LINEARNA POGREŠKA



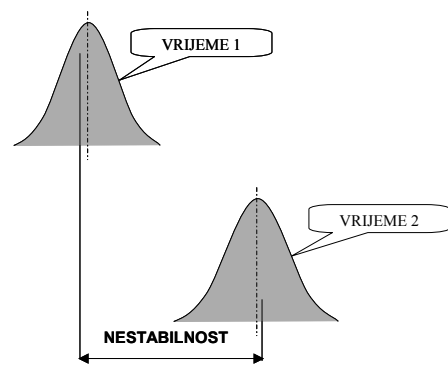
PRAVAC REGRESIJE $y = ax + b$

$$a = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad b = \frac{\sum y - a \sum x}{n}$$

Primjer: $(y = 1,022x - 0,0001) \text{ mm}$
RELATIVNA LINEARNA POGREŠKA
0,022 mm/mm
22 μm/mm

NESTABILNOST

Nestabilnost je totalna varijacija mjerenja jedne karakteristike tijekom dužeg vremenskog razdoblja.

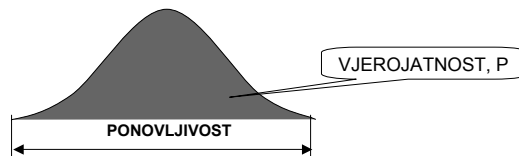


PONOVLJIVOST

Ponovljivost je usko slaganje između rezultata uzastopnih mjerenja iste mjerene veličine izvedenih u istim mjernim uvjetima koji uključuju:

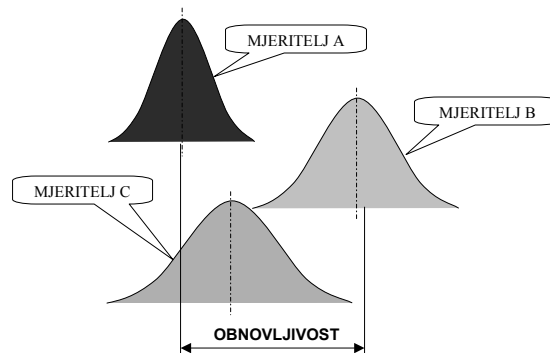
- isti mjerni postupak,
- istog mjeritelja
- isto mjerilo upotrebljavano u istim uvjetima
- isto mjerno mjesto
- ponavljanje u kratkom vremenu

Ponovljivost se može izraziti količinski s pomoću značajki rasipanja rezultata.



OBNOVLJIVOST

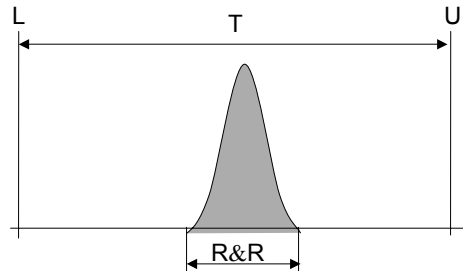
Obnovljivost je rasipanje rezultata mjerenja dobiveno od strane većeg broja mjeritelja pri višestrukom mjerenju iste karakteristike na istim dijelovima uz korištenje istog ili različitog mjernog instrumenta.



Obnovljivost u najvećoj mjeri određuje utjecaj mjeritelja u varijaciji mjernog sustava.

SPOSOBNOST MJERNOG SUSTAVA

Sposobnost mjernog sustava predstavlja udio varijabilnosti mjernog sustava (R&R) iskazanog postotkom područja dopuštenog odstupanja (T).



$$\text{SPOSOBNOST MJERNOG SUSTAVA} = \frac{R \ \& \ R}{T} \cdot 100 \%$$

PROCJENA SPOSOBNOSTI MJERNOG SUSTAVA

METODA ARITMETIČKIH SREDINA I RASPONA $(\bar{X} - R)$

VARIJACIJA OPREME
(ponovljivo st)

$$EV = 5,15 \frac{\bar{R}}{d_2} ; \bar{R} = \frac{\sum R}{g}$$

VARIJACIJA MJERITELJA
(obnovljivo st)

$$AV = \sqrt{\left(5,15 \frac{R_0}{d_2}\right)^2 - \left(5,15 \frac{\bar{R}}{d_2}\right)^2 \left(\frac{1}{n \cdot r}\right)}$$

$$R_0 = \bar{X}_{\max} - \bar{X}_{\min}$$

VARIJACIJA DIJELOVA

$$PV = 5,15 \cdot \frac{R_p}{d_2^{\otimes}}$$

PONOVLJIVOST I OBNOVLJIVOST

$$R \ \& \ R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$$

UKUPNA VARIJACIJA

$$TV = \sqrt{(R \ \& \ R)^2 + PV^2}$$

PROCJENA SPOSOBNOSTI MJERNOG SUSTAVA

Ukoliko je udio R&R u tolerancijskom polju T ili ukupnoj varijaciji TV:

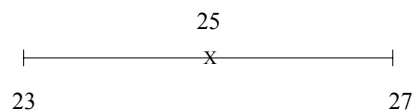
| | | |
|------------|---|---|
| < 10 % | ⇒ | mjerni sustav je zadovoljavajući |
| 10 % - 30% | ⇒ | mjerni sustav se može smatrati zadovoljavajućim (ovisno o značajnosti primjene) |
| >30 % | ⇒ | potrebna su poboljšanja u mjernom sustavu |

MJERNA NESIGURNOST

ŠTO JE MJERNA NESIGURNOST?

MJERNA NESIGURNOST definirana je kao parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini uz određenu vjerojatnost.

Rezultat mjerenja: $d = 25 \mu\text{m}$
 Proširena mjerna nesigurnost: $U = 2 \mu\text{m}, k=2, P= 95\%$



ZAŠTO PROCJENJUJEMO MJERNU NESIGURNOST?

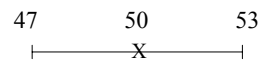
Mjerenja nisu savršena kako zbog djelovanja slučajnih utjecaja (trenutna promjena temperature, tlaka i vlage ili neiskustvo mjeritelja, nesavršenost uređaja i osjetila) tako i zbog ograničenih mogućnosti korekcije sustavnih djelovanja (promjena karakteristike instrumenta između dva umjeravanja, utjecaj mjeritelja pri očitavanju analogne skale, nesigurnost vrijednosti referentnog etalona itd.). Mjerna nesigurnost je upravo posljedica djelovanja slučajnih utjecaja i ograničenih mogućnosti korekcije sustavnih djelovanja.

ZAŠTO PROCJENJUJEMO MJERNU NESIGURNOST?

Radi nedvosmislenog iskazivanja i usporedbe mjernih rezultata dobivenih u različitim umjernim i ispitnim laboratorijima.

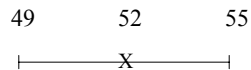
LABORATORIJ 1:

$d = 50 \mu\text{m}$; $U = 3$, $k = 2$, $P = 95\%$



LABORATORIJ 2:

$d = 52 \mu\text{m}$; $U = 3$, $k = 2$, $P = 95\%$



ZAŠTO PROCJENJUJEMO MJERNU NESIGURNOST?

Radi usporedbe mjernih rezultata sa specifikacijama proizvođača ili zadanom tolerancijom.

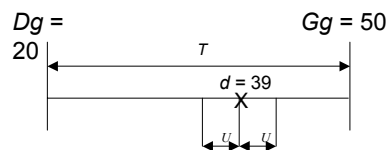
LABORATORIJ:

$d = 39 \mu\text{m}$; $U = 4 \mu\text{m}$ $k = 2$, $P = 95\%$

Tolerancija:

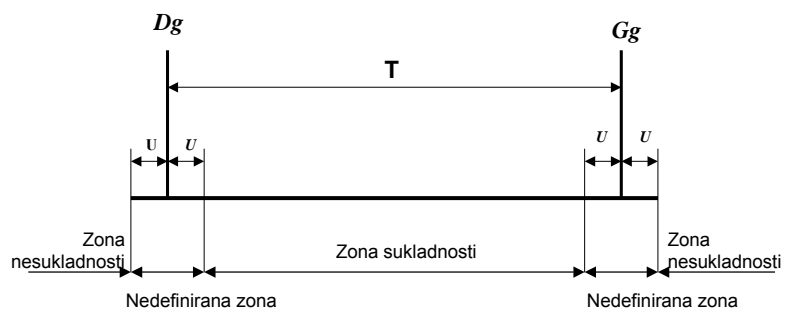
Donja granica $Dg = 20 \mu\text{m}$

Gornja granica $Gg = 50 \mu\text{m}$



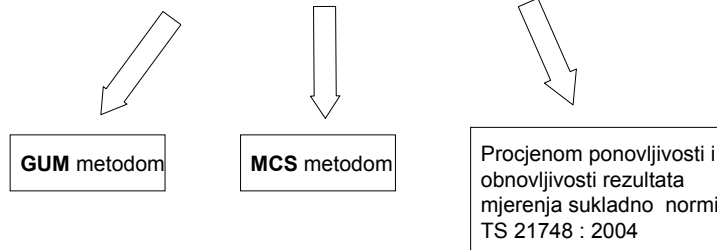
ZAŠTO PROCJENJUJEMO MJERNU NESIGURNOST?

Pravilo sukladnosti:



KAKO PROCIJENITI MJERNU NESIGURNOST REZULTATA MJERENJA?

Procjena mjerne nesigurnosti



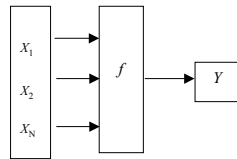
GUM METODA

Osnovni

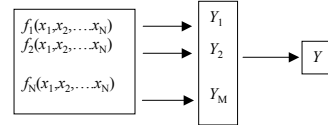
koraci:

1. Mjerni model

U većini slučajeva mjerena veličina Y ne mjeri se izravno nego se određuje iz N drugih veličina x_1, x_2, \dots, x_N na temelju funkcijskog odnosa koji predstavlja osnovni matematički model za potpuno određenje mjerene veličine.



Slika 1. Skalarni odnos između ulaznih veličina i mjerene veličine



Slika 2. Vektorski odnos između ulaznih veličina i mjerene veličine

2. Određivanje standardnih nesigurnosti $u(x_i)$ procjena ulaznih veličina x_1, x_2, \dots, x_N



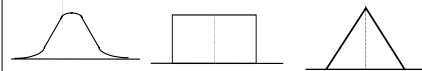
Iz niza ponovljenih mjerenja uz primjenu normalne i studentove razdiobe



$x_i \quad u(x_i)$

Sastavnica nesigurnosti A vrste

Iz apriornih razdioba vjerojatnosti



$x_i \quad u(x_i)$

Sastavnica nesigurnosti B vrste

Standardna nesigurnost A vrste

Zasniva se na bilo kojoj prihvatljivoj statističkoj metodi

Primjeri:

- računanje standardnog odstupanja srednje vrijednosti mjernog niza
- primjena metode najmanjih kvadrata odstupanja
- ANOVA (analiza varijance)

Procjena standardne nesigurnosti A vrste iz niza ponovljenih mjerenja:

$$u(x_i) = s(\bar{x}_i)$$

$$s(\bar{x}_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}}$$

Standardna nesigurnost B vrste

Procjena se temelji na znanstvenoj prosudbi svih raspoloživih podataka o X_j :

- iskustvo ili poznavanje ponašanja i svojstava instrumenata
- prethodni mjerni podaci
- proizvođačevi tehnički podaci,
- podaci s umjernica i ovjernica,
- podaci iz priručnika

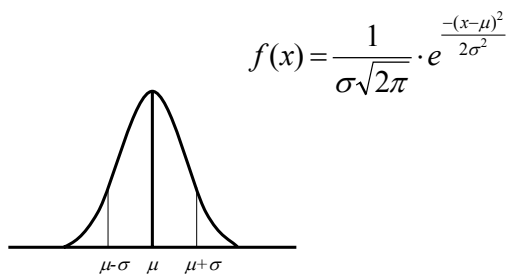
Standardna nesigurnost B vrste

Procjena se zasniva na apriornim razdiobama vjerojatnosti:

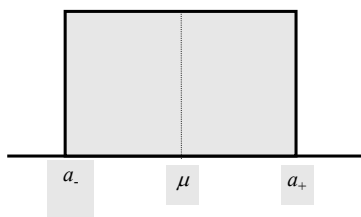
normalna ili Gaussova
pravokutna ili jednolika
trokutasta i dr.

Razdiobe vjerojatnosti

Normalna razdioba



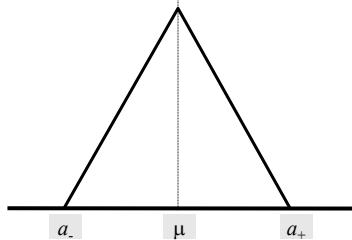
Pravokutna razdioba



Standardna nesigurnost $u(x_i)$

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

Trokutasta razdioba



Standardna nesigurnost $u(x_i)$

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{6}}$$

3. Određivanje sastavljene standardne nesigurnosti

Sastavljena standardna nesigurnost $u_c(y)$, određuje se odgovarajućim sastavljanjem standardnih nesigurnosti procjena ulaznih veličina.

Nekorelirane ulazne veličine $u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i)}$

Korelirane ulazne veličine $u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j)}$

gdje su: $c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$ koeficijenti osjetljivosti

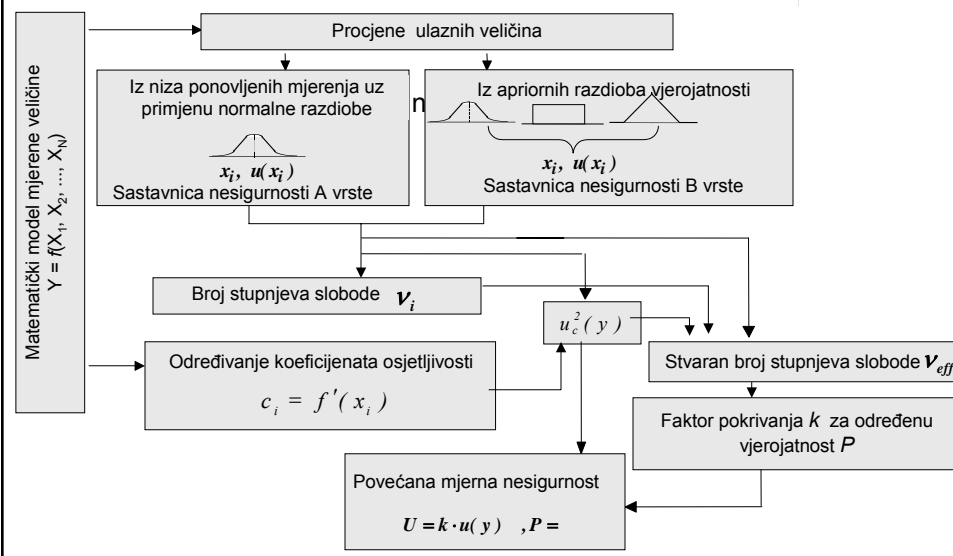
4. Određivanje proširene nesigurnosti

Proširena nesigurnost je veličina koja određuje interval oko mjernog rezultata za koji se može očekivati da obuhvaća veliki dio razdiobe vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini.

Proširena nesigurnost dobiva se množenjem složene standardne nesigurnosti $u_c(y)$ s faktorom pokrivanja k , a označuje se s U .

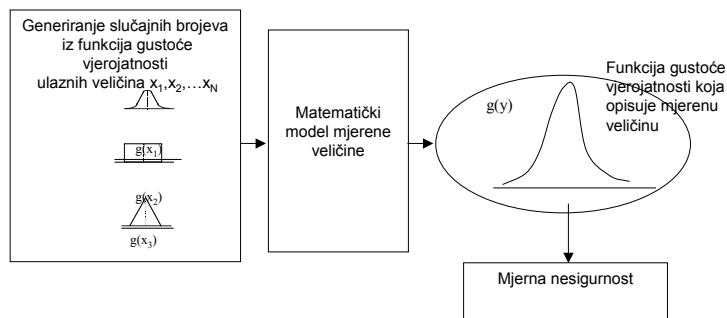
$$U = k \cdot u_c(y)$$

Proračun mjerne nesigurnosti GUM metodom



MCS METODA

MCS metoda u postupku procjenjivanja mjerne nesigurnosti rezultata mjerenja temelji se na generiranju slučajnih brojeva iz funkcija gustoće vjerojatnosti za svaku ulaznu veličinu x_i i stvaranju odgovarajuće vrijednosti izlazne veličine y , kombinirajući različite razdiobe kojima su definirane ulazne veličine.



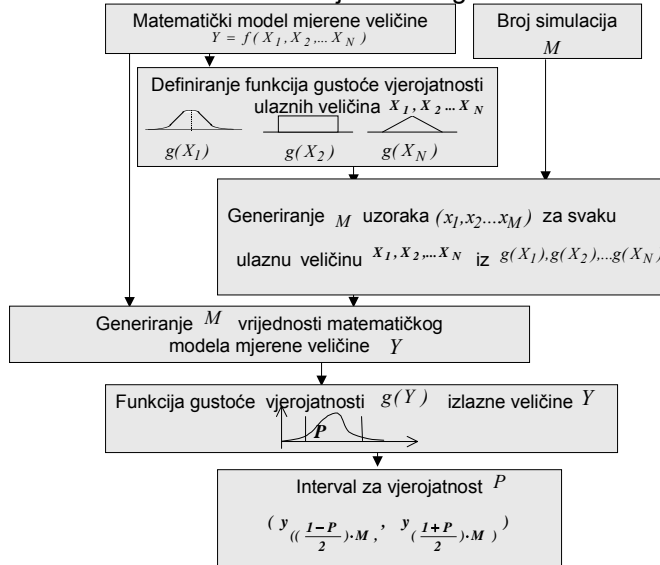
MCS METODA (Metoda Monte Carlo)

Primjena MCS metode omogućava vrednovanje i usporedbu rezultata dobivenih GUM metodom.

Kod primjene MCS metode također je potrebno napisati matematički model mjerene veličine, odnosno izraziti funkcijski odnos između mjerene veličine i ulaznih veličina.

Kod primjene MCS metode također je potrebno široko znanje o naravi mjerene veličine, te dobro poznavanje područja statistike i vjerojatnosti.

Proračun mjerne nesigurnosti MCS metodom



PROCJENA MJERNE NESIGURNOSTI NA OSNOVU PONOVLJIVOSTI I OBNOVLJIVOSTI REZULTATA MJERENJA SUKLADNO NORMI TS 21748 : 2004

Kao osnova za procjenu mjerne nesigurnosti koriste se mjere rasipanja: Ponovljivost i obnovljivost rezultata mjerenja.

Te mjere su procijenjena standardna odstupanja dobivena iz analize eksperimentalnih podataka.

U koliko je eksperiment postavljen tako da se variraju svi glavni utjecaji na mjernu nesigurnost tada će procjena mjerne nesigurnosti biti pouzdana i neće biti potrebno koristiti GUM metodu.



"Premda ove upute daju okvir za procjenu nesigurnosti, one ne mogu nadomjestiti kritičko mišljenje, intelektualno poštenje i profesionalnu uvježbanost. Proračun nesigurnosti nije ni rutinski ni čisto matematički zadatak, on ovisi o iscrpnom poznavanju naravi mjerene veličine i mjerenja. Kvaliteta i upotrebljivost iskazane nesigurnosti mjernog rezultata prema tome konačno ovise o razumijevanju, kritičkoj analizi i poštenju onih koji doprinose određivanju njezine vrijednosti." [3.4.8 GUM]



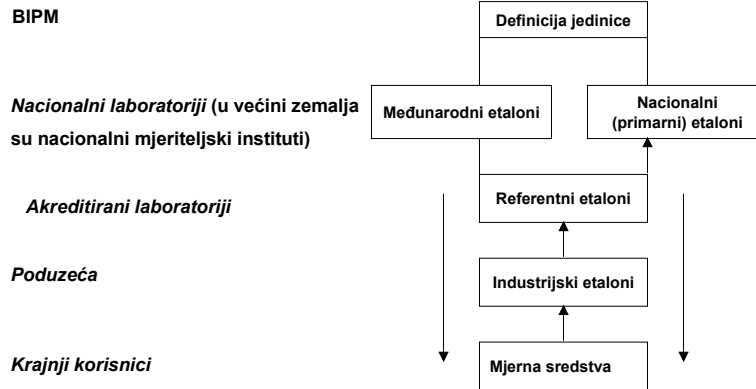
MJERNO JEDINSTVO

Mjerno jedinstvo: je takvo mjeriteljsko stanje u kojem su mjerni rezultati izraženi u zakonitim jedinicama koji se mogu, s utvrđenim mjernim nesigurnostima dovesti u vezu sa referencijskim etalonima.

Sastavnice mjernog jedinstva:

- Međunarodni sustav jedinica SI
- Etaloni
- Umjeravanje
- Sljedivost
- Mjeriteljska infrastruktura

MJERNE JEDINICE



Nesigurnost je veća u lancu sljedivosti prema dolje!

Zakonite mjerne jedinice u Republici Hrvatskoj uređene su Zakonom o mjernim jedinicama (Narodne novine br. 58 od 18 lipnja 1993.) te hrvatskim normama (HRN ISO 1000 i HRN ISO 31).

Zakonite mjerne jedinice razvrstavaju se u slijedeće 4 skupine:

1. Jedinice Međunarodnog sustava, tzv. jedinice SI:
 - osnovne
 - izvedene s posebnim nazivima i znakovima
 - izvedene bez posebnih naziva i znakova
2. Iznimno dopuštene jedinice izvan SI
3. Decimalne jedinice (tvore se pomoću decimalnih predmetaka)
4. Složene izvedene jedinice.



OSNOVNE JEDINICE SI

| Naziv | Znak | Veličina |
|----------------------------------|------|-------------------------------|
| metar | m | duljina |
| kilogram ¹⁾ | kg | masa |
| sekunda | s | vrijeme |
| Amper (Andre-Marie Ampere) | A | električna struja |
| Kelvin (Lord Kelvin) | K | termodinamička temperatura |
| mol | mol | množina (količina) tvari |
| kandela | cd | svjetlosna jakost |



IZVEDENE JEDINICE SI S POSEBNIM NAZIVIMA I ZNAKOVIMA

| Naziv | Znak | Veza s drugim jedinicama SI | Veličina |
|--------------------------------|------|-----------------------------|---|
| bekerelel | Bq | s ⁻¹ | aktivnost radioaktivnog izvora |
| Celzijev stupanj ¹⁾ | °C | K | Celzijeva temperatura |
| džul | J | N m | rad, energija, toplina |
| farad | F | C/V | električni kapacitet |
| grej | Gy | J/kg | apsorbirana doza ionizirajućeg zračenja |
| henri | H | Wb/A | induktivnost |
| herc | Hz | s ⁻¹ | frekvencija |
| kulon | C | A s | elektricitet |

1) Najnovije preporuke predviđaju da se i od Celzijeva stupnja tvore decimalne jedinice, što prije nije bilo dopušteno.

| | | | |
|-------------------------|-----|---------------------|---|
| luks | lx | lm/m ² | osvjetljenje |
| lumen | lm | cd sr | svjetlosni tijek |
| njutn | N | kg m/s ² | sila |
| om | Ω | V/A | električni otpor |
| paskal | Pa | N/m ² | tlak |
| radijan ²⁾ | rad | 1 | kut |
| simens | S | A/V | električna vodljivost |
| sivert | Sv | J/kg | ekvivalentna doza |
| steradian ²⁾ | sr | 1 | ugao (prostorni kut) |
| tesla | T | N/(A m) | magnetna indukcija |
| vat | W | J/s | snaga |
| veber | Wb | T m ² | magnetni tijek |
| volt | V | W/A | električni potencijal, napon, elektromotorna sila |

2) Jedinice radijan i steradian bile su svojedobno razvrstane u posebnu skupinu tzv. dopunskih jedinica SI. Dvadeseta opća konferencija za utege i mjere (CIPM) 1995. god. svojom je Rezolucijom br. 8 ukinula tu skupinu, a jedinice radijan i steradian proglasila izvedenim jedinicama SI, bez dimenzije.

IZVEDENE JEDINICE SI BEZ POSEBNIH NAZIVA I ZNAKOVA

| Naziv | Znakovi | Veličina |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------|
| četvorni metar | m ² | ploština |
| kubni metar | m ³ | obujam |
| recipročni metar | 1/m, m ⁻¹ | valni broj |
| metar u sekundi | m/s | brzina |
| metar u sekundi na kvadrat | m/s ² | ubrzanje |
| kubni metar u sekundi | m ³ /s | obujamni protok |
| kilogram po kubnom metru | kg/m ³ | gustoća |
| džul po četvornom metru | J/m ² | energijska gustoća |
| džul po kilogramu | J/kg | energijski tijek |
| džul po kilogramkelvinu | J/(kg K) | specifični toplinski kapacitet |
| kandela po četvornom metru | cd/m ² | svjetljivost |
| mol po kubnom metru | mol/m ³ | množinska koncentracija |
| grej u sekundi | Gy/s | brzina apsorbirane doze |
| (broj) jedan ¹⁾ | 1 | lomni indeks |

1) Znak broja jedan (1) obično se ispušta pri iskazivanju brojčane vrijednosti.

DOPUŠTENE JEDINICE IZVAN SI S POSEBNIM NAZIVIMA I ZNAKOVIMA

| Naziv | Znak | Veza s jedinicama SI | Veličina | Uporaba samo za |
|-----------------------|----------------|---|----------|-----------------------------------|
| morska milja | | 1852 m | duljina | pomorski, riječni i zračni promet |
| astronomska jedinica | | $\sim 1,495\,978\,7 \cdot 10^{11}$ m | | astronomiju |
| ar | a | 100 m ² | ploština | ploštinu zemljišta |
| hektar | ha | 10 000 m ² | | |
| litra | l, L | 10 ⁻³ m ³ = dm ³ | obujam | |
| stupanj | 1° | | | |
| minuta | 1' | | kut | |
| sekunda | 1" | | | |
| gon | 1 ^g | | | |
| atomska jedinica mase | u | $\sim 1,66057 \cdot 10^{-27}$ kg | | fiziku i kemiju |
| karat | | $2 \cdot 10^{-4}$ kg | masa | masu dragulja |
| gram | g | 10 ⁻³ kg | | |

PRAVILA ZA ISPRAVNU UPORABU PREDMETAKA

- Predmetci su potencije broja 10 (a ne npr. potencije broja 2)
Primjer: jedan kilobit predstavlja 1000 bita, a ne 1024 bita.
- Predmetci se moraju pisati bez razmaka ispred znaka jedinice.
Primjer: centimetar se piše cm, a ne c m.
- Ne smiju se upotrebljavati sastavljeni predmetci.
Primjer: Mora se pisati 1 mg a ne 1 μ kg.
- Znakovi jedinica se ne pišu velikim slovima osim ako naziv jedinice potječe od osobnog imena.
Primjer: Jedinica Kelvin se piše kao znak K.
- Jedinice koje su sastavljene množenjem više jedinica moraju se pisati s točkom kao znakom množenja ili s razmakom.
Primjer: Umjesto npr. nmK treba pisati nm K ili nm·K.
- Sastavljene jedinice smiju uključivati samo jednu kosu crtu. Za složene kombinacije dopušta se uporaba zagrada ili negativnih eksponenata.
Primjer: m/s², ne m/s/s.

- Jedinice koje su sastavljene dijeljenjem jedne jedinice drugom moraju se pisati s kosom crtom ili s negativnim eksponentom.
Primjer: m/s ili ms^{-1}
- Znakovi se moraju odvajati od brojčane vrijednosti.
Primjer: 5 kg a ne $5kg$
- Za odvajanje cijelog od decimalnog dijela brojčane vrijednosti treba koristiti decimalni zarez a ne točku.
Primjer: $384,523$ a ne 384.523
- Između skupina od tri znamenke treba biti razmak i na lijevoj i na desnoj strani od decimalnog zareza. Četveroznamenkasti brojevi mogu se pisati bez razmaka.
Primjer: $15\ 739,012\ 53$.
- Za odvajanje tisućica ne smiju se upotrebljavati točke.
Primjer: $2\ 321\ 458,242\ 12$ a ne $2.321.458,24212$
- Mora biti jasno kojemu znaku pripada brojčana vrijednost i koja se matematička operacija primjenjuje na vrijednost veličine.
Primjer: $35\text{ cm} \cdot 48\text{ cm}$, a ne $35 \cdot 48\text{ cm}$.

ETALON

Etalon je materijalizirana mjera, mjerilo, referencijska tvar ili mjerni sustav namijenjen za određivanje, ostvarivanje, čuvanje ili obnavljanje jedinice jedne ili više vrijednosti kakve veličine da bi mogli poslužiti kao referencija.



Set paralelnih
graničnih mjerki



ETALONI

- **Međunarodni etalon:** etalon priznat međunarodnim dogovorom da bi služio kao međunarodna osnova za dodjeljivanje vrijednosti drugim etalonima određene veličine.
- **Državni etalon:** etalon priznat odlukom države da bi služio u toj državi kao osnova za dodjeljivanje vrijednosti drugim etalonima određene veličine.
- **Primarni etalon:** etalon koji je izabran ili za koji je opće potvrđeno da ima najveću mjeriteljsku kvalitetu, a čija se vrijednost potvrđuje bez upućivanja na druge etalone iste veličine.
- **Sekundarni etalon:** etalon kojemu je vrijednost dodijeljena usporedbom s primarnim etalom iste veličine.
- **Referencijski etalon:** etalon koji općenito ima najveću mjeriteljsku kvalitetu na danom mjestu ili u danoj organizaciji iz kojeg se izvode mjerenja koja se tu provode.
- **Radni etalon:** etalon koji se redovito upotrebljava za umjeravanje ili provjeru tvornih mjera, mjerila i referencijskih tvari.



- **Posrednički etalon:** etalon koji se upotrebljava kao posrednik za usporedbu etalona.
- **Prijenosni etalon:** etalon, katkad posebne konstrukcije, namijenjen za prijenos na različita mjesta.

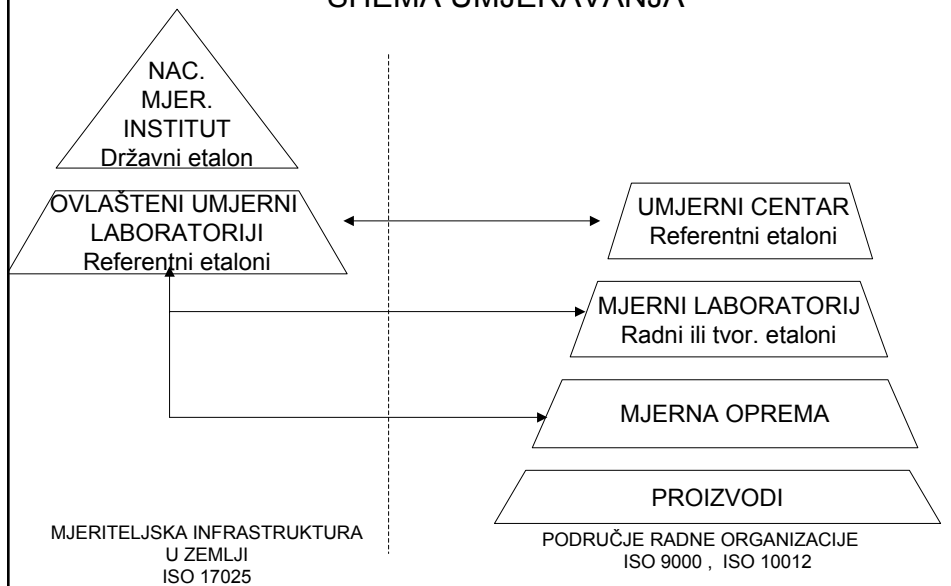
UMJERAVANJE

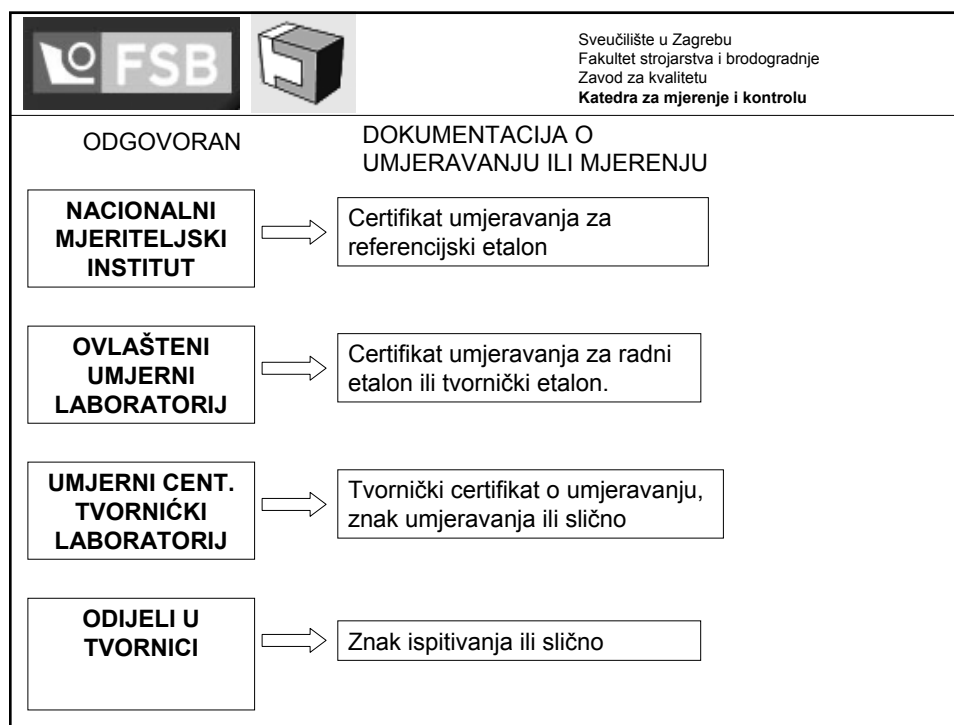
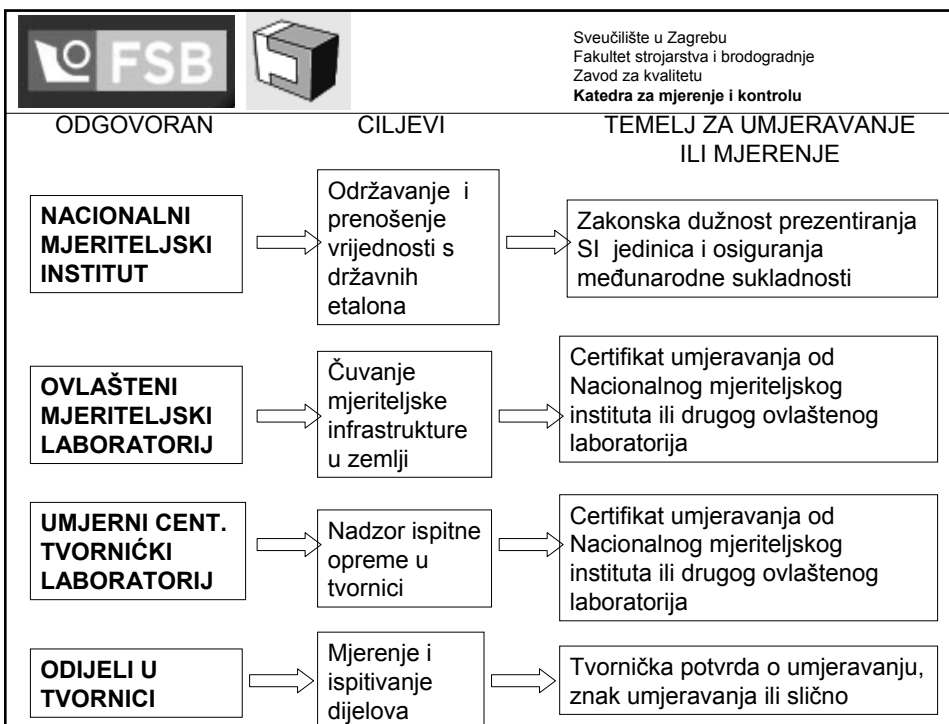
Skup postupaka kojima se u određenim uvjetima uspostavlja odnos između vrijednosti veličina koje pokazuje neko mjerilo ili mjerni sustav ili vrijednosti koje pokazuje neka materijalizirana mjera ili neka referencijska tvar i odgovarajućih vrijednosti ostvarenih etalonima.

SLJEDIVOST

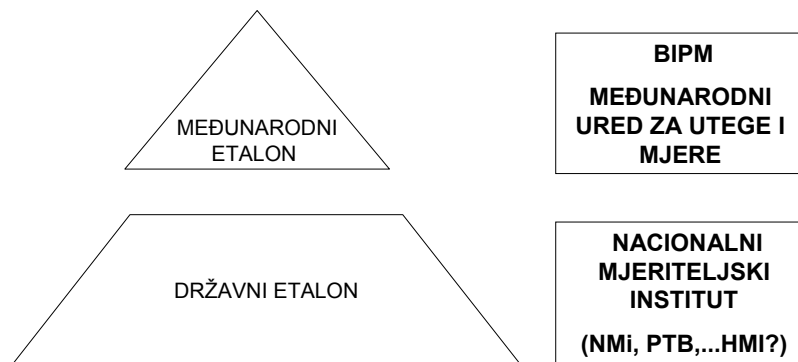
Svojstvo mjernog rezultata ili vrijednosti kojeg etalona po kojemu se on može dovesti u vezu s navedenim referencijskim etalonima (obično državnim ili međunarodnim) neprekinutim lancem usporedaba koje imaju utvrđene mjerne nesigurnosti.

HEMA UMJERAVANJA





MEĐUNARODNA SLJEDIVOST



ZADACI MEĐUNARODNOG UREDA ZA UTEGE I MJERE

- Uspostavljanje osnovnih etalona i skala za mjerenje osnovnih fizikalnih veličina i održavanje prototipova međunarodnih etalona.
- Ostvarivanje usporedbe nacionalnih i internacionalnih etalona.
- Osiguravanje koordinacije odgovarajućih tehnika mjerenja.
- Ostvarivanje i koordinacija odredbi koje se odnose na osnovne fizikalne konstante.



ZADACI NACIONALNIH MJERITELJSKIH INSTITUTA

- Ostvarenje, razvoj i održavanje državnih etalona;
- Održavanje sljedivosti državnih prema međunarodnim etalonima;
- Održavanje sljedivosti referencijskih etalona;
- Uspostavljanje međusobnog priznavanja nacionalnih etalona – sudjelovanje u međuregionalnim i regionalnim mjeriteljskim ključnim usporedbama.



MEĐULABORATORIJSKE USPOREDBE

Izvođenje umjeravanja na prenosivom uređaju (referencijski etaloni, mjerila instrumenti ili referencijske tvari) u više laboratorija radi usporedbe rezultata mjerenja.

CILJ

Provjeriti osposobljenost laboratorija, uključujući , kad god je to moguće, provjeru iskazane mjerne nesigurnosti

VRSTE LABORATORISKIH USPOREDBI

Kružna: kruženje uređaja među sudionicima; početak i kraj u referencijskom laboratoriju.

Zvezdasta: uređaj se vraća u referencijski laboratorij svaki put nakon što je sudionik završio mjerenja, ili svaki sudionik dobiva uzorak partije (šarže) prethodno izmjeren u referencijskom laboratoriju.

NIVOI MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI

SVIJET
(EC/BIPM)

EVROPA
(Euromet/Eurachem/EA)

NACIONALNI
(nacionalno akreditacijsko tijelo)

INDUSTRIJA
(na zahtjev i po izboru)

PRIPREMA I PROVEDBA MEĐULABORATORIJSKE USPOREDBE

1. Prijedlog za međulaboratorijsku usporedbu
2. Izbor etalona i smjernice za upute
3. Izbor učesnika i referencijskog laboratorija
4. Plan kruženja i konačne upute
5. Provedba mjerenja
6. Izvještaj o rezultatima (povjerljivo)

IZVJEŠTAJ O REZULTATIMA MEĐULABORATORIJSKE USPOREDBE

1. Izvještaji laboratorija
2. Popravne radnje (Kriterij E_n)
3. Nacrt izvještaja
4. Konačni izvještaj

$$E_n = \frac{X_{lab} - X_{ref}}{\sqrt{(U_{lab}^2 + U_{ref}^2)}}$$

E_n - faktor slaganja

X_{lab} - rezultat mjerenja laboratorija učesnice

X_{ref} - rezultat mjerenja referencijskog laboratorija

U_{lab} - mjerna nesigurnost laboratorija učesnice

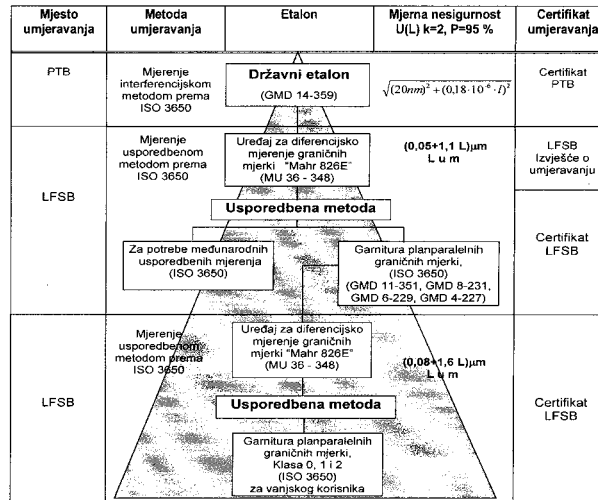
U_{ref} - mjerna nesigurnost referencijskog laboratorija

Mjerenja usporediva ako je $E_n < 1$

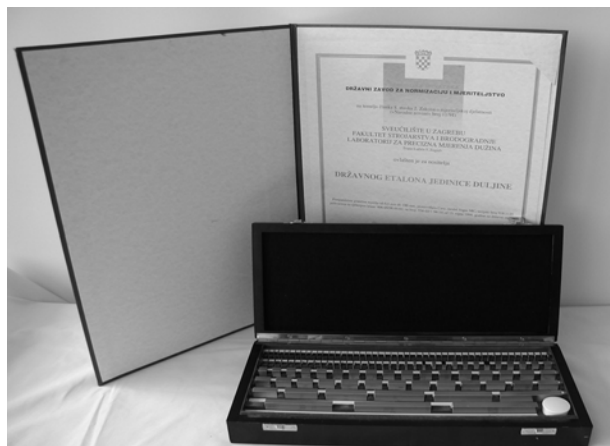
MJERITELJSKE SPOSOBNOSTI LABORATORIJA ZA PRECIZNA MJERENJA DUŽINA FSB-a

| | | |
|-------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Duljina: | L=0,5-100 mm | U=(0,05+1,1L) μm, L u m, k=2, P=95% |
| | L=100-500 mm | U=(0,2+0,9L) μm, L u m, k=2, P=95% |
| Hrapavost: | R_a =(0,008-30) μm | U=5%, k=2, P=95% |
| | R_y, R_z =(0,025-100) μm | U=8%, k=2, P=95% |
| Kut: | α =0°-90° | U=0,5", k=2, P=95% |

SHEMA UMJERAVANJA JEDINICE DULJINE (HRVATSKA)

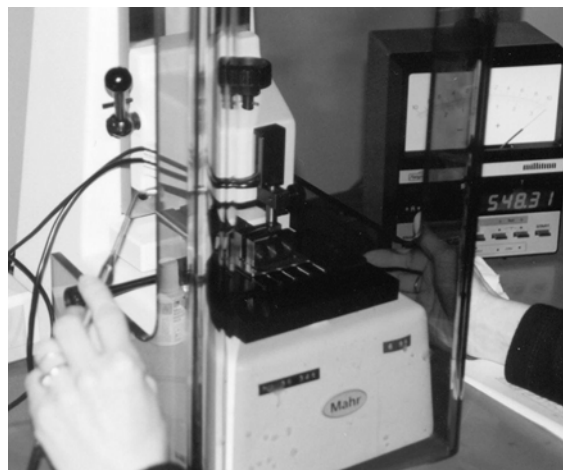


DRŽAVNI ETALON JEDINICE DULJINE



Laboratorij LFSB nositelj državnog etalona duljine

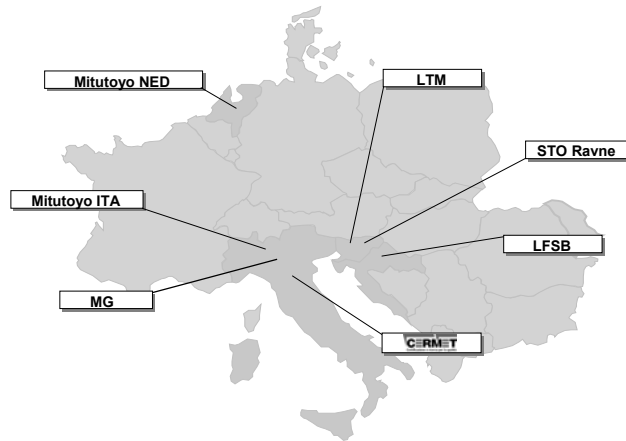
USPOREDBENO MJERENJE ETALONA DULJINE
Komparator Mahr 8 (SIT akreditacija)



Temeljno načelo u radu Laboratorija:

SAZNAT ĆEMO KAKO MJERIMO
AKO IZAĐEMO IZ LABORATORIJA.

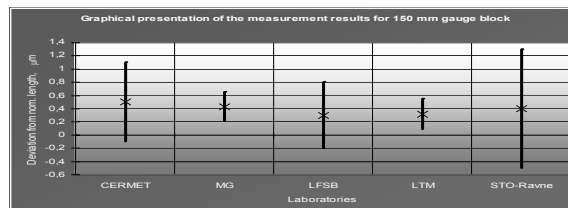
Laboratoriji s kojima LFSB ima stalnu, vrlo uspješnu suradnju (godišnja usporedbena mjerenja, razmjena stručnjaka, razmjena iskustva i dr.)



REZULTATI USPOREDBENIH MJERENJA PARALELNE GRANIČNE MJERKE 150 mm

| | CERMET | MG | LFSB | LTM | STO-Ravne |
|-------------------|--------|------|------|------|-----------|
| $\Delta L, \mu m$ | 0,50 | 0,43 | 0,30 | 0,32 | 0,40 |
| $U, \mu m$ | 0,60 | 0,22 | 0,50 | 0,23 | 0,90 |

Rezultati mjerenja



Grafički prikaz rezultata mjerenja

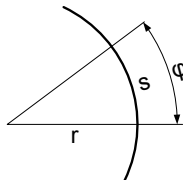
| | CERMET | MG | LFSB | LTM | STO-Ravne |
|-----------|--------|------|------|------|-----------|
| CERMET | | 0,11 | 0,26 | 0,28 | 0,09 |
| MG | 0,11 | | 0,24 | 0,35 | 0,03 |
| LFSB | 0,26 | 0,24 | | 0,04 | 0,10 |
| LTM | 0,28 | 0,35 | 0,04 | | 0,09 |
| STO-Ravne | 0,09 | 0,03 | 0,10 | 0,09 | |

Faktor slaganja

MJERENJE KUTOVA

Mjerenje kutova

1 rad je kut u ravnini između dva polumjera koji na krugu zahvaćaju luk jednak dužini polumjera



$$1 \text{ rad} : s = r \quad \varphi = \frac{s}{r} \quad \varphi = \frac{r}{r}$$

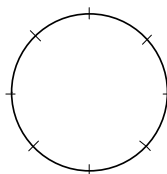
Osigurani uvjeti koherencije u SI-sustavu

- STUPANJ °
- MINUTA ′
- SEKUNDA ″

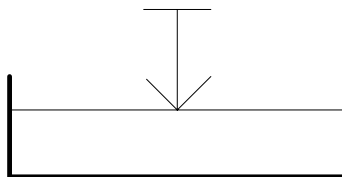
Seksagezimalni sustav - nekompatibilan sa SI-sustavom

Kutni stupanj – relativno jednostavno ostvariv u prirodi

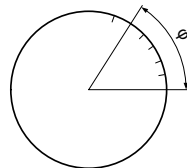
Podjela punog kruga na 4, odnosno u drugi broj po volji jednakih dijelova



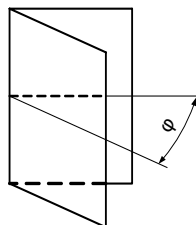
Realizacija pravog kuta razinom tekućine i viskom



Mjerenje podjele kruga



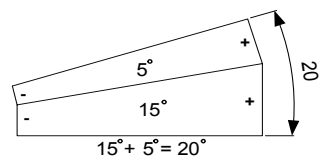
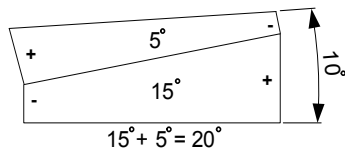
Mjerenje diedra (kuta između 2 ravnine)



ETALONI ZA KUTOVE

Kutne granične mjerke – kut između dvije ravnine

Kombinacija kutnih graničnih mjerki



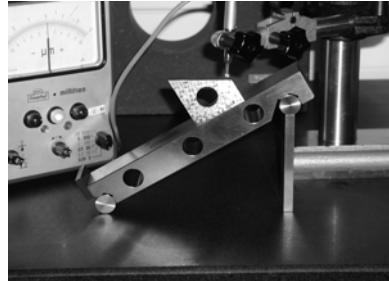
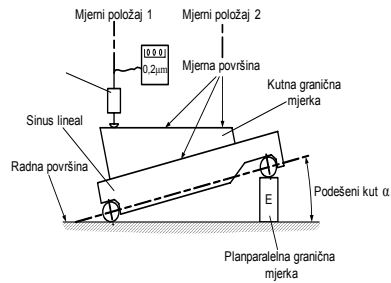
Garnitura kutnih graničnih mjerki – korak 1”
 - 16 mjerki

| | | | | | |
|----|----|----|-----|-----|-----|
| 1° | 3° | 5° | 15° | 30° | 45° |
| 1′ | 3′ | 5′ | 20′ | 30′ | |
| 1″ | 3″ | 5″ | 20″ | 30″ | |

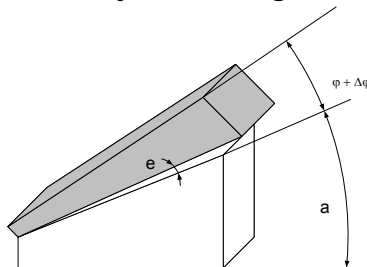
Garnitura kutnih graničnih mjerki



Primjena kutnih graničnih mjerki pri provjeri paralelnosti površina



Pogreška kuta uslijed nepodudaranja mjernih ravnina kod kombinacije kutnih graničnih mjerki



Pogreška : $\Delta\varphi = -(\varepsilon^2/4)\sin 2\varphi$

Primjer : $\varepsilon = 3^\circ = 0,05236 \text{ rad}$; $\varphi = 45^\circ$
 $\sin 2\varphi = 1$; $\Delta\varphi = -2,5''$

ETALONI ZA KUTOVE

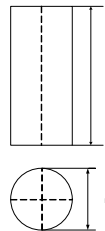
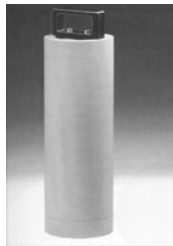
Mjerni valjak – etalon pravog kuta

Tehničke karakteristike :

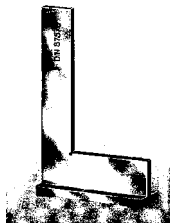
Visina - 150 do 700 mm

Promjer - 75 do 200 mm

Masa - 5,5 do 75 kg



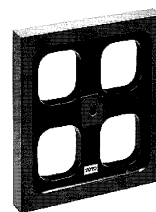
ETALONI PRAVOG KUTA



RADIONIČKI KUTNIK

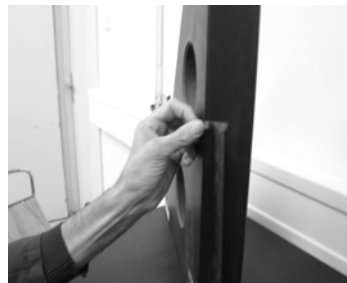
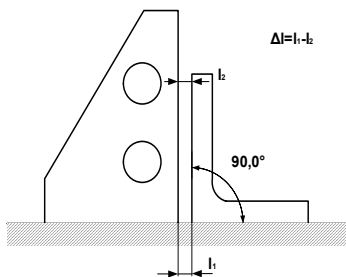


GRANITNI KUTNIK



KUTNIK KVADRATNOG
OBLIKA

Provjera radioničkog kutnika 90° primjenom mjerne ploče, granitnog kutnika i planparalelnih graničnih mjerki



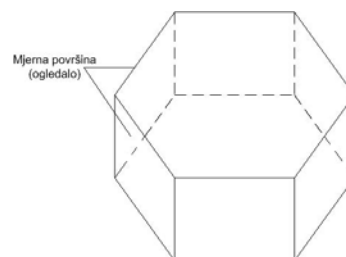
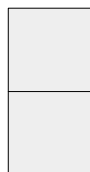
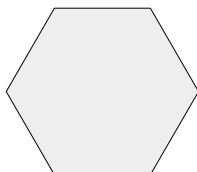
ETALON ZA KUTOVE

Kutni poligon – etalon podijele kruga

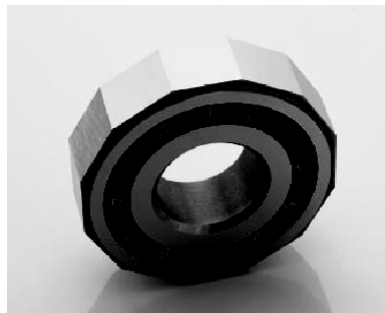
Tehničke karakteristike :

- | | |
|---------------|---------------------|
| Materijal | - čelik, staklo |
| Broj stranica | - 3 do 72 (120°-5°) |

Šest stranični kutni poligon



DVANAEST STRANIČNI KUTNI



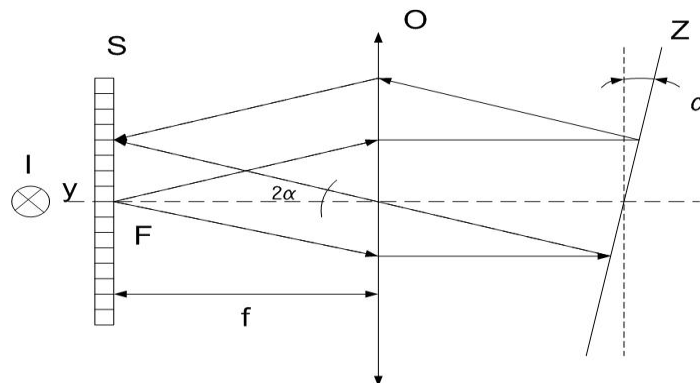
PRINCIP AUTOKOLIMACIJE

- I izvor svjetla
- S skala
- O objektiv
- Z zrcalo

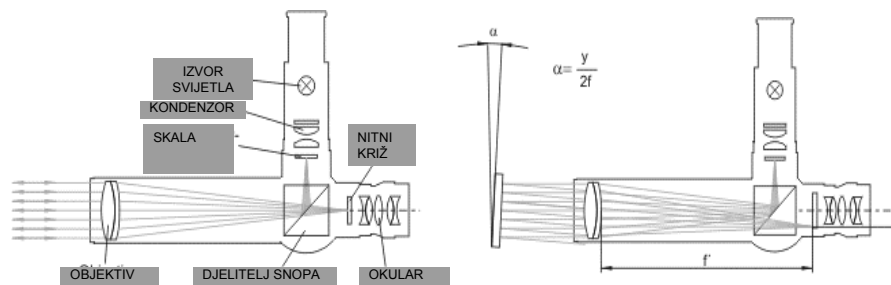
$$y = f \cdot \operatorname{tg} 2\alpha$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha \approx 2\alpha$$

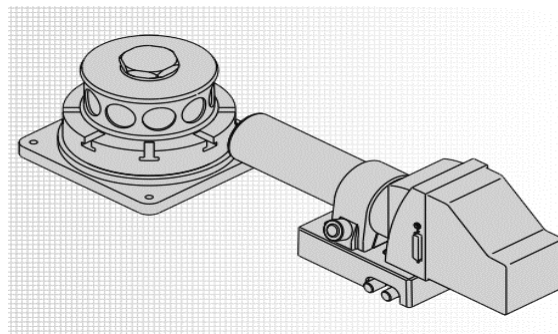
$$y = 2 \cdot f \cdot \alpha$$



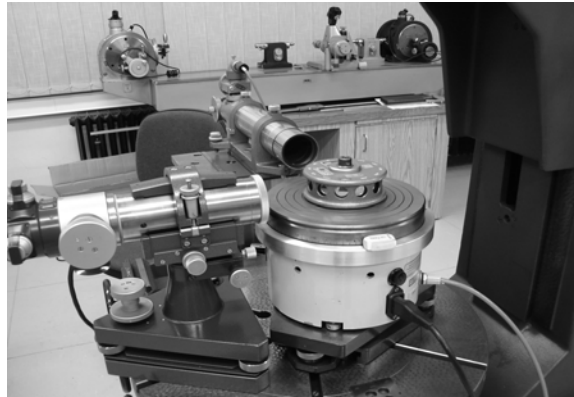
AUTOKOLIMATOR



ISPITIVANJE DIOBENOG STOLA POLIGONOM I AUTOKOLIMATOROM



UMJERAVANJE DVANAESTSTRANIČNIIOG KUTNOG POLIGONA S DVA ATOKOLIMATORA U LFSB



Metoda međusobne usporedbe

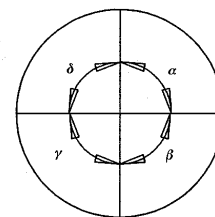
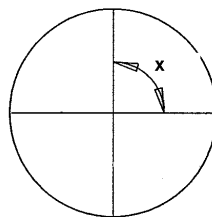
$$\rightarrow \alpha + \beta + \gamma + \delta = 360^\circ$$

$$\text{Izmjereno : } x - \alpha = -3^\circ$$

$$x - \beta = -1^\circ$$

$$x - \gamma = -6^\circ$$

$$x - \delta = -10^\circ$$



$$x + 3^\circ + x + 1^\circ + x + 6^\circ + x + 10^\circ = 360^\circ$$

$$4x + 20^\circ = 360^\circ \rightarrow x = 85^\circ$$

$$\underline{\alpha = 85^\circ + 3^\circ = 88^\circ}$$

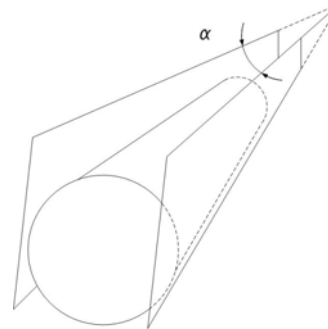
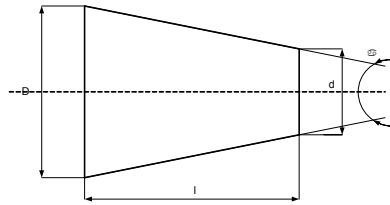
$$\underline{\beta = 85^\circ + 1^\circ = 86^\circ}$$

$$\underline{\gamma = 85^\circ + 6^\circ = 91^\circ}$$

$$\underline{\delta = 85^\circ + 10^\circ = 95^\circ}$$

Trigonometrijske metode mjerenja kutova

Mjerenje kuta konusa :



α - kut konusa
 $s = 1 / k$ - suženje
 $s / 2$ - nagib

$$s = \frac{D - d}{l} = \frac{1}{k}$$

$$\frac{s}{2} = \frac{D - d}{2l} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{k}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l(D - d)}{l^2 - \frac{1}{4}(D - d)^2} = \frac{k}{k^2 - \frac{1}{4}} = \frac{s}{1 - \frac{1}{4}s^2}$$

$$k = \frac{1}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{1}{2 \operatorname{tg} \alpha} (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} + 1)$$

Primjer : zadano $k = 20$

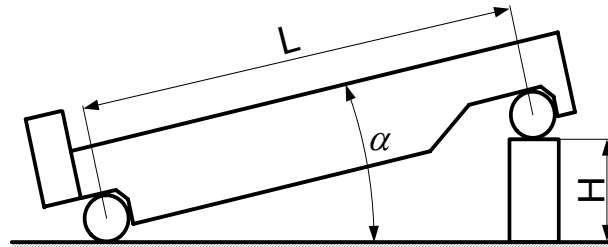
$$s = \frac{1}{k} = \frac{1}{20}$$

$$\frac{\alpha}{2} = 1^\circ 25' 56''$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{s}{2} = \frac{1}{40}$$

$$\alpha = 2^\circ 51' 52''$$

Mjerenje kutova - sinus lineal



$$\sin \alpha = \frac{H}{L} = x$$

$$\alpha = \arcsin x$$

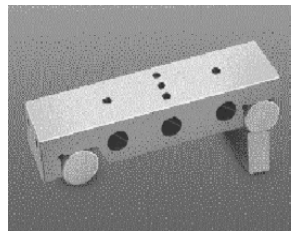
Sinus lineal



Sinus stol
















Sinus blok



ODSTUPANJA OD OBLIKA I POLŽAJA

OSNOVNI SIMBOLI SUSTAVA TOLERANCIJE OBLIKA I POLOŽAJA

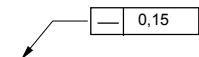
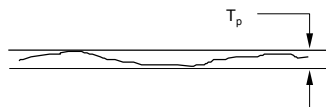
| TOLERANCIJE OBLIKA | | TOLERANCIJE POLOŽAJA | | SLOŽENE TOLERANCIJE | |
|---------------------------------|---|---------------------------------|---|-----------------------------------|---|
| Karakteristika koja se tolerira | Simbol | Karakteristika koja se tolerira | Simbol | Karakteristika koja se tolerira | Simbol |
| 1.1 pravocrtnost |  | 2.1 paralelnost |  | 3.1 netočnost okretanja |  |
| 1.2 ravnoća |  | 2.2 okomitost |  | 3.2 radijalna netočnost okretanja | |
| 1.3 kružnost |  | 2.3 kut nagiba |  | 3.3 aksijalna netočnost okretanja | |
| 1.4 cilindričnost |  | 2.4 lokacija |  | | |
| 1.5 oblik linije |  | 2.5 koncentričnost |  | | |
| 1.6 oblik površine |  | 2.6 simetričnost |  | | |

ODSTUPANJE OD PRAVOCRTNOSTI

Definicija pravocrtnosti

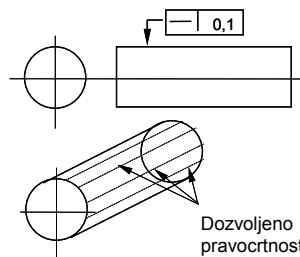
Pravocrtnost je stanje kod kojeg je element površine prava linija.

Dozvoljeno odstupanje od pravocrtnosti (u ravnini) određeno je površinom između dva paralelna pravca, koji su udaljeni za vrijednost naznačenog odstupanja T_p



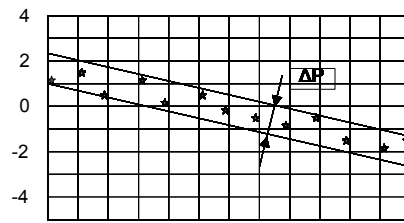
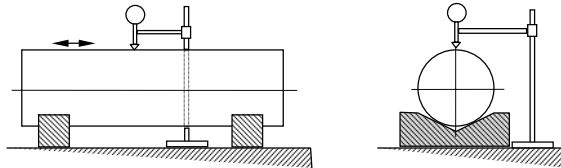
Označavanje odstupanja od pravocrtnosti na crtežu

ODSTUPANJE OD PRAVOCRTNOSTI



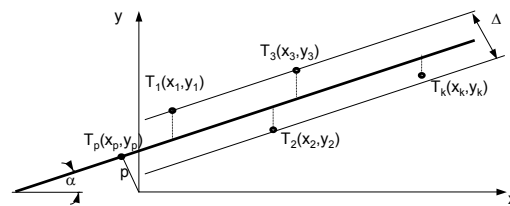
Dozvoljeno odstupanje od pravocrtnosti odnosi se na linijske elemente na površini

ODSTUPANJE OD PRAVOCRTNOSTI



Pozicija uzduž izvodnice

ODREĐIVANJE VRIJEDNOSTI ODSTUPANJA OD PRAVOCRTNOSTI



Matematska referenca
pravac najmanjih kvadrata

$y_i = ax_i + b$ Neka je S funkcija sume kvadrata udaljenosti točaka T_i od pravca p, odnosno:

$$S = (y_1 - y)^2 + (y_2 - y)^2 + (y_3 - y)^2 + \dots + (y_k - y)^2$$

$$\text{ili } S = \sum_{i=1}^k (y_i - y)^2 \text{ odnosno } S = \sum_{i=1}^k (y_i - ax_i - b)^2$$

Prema definiciji metode najmanjih kvadrata funkcija S treba biti najmanja, pa slijedi:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0 \quad , \quad \frac{\partial S}{\partial b} = 0$$

ODREĐIVANJE VRIJEDNOSTI ODSTUPANJA OD PRAVOCRTNOSTI

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^k (y_i - ax_i - b) \cdot (-x_i) = 0, \text{ odnosno} \quad \frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^k (y_i - ax_i - b) \cdot (-1) = 0, \text{ odnosno}$$

$$\sum_{i=1}^k x_i y_i - a \sum_{i=1}^k x_i^2 - b \sum_{i=1}^k x_i = 0 \quad \sum_{i=1}^k y_i - a \sum_{i=1}^k x_i - kb = 0$$

Iz Jednadžba slijedi:

$$a = \frac{k \sum_{i=1}^k x_i y_i - \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k y_i}{k \sum_{i=1}^k x_i^2 - (\sum_{i=1}^k x_i)^2} \quad b = \frac{\sum_{i=1}^k x_i^2 \sum_{i=1}^k y_i - \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k x_i y_i}{k \sum_{i=1}^k x_i^2 - (\sum_{i=1}^k x_i)^2} \quad K - \text{ broj mjernih točaka}$$

ODREĐIVANJE VRIJEDNOSTI ODSTUPANJA OD PRAVOCRTNOSTI

Odstupanje od pravocrtnosti određeno je zbrojem udaljenosti dviju najviše udaljenih točaka (jedna s desne a druga s lijeve strane pravca) od pravca najmanjih kvadrata.

Udaljenost točke T1(x_i, y_i) od pravca računa se prema izrazu:

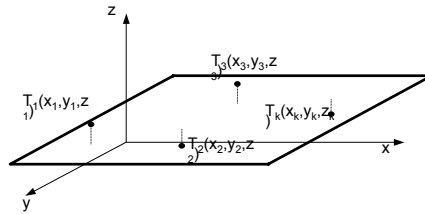
$$\delta_i = x_i \cos \alpha + y_i \sin \alpha - p \quad \text{gdje je } p \text{ udaljenost pravca od ishodišta koordinatnog sustava}$$

$$\delta_i = x_i \left[\frac{k \sum_{i=1}^k x_i^2 - (\sum_{i=1}^k x_i)^2}{k \sum_{i=1}^k x_i y_i - \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k y_i} \right] + y_i \left[\frac{k \sum_{i=1}^k x_i y_i - \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k y_i}{k \sum_{i=1}^k x_i^2 - (\sum_{i=1}^k x_i)^2} \right] - b \frac{\sqrt{a^2 + 1}}{a^2 + 1}$$

Ukupno odstupanje od pravocrtnosti biti će jednako zbroju udaljenosti

$$\Delta = \delta_{\max} + |\delta_{\min}|$$

ODREĐIVANJE VRIJEDNOSTI Odstupanja OD RAVNOSTI



Matematska referenca ravnina
dobivena metodom najmanjih
kvadrata

$$Ax_i + By_i + Cz_i + D = 0 \quad \text{opća jednadžba ravnine}$$

Iz općeg oblika, jednadžba ravnine prevodi se u eksplicitni oblik:

$$\frac{A}{C}x_i + \frac{B}{C}y_i + z_i + \frac{D}{C} = 0 \quad z_i = -\frac{A}{C}x_i - \frac{B}{C}y_i - \frac{D}{C} \quad a = -\frac{A}{C}; \quad b = -\frac{B}{C}; \quad c = -\frac{D}{C}$$

$$z_i = ax_i + by_i + c$$

ODREĐIVANJE VRIJEDNOSTI Odstupanja OD RAVNOSTI

Neka je S funkcija sume kvadrata udaljenosti točaka T_i od ravnine, odnosno:

$$S = (z_1 - z)^2 + (z_2 - z)^2 + (z_3 - z)^2 + \dots + (z_k - z)^2 \quad \text{ili} \quad S = \sum_{i=1}^k (z_i - z)^2 \quad S = \sum_{i=1}^k (z_i - ax_i - by_i - c)^2$$

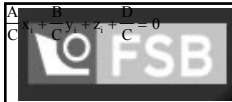
$$\sum_{i=1}^k (z_i - ax_i - by_i - c)^2 = \sum_{i=1}^k (z_i^2 - 2ax_iz_i + a^2x_i^2 - 2by_iz_i - 2cz_i + 2acx_i + 2abx_iz_i + b^2y_i^2 + 2bcy_i + c^2)$$

Funkcija S treba težiti najmanjoj vrijednosti:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial b} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial c} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial a} = \sum_{i=1}^k (-2x_iz_i + 2ax_i^2 + 2cx_i + 2bx_iz_i) = -2 \sum_{i=1}^k x_iz_i - ax_i - by_i - c = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = \sum_{i=1}^k (-2y_iz_i + 2ax_iz_i + 2by_i^2 + 2cy_i) = -2 \sum_{i=1}^k y_iz_i - ax_i - by_i - c = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial c} = \sum_{i=1}^k (-2z_i + 2ax_i + 2by_i + 2c) = -2 \sum_{i=1}^k (z_i - ax_i - by_i - c) = 0$$



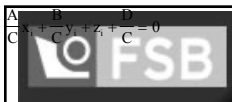
ODREĐIVANJE VRIJEDNOSTI ODSUPANJA OD RAVNOSTI

$$a = \frac{k \sum_{i=1}^k x_i z_i \sum_{i=1}^k y_i^2 + \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k z_i + \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k y_i z_i \sum_{i=1}^k y_i - \sum_{i=1}^k z_i \sum_{i=1}^k y_i^2 \sum_{i=1}^k x_i - \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k x_i z_i - k \sum_{i=1}^k y_i z_i \sum_{i=1}^k x_i y_i}{k \sum_{i=1}^k x_i^2 \sum_{i=1}^k y_i^2 + \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k x_i + \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k y_i - \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k y_i^2 \sum_{i=1}^k x_i - \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k x_i^2 - k \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k x_i y_i}$$

$$b = \frac{k \sum_{i=1}^k x_i^2 \sum_{i=1}^k y_i z_i + \sum_{i=1}^k x_i z_i \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k x_i + \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k z_i - \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k y_i z_i \sum_{i=1}^k x_i - \sum_{i=1}^k x_i^2 \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k z_i - k \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k x_i z_i}{k \sum_{i=1}^k x_i^2 \sum_{i=1}^k y_i^2 + \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k x_i + \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k y_i - \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k y_i^2 \sum_{i=1}^k x_i - \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k x_i^2 - k \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k x_i y_i}$$

$$c = \frac{\sum_{i=1}^k x_i^2 \sum_{i=1}^k y_i^2 \sum_{i=1}^k z_i + \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k y_i z_i \sum_{i=1}^k x_i + \sum_{i=1}^k x_i z_i \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k y_i - \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k y_i^2 \sum_{i=1}^k x_i z_i - \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k y_i z_i \sum_{i=1}^k x_i^2 - \sum_{i=1}^k z_i \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k x_i y_i}{k \sum_{i=1}^k x_i^2 \sum_{i=1}^k y_i^2 + \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k x_i + \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k y_i - \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k y_i^2 \sum_{i=1}^k x_i - \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k x_i^2 - k \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k x_i y_i}$$

gdje su: x_i, y_i, z_i - koordinate i-te točke
k - ukupni broj točaka



ODREĐIVANJE VRIJEDNOSTI ODSUPANJA OD RAVNOSTI

Odstupanje od ravnosti određeno je zbrojem udaljenosti dviju najviše udaljenih točaka (jedna s donje a druga s gornje strane ravnine) od ravnine dobivene metodom najmanjih kvadrata.

Udaljenost točke T(x_T,y_T,z_T) od ravnine najmanjih kvadrata odstupanja računa se prema izrazu:

$$\delta_i = \frac{ax_T + by_T - z_T + c}{-\text{sign} \sqrt{a^2 + b^2 + 1}}$$

a odstupanje od ravnosti:

$$\Delta = \delta_{\max} + |\delta_{\min}|$$

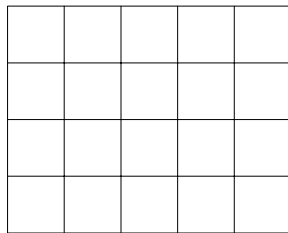
METODE MJERENJA Odstupanja od pravocrtnosti i Ravnosti

Na raspolaganju je velik broj metoda mjerenja odstupanja od pravocrtnosti a prvenstveno se dijele s obzirom na korištenu mjernu opremu:

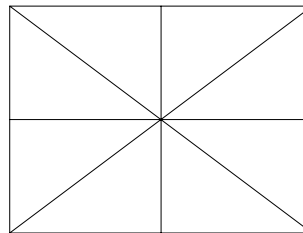
- lineal s komparatorom
- 3D dužinski mjerni uređaji
- autikolimator
- laserski mjerni sustav
- libela i dr.

METODE MJERENJA Odstupanja od pravocrtnosti i Ravnosti

PLAN MJERENJA



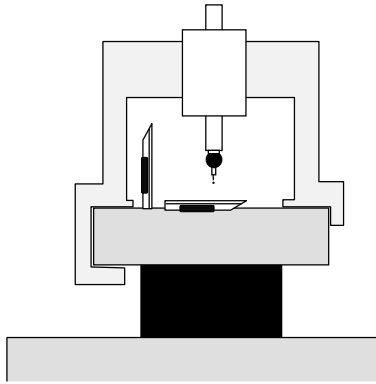
Pravokutna ili «Grid» metoda



Dijagonalna ili «Union Jack» metoda

METODE MJERENJA ODSTUPANJA OD PRAVOCRTNOSTI I RAVNOSTI

Trokoordinatni mjerni uređaj

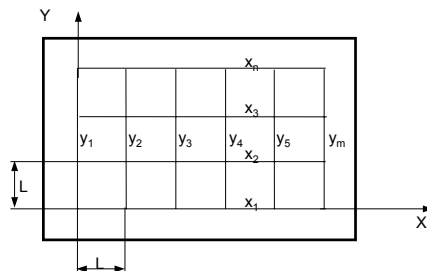
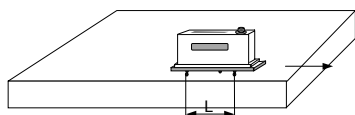


MJERENJE ODSTUPANJA OD PRAVOCRTNOSTI AUTOKOLIMATOROM U LFSB



METODE MJERENJA ODSTUPANJA OD PRAVOCRTNOSTI I RAVNOSTI

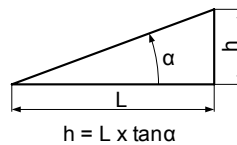
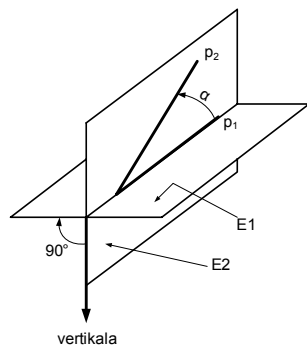
Libela



Plan mjerenja ravnosti

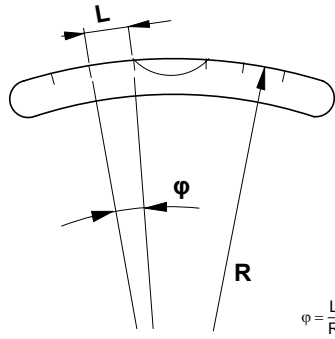
METODE MJERENJA ODSTUPANJA OD PRAVOCRTNOSTI I RAVNOSTI

LIBELE – definicija nagiba



METODE MJERENJA ODSTUPANJA OD PRAVOCRTNOSTI I RAVNOSTI

LIBELA



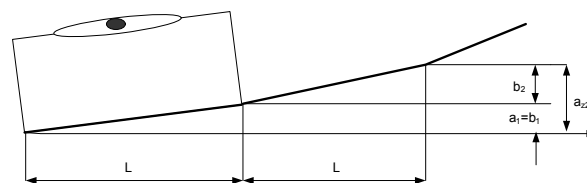
- centralni kut
- L vrijednost podjela skale na cijevi libele (pars)
- R Radijus zakrivljenosti staklene cijevi

| Radijus R mm | Osjetljivost pri promjeni položaja mjehura libele za 2mm | | | | mm/m |
|-----------------|--|-----------|---------|----------|-------|
| | Stupani ° | Stupani ° | Minuta' | Sekunda' | |
| 30 | 3,8200 | 3 | 49 | 12 | 66,62 |
| 60 | 1,9100 | 1 | 54 | 36 | 33,33 |
| 120 | 0,9550 | 0 | 57 | 18 | 16,67 |
| 240 | 0,4775 | 0 | 28 | 39 | 8,33 |
| 480 | 0,2388 | 0 | 14 | 20 | 4,17 |
| 960 | 0,1194 | 0 | 7 | 10 | 2,08 |
| 1920 | 0,5970 | 0 | 3 | 35 | 1,04 |
| 4000 | 0,2870 | 0 | 1 | 43 | 0,50 |
| 8000 | 0,0143 | 0 | 0 | 52 | 0,25 |
| 16000 | 0,0072 | 0 | 0 | 26 | 0,13 |
| 32000 | 0,0036 | 0 | 0 | 13 | 0,06 |
| 64000 | 0,0018 | 0 | 0 | 6 | 0,03 |
| 100000 | 0,0011 | 0 | 0 | 4 | 0,02 |

$$\varphi = \frac{L}{R}$$

METODE MJERENJA ODSTUPANJA OD PRAVOCRTNOSTI I RAVNOSTI

MJERENJE PRAVOCRTNOSTI SA LIBELOM



a - Očitavanje nagiba segmenta (mm/m)

L - Duljina mjerne baze

$C=1000L$; $b_1 = a/C$

MJERENJA PRAVOCRTNOSTI I RAVNOSTI LIBELOM

Cijevna libela



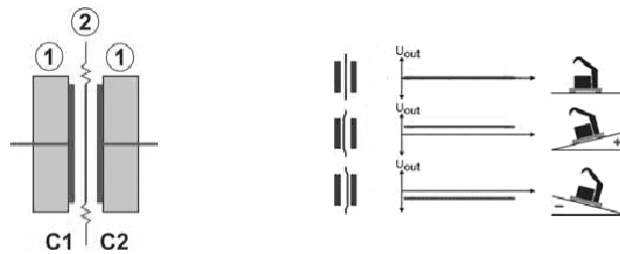
MJERENJA PRAVOCRTNOSTI I RAVNOSTI LIBELOM

Elektronička libela



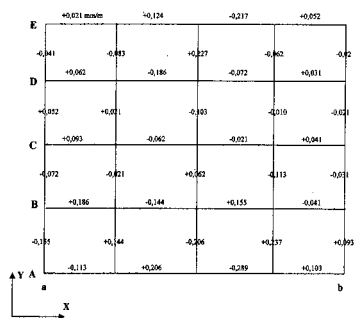
MJERENJA PRAVOCRTNOSTI I RAVNOSTI LIBELOM

Elektronička libela



Schema osjetnog elementa

PRIMJER ISPITIVANJA ODSUPANJA OD RAVNOSTI MJERNE PLOČE LIBELOM



Slika 9: Označavanje mjernih pravaca i nagib segmenata kod primjene «GRID» metode

PRIMJER ISPITIVANJA ODSTUPANJA OD RAVNOSTI MJERNE
PLOČE LIBELOM

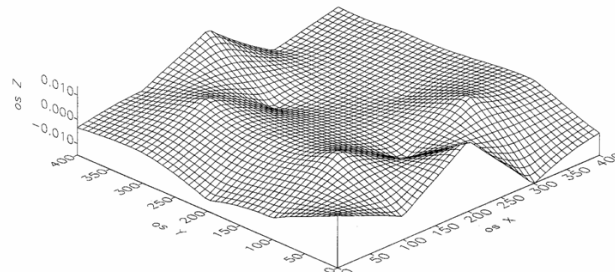
| X | Y | Z | Zp |
|-----|-----|---------|---------|
| 0 | 0 | 0.0066 | 0.0000 |
| 100 | 0 | -0.0054 | -0.0123 |
| 200 | 0 | 0.0145 | 0.0073 |
| 300 | 0 | -0.0151 | -0.0237 |
| 400 | 0 | -0.0255 | -0.0134 |
| 0 | 100 | -0.0260 | -0.0145 |
| 100 | 100 | 0.0101 | 0.0013 |
| 200 | 100 | -0.0051 | -0.0141 |
| 300 | 100 | 0.0097 | 0.0003 |
| 400 | 100 | 0.0046 | -0.0051 |
| 0 | 200 | -0.0103 | -0.0207 |
| 100 | 200 | 0.0037 | -0.0069 |
| 200 | 200 | -0.0014 | -0.0123 |
| 300 | 200 | -0.0024 | -0.0136 |
| 400 | 200 | 0.0024 | -0.0092 |
| 0 | 300 | -0.0022 | -0.0144 |
| 100 | 300 | 0.0087 | -0.0038 |
| 200 | 300 | -0.0070 | -0.0198 |
| 300 | 300 | -0.0041 | -0.0173 |
| 400 | 300 | 0.0011 | -0.0163 |
| 0 | 400 | -0.0035 | -0.0175 |
| 100 | 400 | -0.0000 | -0.0144 |
| 200 | 400 | 0.0137 | -0.0010 |
| 300 | 400 | -0.0067 | -0.0217 |
| 400 | 400 | -0.0001 | -0.0154 |

ODSTUPANJE OD RAVNOCE : 0.0296 mm

Slika 12: Prikaz rezultata mjerenja ravnosti «GRID» metodom uz primjenu vlastitog softvera

PRIMJER ISPITIVANJA ODSTUPANJA OD RAVNOSTI MJERNE
PLOČE LIBELOM

Mjerna ploča



Aksonometrijski prikaz mjerne površine ploče

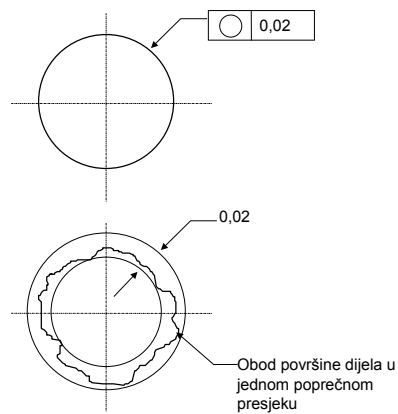
ODSTUPANJE OD KRUŽNOSTI

DEFINICIJA KRUŽNOSTI

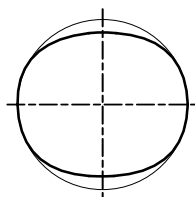
Kružnost se odnosi na stanje kružne linije ili površine kružnog dijela, kod kojeg su sve točke na liniji, ili na obodu poprečnog presjeka dijela, jednako udaljene od središnje točke.

Dozvoljeno odstupanje od kružnosti određeno je površinom između dvije koncentrične kružnice, u istoj ravnini, čija je razlika polumjera T_k . Linija profila dijela ne smije ni jednom točkom izlaziti van kružnog vijenca.

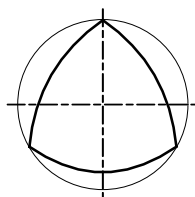
ODSTUPANJE OD KRUŽNOSTI



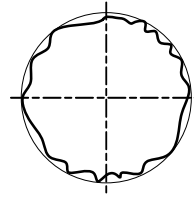
KARAKTERISTIČNE GREŠKE KRUŽNOSTI



OVALNOST



IZBOČENOST



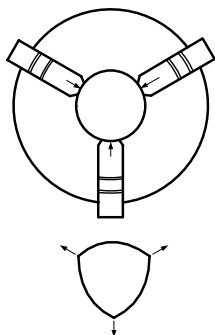
VALOVITOST

NAJČEŠĆI UZROZI KARAKTERISTIČNIH GREŠAKA KRUŽNOSTI

OVALNOSTI : nepravilnosti šiljaka alatnog stroja, nepravilnosti središnjih gnijezda izratka, oštećenja šiljaka ili gnijezda

IZBOČENOSTI: stezanjem u strojnom škripcu (amerikaner), brušenje bez središnjih gnijezda

VALOVITOSTI: vibracije alatnog stroja, nedovoljna krutost izratka



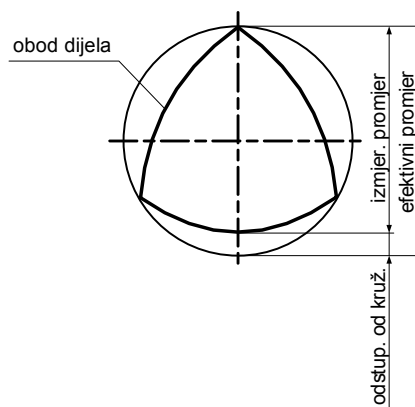
Izbočenost uzrokovana strojnim škripcem sa tri čeljusti

METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI

➤METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S UNUTRAŠNJOM MJERNOM REFERENCOM (KONVENCIONALNE METODE)

➤METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

ODNOS IZMJERENOG I EFEKTIVNOG PROMJERA NA PRESJEKU SA GREŠKOM OBLIKA SA TRI KARAKTERISTIČNE IZBOČINE



METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S UNUTRAŠNJOM MJERNOM REFERENCOM

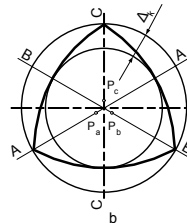
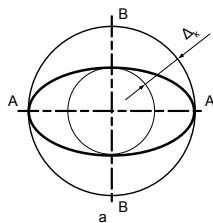
Zajednička značajka (nedostatak) ovih metoda je u tome što je mjerna referenca u toku ispitivanja kružnosti promjenljiva.
Razlog tome leži u određivanju mjerne reference na temelju elemenata površine ispitivanog predmeta mjerenja.

Ove metode su slijedeće:

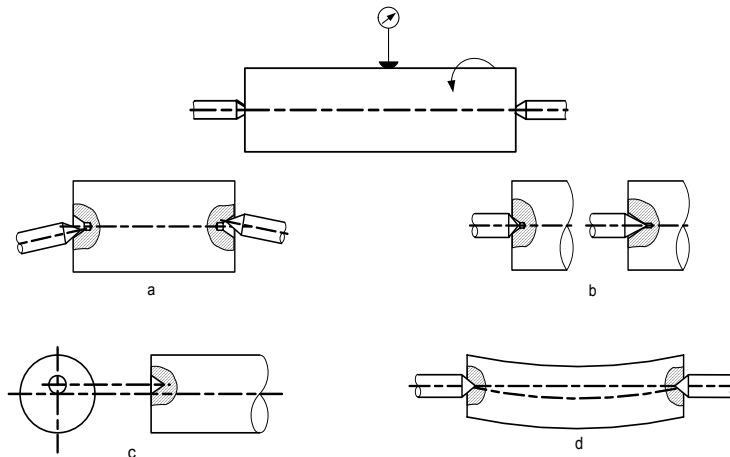
- **dijametralno ispitivanje kružnosti;**
- **ispitivanje kružnosti primjenom mjernih šiljaka;**
- **ispitivanje kružnosti primjenom V-prizmi.**

NAPOMENA: Primjenom ovih metoda ne može se procijeniti veličina odstupanja od kružnosti. Može se samo dobiti indikacija da je, ili nije, ispitani profil pravilan (bez izraženih grešaka kružnosti) i to samo u određenim slučajevima.

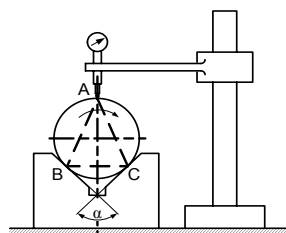
DIJAMETRALNO ISPITIVANJE KRUŽNOSTI



ISPITIVANJE KRUŽNOSTI PRIMJENOM MJERNIH ŠILJAKA

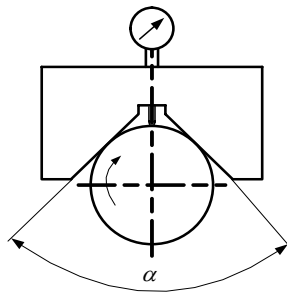


ISPITIVANJE KRUŽNOSTI PRIMJENOM V-PRIZMI



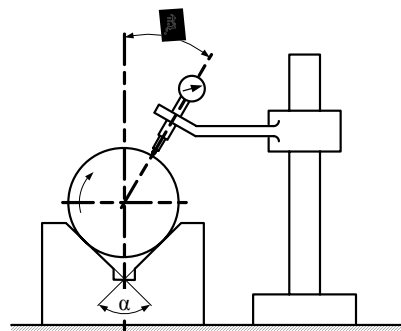
Kut ticanja $\beta = 0$

ISPITIVANJE KRUŽNOSTI PRIMJENOM V-PRIZMI



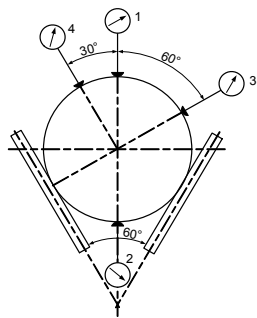
Kut ticanja $\beta = \pi$

ISPITIVANJE KRUŽNOSTI PRIMJENOM V-PRIZMI



Kut ticanja $\beta \neq 0$

ISPITIVANJE KRUŽNOSTI PRIMJENOM V-PRIZMI



$\mu_n = f(n, \alpha, \beta)$, gdje je μ_n – koeficijent;
 n – broj tjemena
 α – kut prizme
 β – kut ticanja

$$\Delta = \mu_n \cdot \Delta_k$$

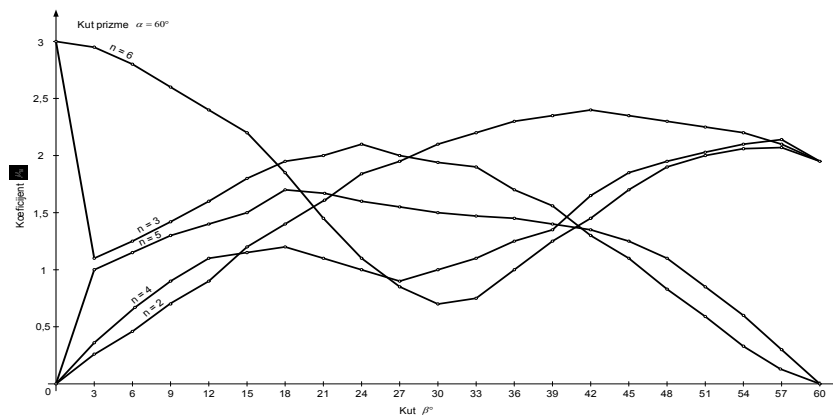
Δ – izmjerena vrijednost (raspon pokazivanja instrumenta)

Δ_k – stvarna vrijednost odstupanja od kružnosti

- Instrument 1: $\alpha=60^\circ, \beta=0^\circ$
- Instrument 2: $\alpha=60^\circ, \beta=180^\circ$
- Instrument 3: $\alpha=60^\circ, \beta=60^\circ$
- Instrument 4: $\alpha=60^\circ, \beta=30^\circ$

ISPITIVANJE KRUŽNOSTI PRIMJENOM V-PRIZMI

Vrijednosti koeficijenta μ_n za kut mjerne prizme $\alpha=60^\circ$ uz promjenu pravca mjerenja $0 \leq \beta \leq (90^\circ - \alpha/2)$



METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

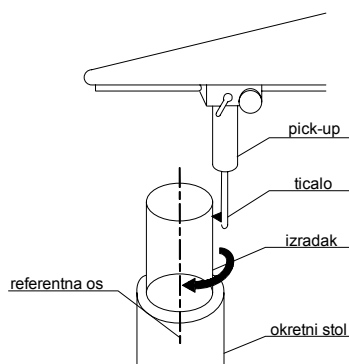
Kod ove metode ispitivanja kružnosti za mjernu referencu se uzima os rotacije vrlo precizno izrađenog vretena, čija točnost rotacije mora biti unutar strogo propisanih granica. Primjenom ove metode ispitivanja kružnosti dobiva se stvarna slika geometrijskog stanja ispitivane površine i informacije koje su u tijesnoj vezi s funkcionalnošću dijela.

Metoda ispitivanja kružnosti s vanjskom mjernom referencom primjenjuje se na dva tipa uređaja za ispitivanje kružnosti, a to su:

- tip rotirajućeg stola
- tip rotirajućeg ticala.

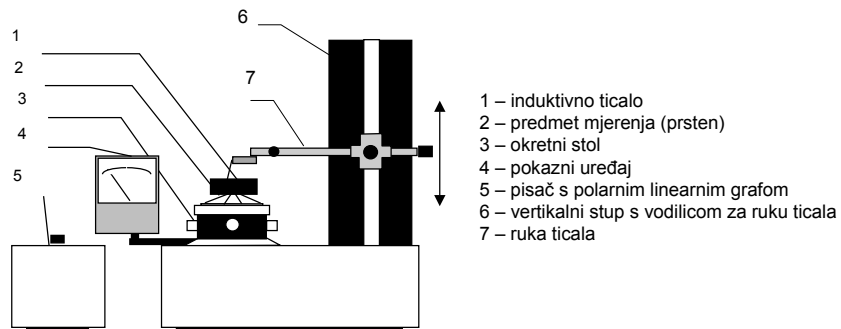
METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

Ispitivanje kružnosti primjenom okretnog stola



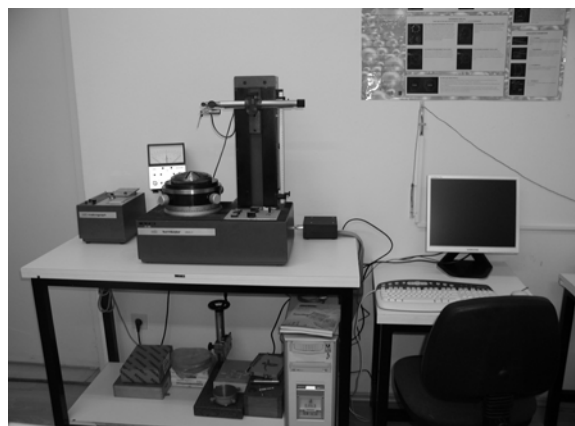
METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

Uređaj za Ispitivanje kružnosti primjenom okretnog stola (LFSB)



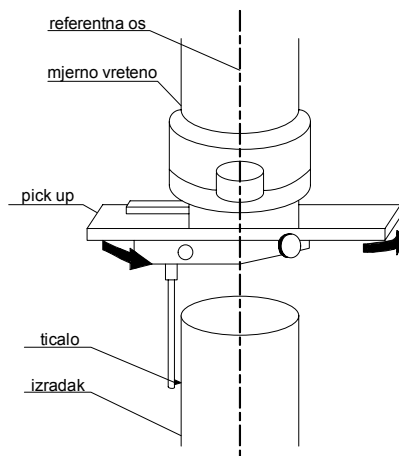
METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

Uređaj za Ispitivanje kružnosti primjenom okretnog stola (LFSB)



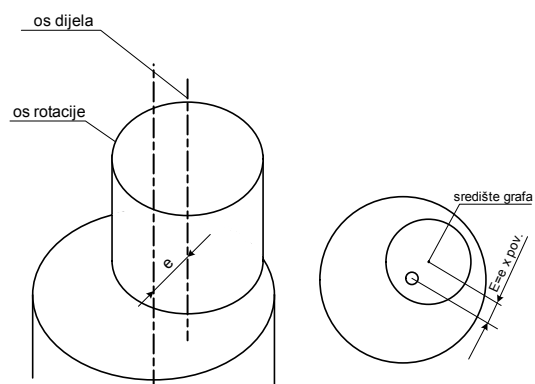
METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

Ispitivanje kružnosti primjenom okretnog mjernog ticala



METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

Ekscentričnost „e“ osi dijela u odnosu na os rotacije



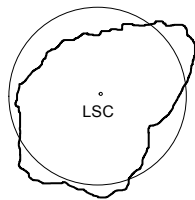
METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

U postupku određivanja odstupanja od kružnosti, pored tehničke (mjerne) reference, pri obradi mjernih podataka koriste se i matematske reference.

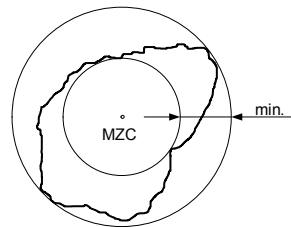
To su :

- kružnica najmanjih kvadrata LSC (Least Squares Circle)
- najmanja kružna zona MZC (Minimum Zone Circles)
- najmanja opisana kružnica MCC (Minimum Circumscribed Circle)
- najveća upisana kružnica MIC (Maximum Inscribed Circle)

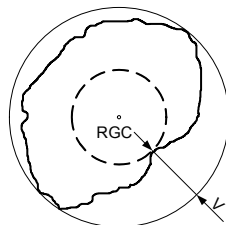
KRUŽNICA NAJMANJIH KVADRATA



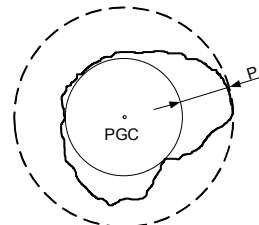
NAJMANJA KRUŽNA ZONA



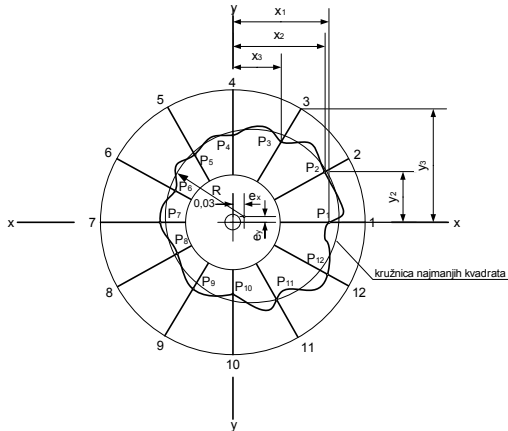
NAJMANJA OPISANA KRUŽNICA



NAJVEĆA UPISANA KRUŽNICA



KRUŽNICA NAJMANJIH KVADRATA LSC



Koordinate središta LSC

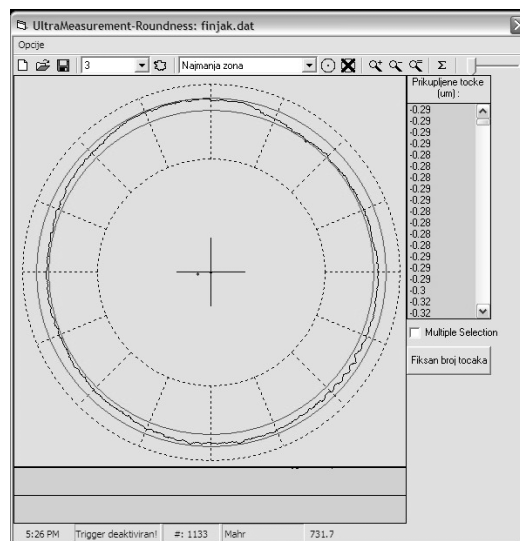
$$e_x = \frac{2\sum x_i}{n} \quad e_y = \frac{2\sum y_i}{n}$$

Polumjer kružnice LSC

$$R = \frac{\sum r_i}{n}$$

Odstupanje od kružnosti određuje se zbrojem udaljenosti najvećeg brijega i dola od kružnice LSC

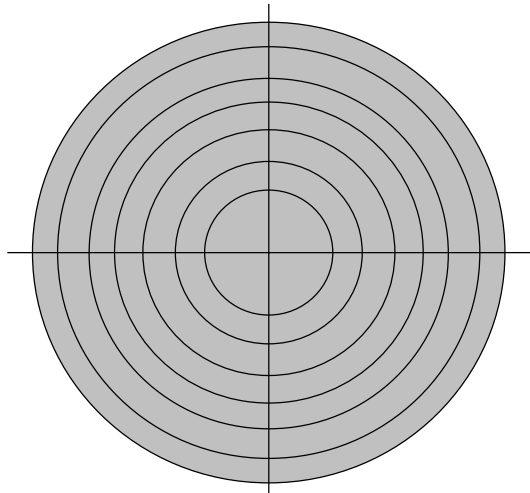
POLARNI GRAF – NAJMANJA KRUŽNA ZONA





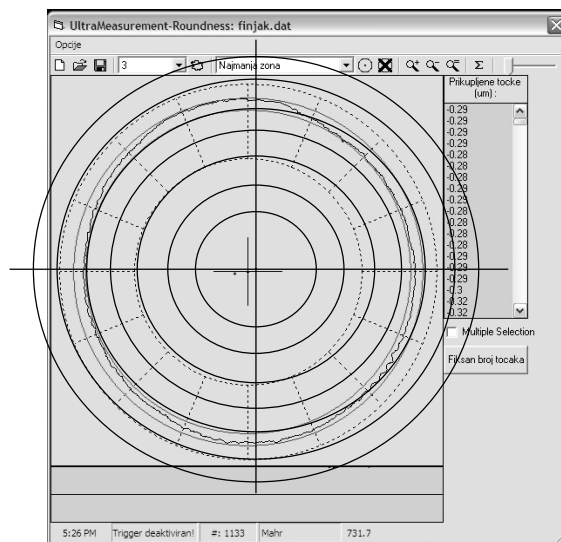
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Zavod za kvalitetu
Katedra za mjerenje i kontrolu

POLARNI GRAF - ŠABLONA



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Zavod za kvalitetu
Katedra za mjerenje i kontrolu

POLARNI GRAF



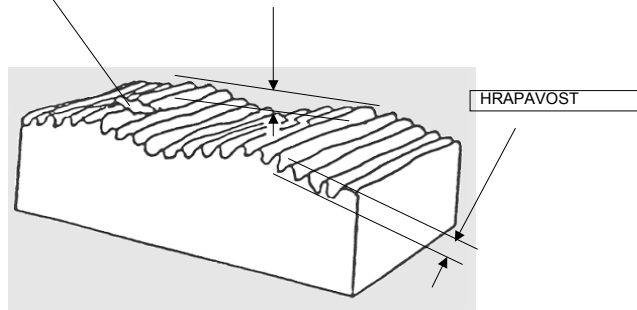
ISPITIVANJE HRAPAVOSTI POVRŠINE

ODSTUPANJA NA POVRŠINI

POVRŠINSKE GREŠKE

VALOVITOST

HRAPAVOST





HRPAVOST POVRŠINE

VALOVITOST

ODSTUPANJE OD OBLIKA

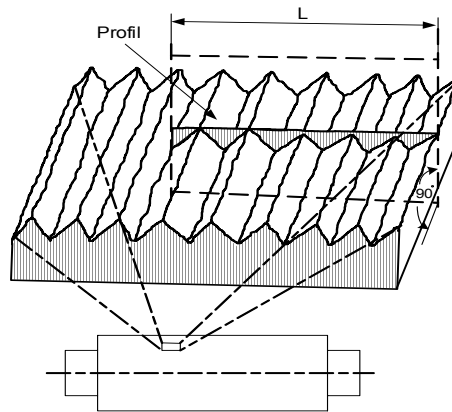
- RAVNOĆA
- OBLIK POVRŠINE



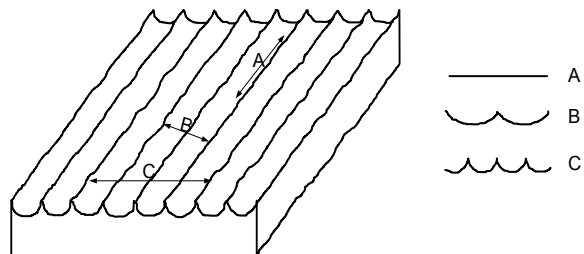
ISPITIVANJE HRPAVOSTI POVRŠINA

- 2D SUSTAV
- 3D SUSTAV

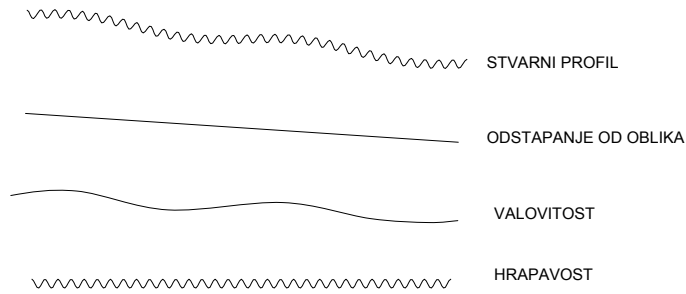
ISPITIVANJE HRAPAVOSTI POVRŠINA 2D SUSTAV



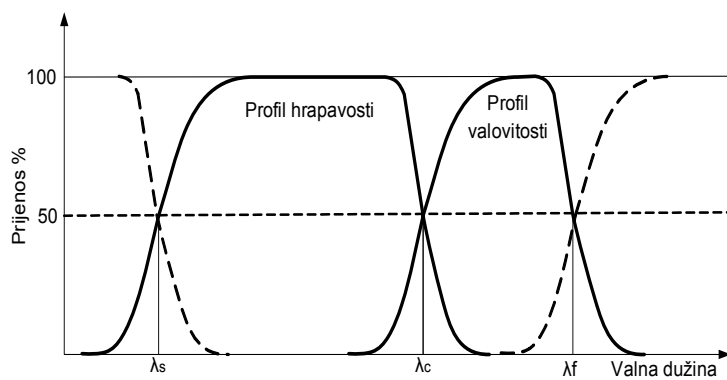
OPTIMALNI IZBOR REFERENTNOG PROFILA



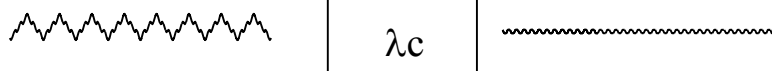
ODSTUPANJA NA STVARNOM PROFILU



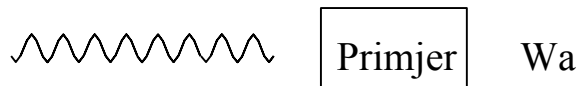
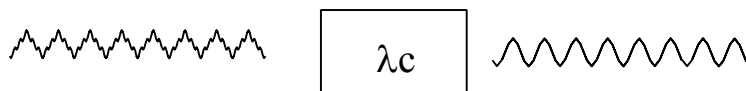
PRIJENOSNE KARAKTERISTIKE PROFILA HRAPAVOSTI



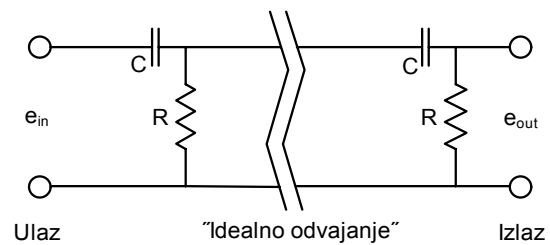
FILTAR HRAPAVOSTI



FILTAR VALOVITOSTI

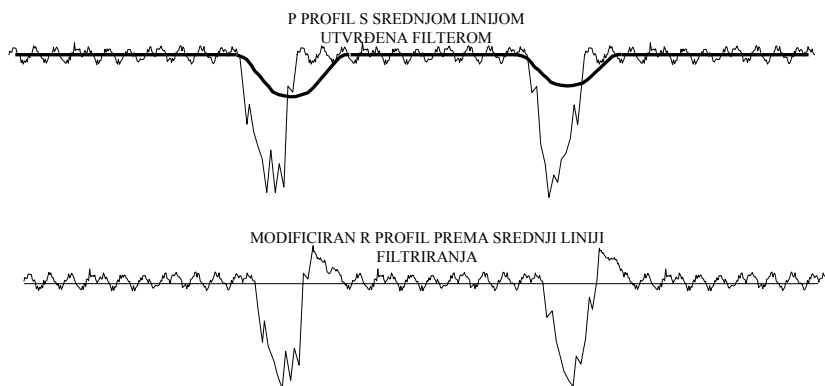


ANALOGNI 2RC FILTER

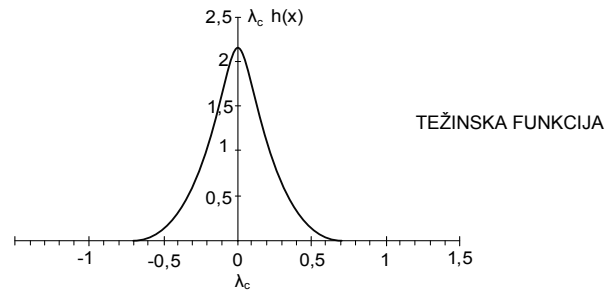


ELEKTRIČNA SHEMA 2RC FILTERA

UTJECAJ 2RC FILTRA NA IZOBLIČENJA NA R PROFILU



GAUSSOV FILTAR

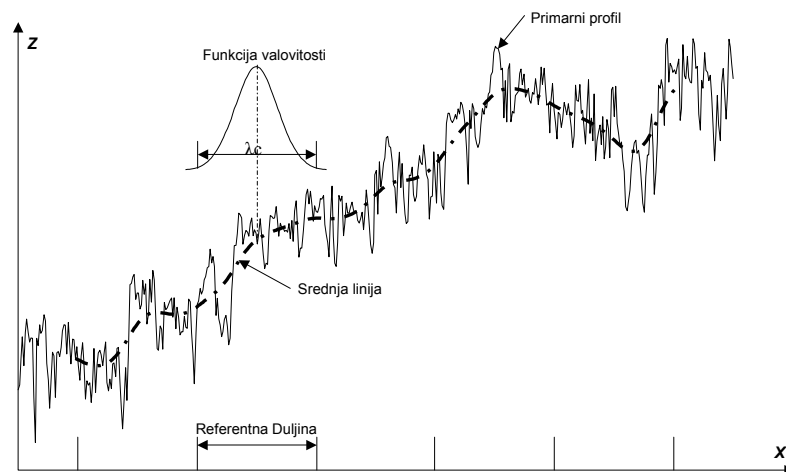


$$h(x) = \frac{1}{\alpha \lambda_c} e^{-\pi \left(\frac{x}{\alpha \pi}\right)^2}$$

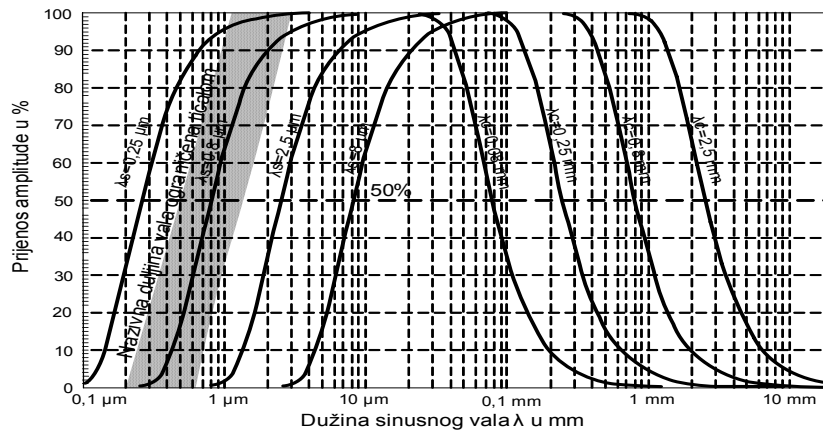
$$\alpha = \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}}$$

x- udaljenost od srednje linije težinske funkcije
 λ_c - dugovalna granična vrijednost filtra
 λ - valna duljina sinusoidalnih profila površine

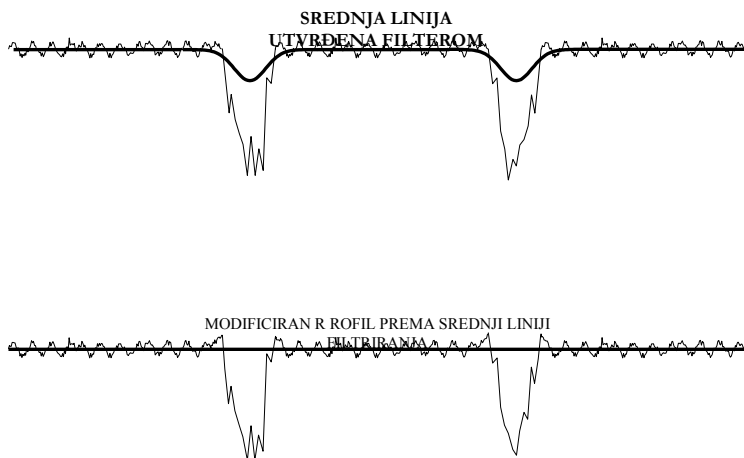
GAUSSOV FILTAR



PRIJENOSNE KRIVULJE ZA VISOKO PROPUSNI GAUSSOV FILTAR

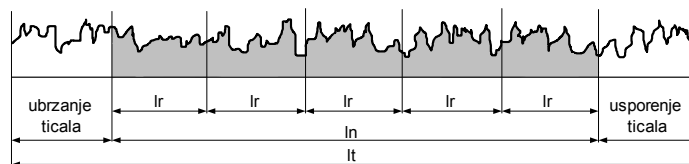


PW i R PROFIL ZA GS FILTAR



PARAMETRI HRPAVOSTI PROFILA POVRŠINE

DULJINA ISPITIVANJA l_t
 DULJINA VREDNOVANJA l_n
 REFERENTNA DULJINA l_r



PREPORUČENE REFERENTNE DULJINE I DULJINE VREDNOVANJA

| REFERENTNA DULJINA | DULJINA VREDNOVANJA | PERIODIČKI PROFIL | NEPERIODIČKI PROFIL | |
|-----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------|
| | | | Rz u μm | Ra u μm |
| $lr(\lambda c)$ u mm | $ln=5lr$ u mm | RSm u μm | Rz u μm | Ra u μm |
| 0,08 | 0,4 | >0,013 do 0,04 | do 0,1 | do 0,02 |
| 0,25 | 1,25 | >0,04 do 0,13 | >0,1 do 0,5 | >0,02 do 0,1 |
| 0,8 | 4 | >0,13 do 0,4 | >0,5 do 10 | >0,1 do 2 |
| 2,5 | 12,5 | >0,4 do 1,3 | >10 do 50 | >2 do 10 |
| 8 | 40 | >1,3 do 4 | >50 | >10 |

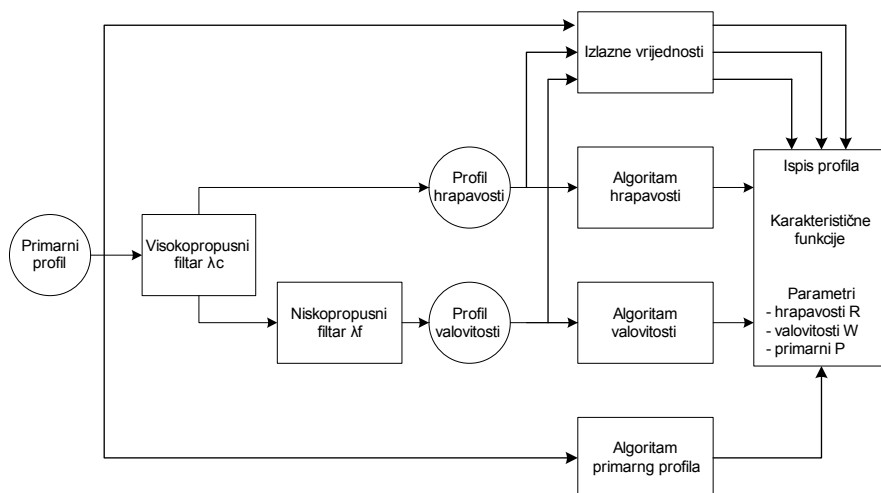
PREFIKS PARAMETARA

R – za hrapavost

W – za valovitost

P - za primarni profil

PROFILI P, R, W



PARAMETRI HRAPAVOSTI

Amplitudni parametri - opisuju varijacije po visini profila

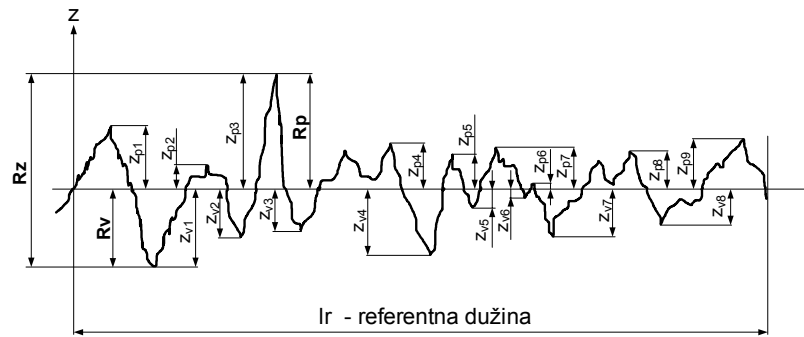
Uzdužni parametri - opisuju varijacije uzduž profila

Hibridni parametri - opisuju varijacije iz kombinacije uzdužnih i amplitudnih karakteristika profila

Krivuljni i srodni – opisuju varijacije na krivuljama dobivenih iz uzdužnih i amplitudnih karakteristika profila

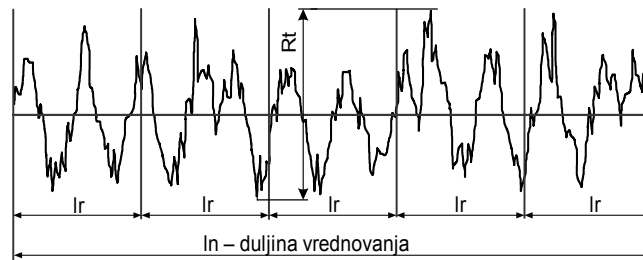
AMPLITUDNI PARAMETRI

Najveća visina vrha profila **R_p**
 Najveća dubina dola profila **R_v**
 Najveća visina profila **R_z**



AMPLITUDNI PARAMETRI

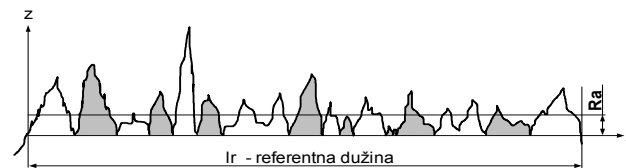
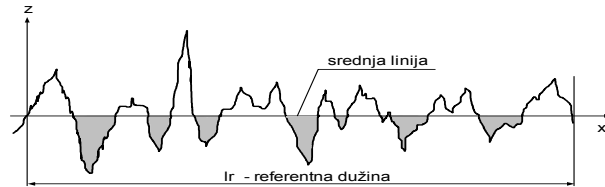
Ukupna visina profila **R_t**



AMPLITUDNI PARAMETRI

Srednje aritmetičko odstupanje **Ra**

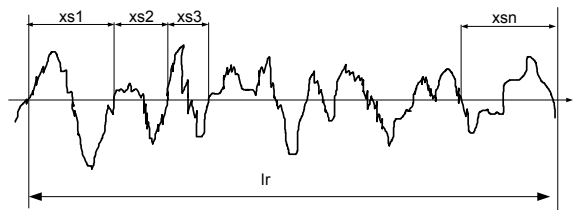
$$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z(x)| dx \quad \text{ili} \quad Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Zx_i| \quad \text{gdje je } n \text{ broj ordinata } Zx \text{ koraka } \Delta x$$



UZDUŽNI PARAMETRI

Srednji korak elemenata profila **RSm**

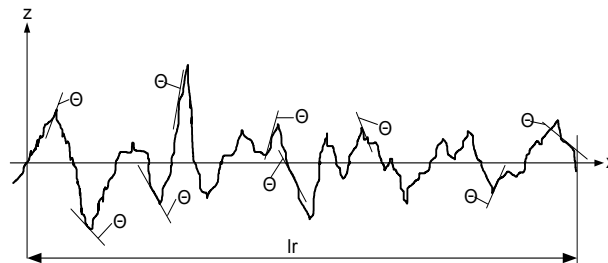
$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{S_i} \quad \text{gdje je } m \text{ broj elemenata profila}$$



HIBRIDNI PARAMETRI

Srednji kvadratni nagib profila **RΔq**

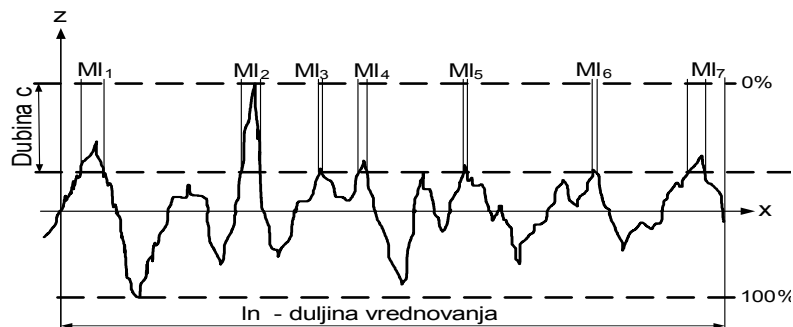
$$R\Delta q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} (\Theta(x) - \bar{\Theta})^2 dx} \quad \bar{\Theta} = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} \Theta(x) dx \quad \text{gdje je } \Theta \text{ nagib profila u bilo kojoj danoj točki}$$



KRIVULJE I SRODNI PARAMETRI

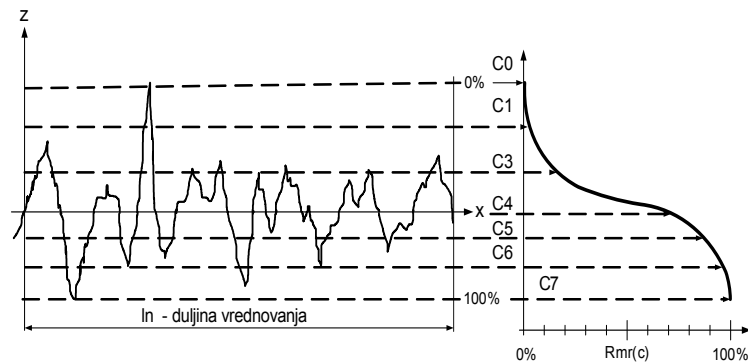
Udio materijala u profilu **Rmr(c)**

$$Rmr(c) = M(c) / I_n$$



KRIVULJE I SRODNI PARAMETRI

Krivulja udjela materijala profila (Abbott – Firestone krivulja)

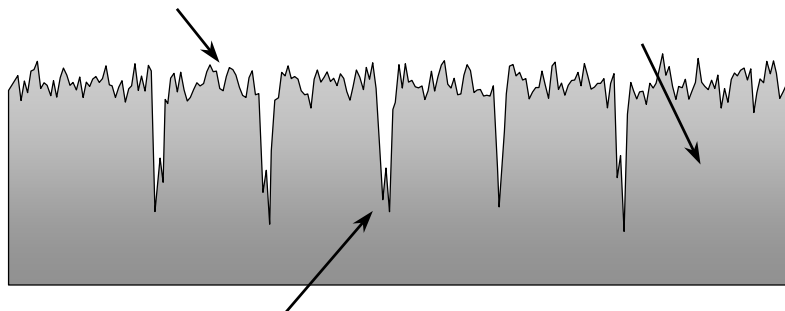


KRIVULJE I SRODNI PARAMETRI

Multi –procesne površine

Gornja površina određuje
period uhadavanja

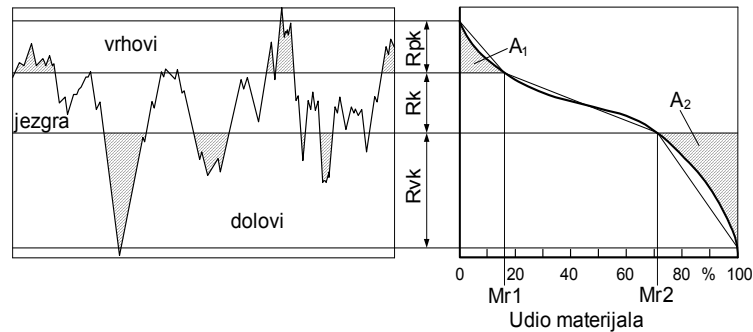
Tijelo površine definira
karakteristike trošenja/ trajanja



Dolovi definiraju karakteristike podmazivanja

KRIVULJE I SRODNI PARAMETRI

Parametri hrapavosti – krivulja udjela materijala



KRIVULJE I SRODNI PARAMETRI

Parametri hrapavosti – krivulja udjela materijala

Primarni:

R_{pk} – reducirana visina vrha profila – dio profila koji će u tijeku eksploatacije biti prvi istrošen,

R_k – dubina jezgre hrapavosti profila – dio profila s povećanom nosivosti koja preuzima osnovna opterećenja i bitno utječe na karakteristike i životni vijek površine,

R_{vk} – reducirana dubina dolova profila – dio profila koji ima sposobnost zadržavanja ulja u dubokim žljebova koji su stvoreni pri strojnoj obradi površine,

Mr_1 – relativni udio materijala u vrhovima,

Mr_2 – relativni udio ulja u dolovima,

Sekundarni:

A_1 – površina materijala vrhova profila

A_2 – površina maziva dolova profila.

PARAMETRI HRAPAVOSTI

| NORMA | PARAMETRI HRAPAVOSTI | | | FILTER |
|-------------------|--|---|---|---------------------------------------|
| | P-profil | R - profil | W - profil | |
| ISO 4287:1998 | Pp; Pv; Pz; Pc; Pt; Pa; Pq; Psk; Pkv; Psm; PΔq; Pmr(c); Pδc; Pmr | Rp; Rv; Rz; Rc; Rt; Ra; Rq; Rsk; Rkv; Rsm; RΔq; Rmr(c); Rδc; Rmr | Wp; Wv; Wz; Wc; Wt; Wa; Wq; Wsk; Wkv; Wsm; WΔq; Wmr(c); Wδc; Wmr | Gaussov ISO11562: |
| ISO 13565-2: 1996 | | Rk; Rpk; Rvk; Mr1; Mr2 | | Dvostruki Gaussov ISO13565-1: 1994 |
| | | Rke; Rpk; Rvke; Mr1e; Mr2e | | Motiv ISO12085:1996 |
| ISO13565-3: 1998 | Ppq; Pvq; Pmq | Rpq; Rvq; Rmq | | Dvostruki Gaussov ISO13565-1: 1994 |
| ISO12085:1996 | | R; Rx; AR | W; Wx; AW; Wte | Motiv ISO12085:1996 |
| - | | HSC; Pc; R3z | | 2RC; Gaussov ISO11562: |

FUNKCIJA POVRŠINE – ODABIR PARAMETARA HRAPAVOSTI

Profili površina sa približno istim Ra



Ra = 2.4 μm



Ra = 2.5 μm



Ra = 2.4 μm



FUNKCIJA POVRŠINE – ODABIR PARAMETARA HRAPAVOSTI

| FUNKCIJA | PRIMJENA | PROCES | PARAMETRI HRAPAVOSTI | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------|-------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|---|----------------|--|
| | | | Amplitudni | | | | | | Uzdužni | Hibridni | | | | | W _t | |
| | | | R _a | R _z | R _z | R _p | R _{pm} | R _{sz} | P _c | R _{pk} | R _k | R _{vk} | A ₂ | | | |
| DINAMIČKA OPTEREĆE. | Klizanje | Cilindar | Honovanje | | | | | | | ↑↓ | | ↑ | ↓ | ↓ | ↑ | |
| | | Plast klipa | Kružno brušenje | | | | | | | ↑↓ | ↑↓ | | | | | |
| | | Klizni ležaj | Brušenje | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | | | | | | | | |
| | | Umjetni zglobovi | Brušenje/poliranje | | | | | | | | | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | |
| | Kotrljanje | Kotrljajući ležaj | Brušenje/poliranje | ↑ | ↑ | | | ↑ | | ↓ | ↑ | ↑ | | | | |
| STATIČKA OPTEREĆE. | Stajanje | Brtvene površine | Glodanje/brušenje | | ↓ | | | | | | | | | | ↑ | |

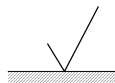
↑ označava max dozvoljenu vrijednost za parametar hrapavosti
 ↓ označava dozvoljeno područje unutar max i min vrijednosti za parametar hrapavosti
 ↓ označava min dozvoljenu vrijednost za parametar hrapavosti



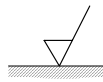
FUNKCIJA POVRŠINE – ODABIR PARAMETARA HRAPAVOSTI

| FUNKCIJA | PRIMJENA | PROCES | PARAMETRI HRAPAVOSTI | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|----------|----------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|--|----------------|---|
| | | | Amplitudni | | | | | | Uzdužni | Hibridni | | | | | W _t | |
| | | | R _a | R _z | R _z | R _p | R _{pm} | R _{sz} | P _c | R _{pk} | R _k | R _{vk} | A ₂ | | | |
| BEZ OPTEREĆE. | Estetska | Bojene površine - lim | Valjanje | | ↓ | | | | | | ↓ | | | | | ↑ |
| | | Kalupni alat za plastiku | Elektrokemijska erozija | | ↓ | | | | | | ↓ | | | | | |
| | Ostalo | Površine u prehran. ind. | Valjanje/poliranje | ↑ | | | | | | | | | | | | ↑ |
| | | Elektro-kontaktne površine | Platiniranje | ↑ | | | | | | | | ↑ | ↑ | | | |
| | | Keramikaporožne površine | Sinteriranje | | | | | ↑ | ↑ | | | | | | | |
| | | Papir/tkanina | | | | | | | ↓ | | ↓ | ↓ | | | | |

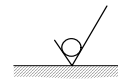
METODE OZNAČAVANJA KVALITETE POVRŠINE



Svi postupci
dozvoljeni
APA



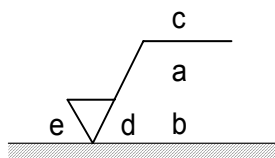
Obrada odvajanjem
čestica
MRR



Obrada bez
odvajanja čestica
NMR

Grafički simboli za označavanje kvalitete obrađenih
površina na tehničkim crtežima

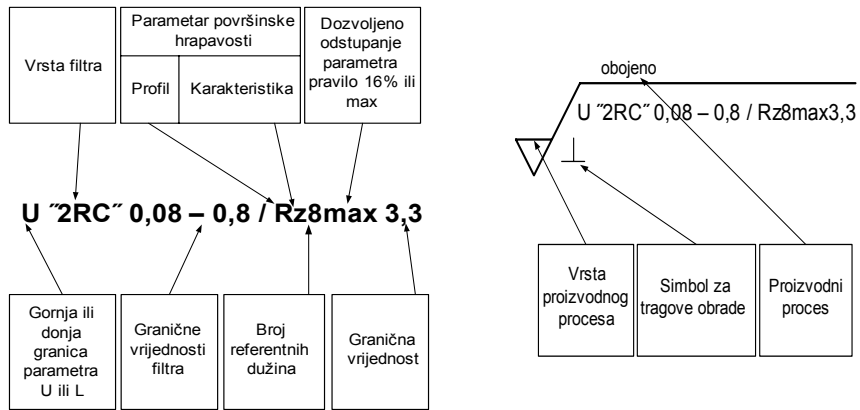
METODE OZNAČAVANJA KVALITETE POVRŠINE



mjesto a - pojedinačni zahtjev na hrapavost površine
mjesto a i b - dva ili više zahtjeva na hrapavost površine
mjesto c - postupak obrade
mjesto d - smjer tragova obrade
mjesto e - dodatak za obradu

Položaj oznaka dopunskih zahtjeva

METODE OZNAČAVANJA KVALITETE POVRŠINE






Položaj oznaka zahtjeva na hrapavost površine - primjer

METODE OZNAČAVANJA KVALITETE POVRŠINE

| Grafički simbol | Objašnjenje i prikaz |
|-----------------|---|
| ≡ | Paralelno na ravninu projekcije pogleda u kojoj je simbol korišten |
| ⊥ | Okomito na ravninu projekcije pogleda u kojoj je simbol korišten |
| × | Presječno u dva kosa smjera koja se odnose na ravninu projekcije pogleda u kojoj je simbol korišten |
| M | Višesmjernan |

METODE OZNAČAVANJA KVALITETE POVRŠINE

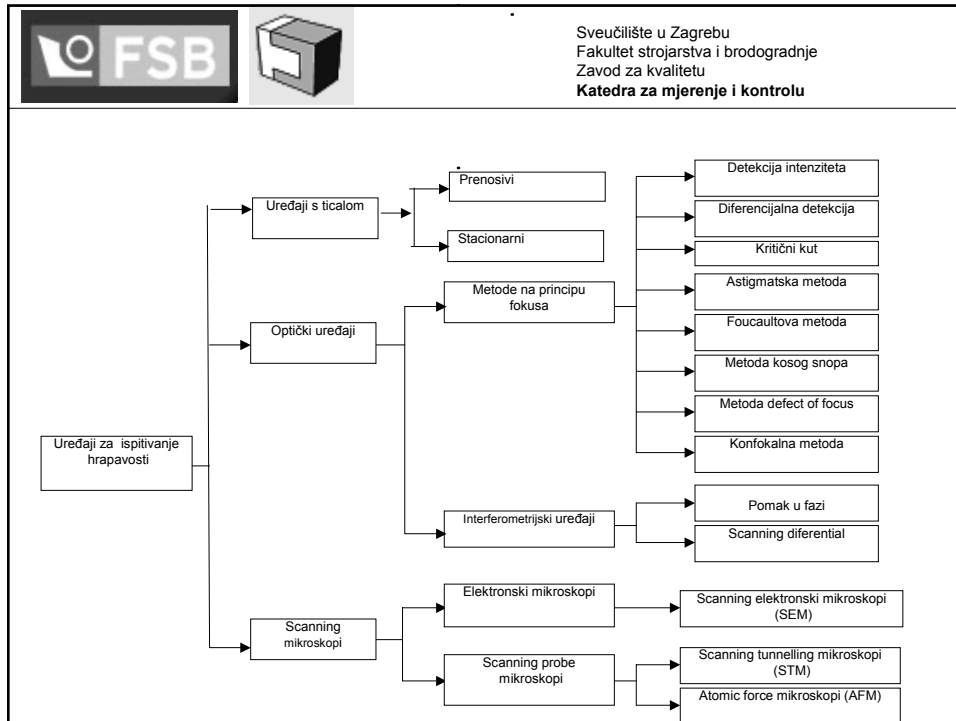
| Grafički simbol | Objašnjenje i prikaz | |
|--|--|--|
| C | Približno, krugovi relativno prema centru površine u kojoj se simbol primjenjuje |  |
| R | Približno, radijalno relativno prema centru površine u kojoj se simbol primjenjuje |  |
| P | Sloj je poseban, bez smjera, ili izbočen |  |
| Ako je potrebno odrediti uzorak površine koji nije vidljivo određen preko svih simbola | | |

METODE OZNAČAVANJA KVALITETE POVRŠINE

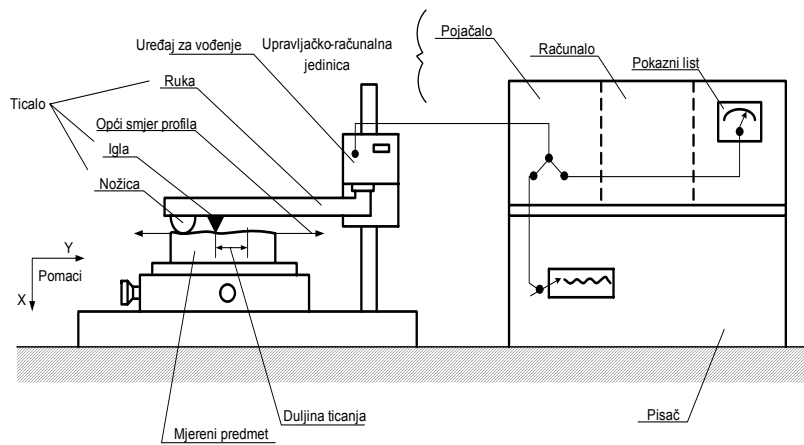
Dozvoljena odstupanja za navedenu graničnu vrijednost parametra hrapavosti

"Pravilo 16%" za definiranu gornju granicu granične vrijednosti parametra smatra površinu zadovoljavajućom ako ne više od 16% svih mjerenih vrijednosti parametra, unutar duljine procjenjivanja, ne prelazi vrijednost navedenu na crtežu ili tehničkoj dokumentaciji. Za definiranu donju granicu granične vrijednosti parametra smatra površinu zadovoljavajućom ako ne više od 16% svih mjerenih vrijednosti parametra, unutar duljine procjenjivanja, nije ispod vrijednosti navedene na crtežu ili tehničkoj dokumentaciji.

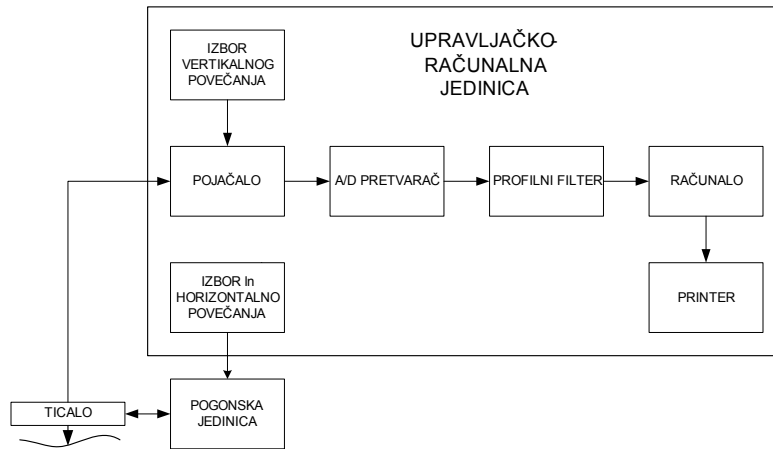
"Pravilo max" za definiranu graničnu vrijednost parametra smatra površinu zadovoljavajućom ako ni jedna mjerena vrijednost parametra na površini ispitivanja ne prelazi vrijednost specificiranu na crtežu ili tehničkoj dokumentaciji.



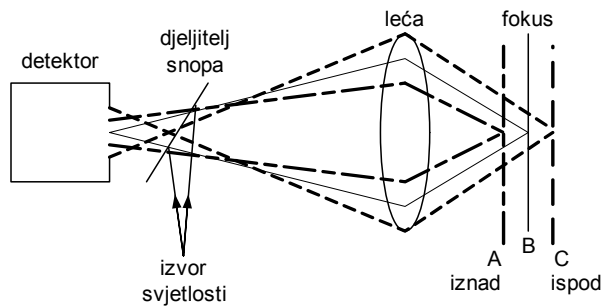
UREĐAJ S TICALOM



BLOK SHEMA UREĐAJA S TICALOM

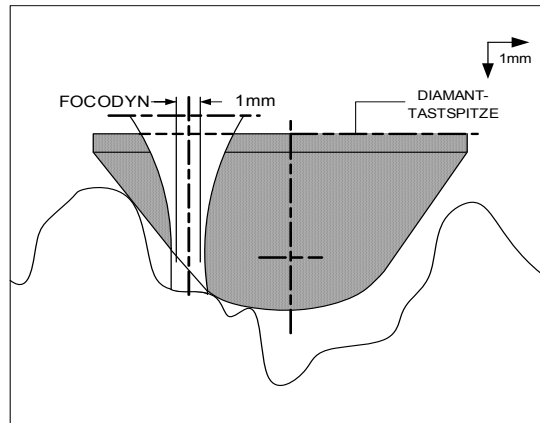


METODE NA PRINCIPU FOKUSA



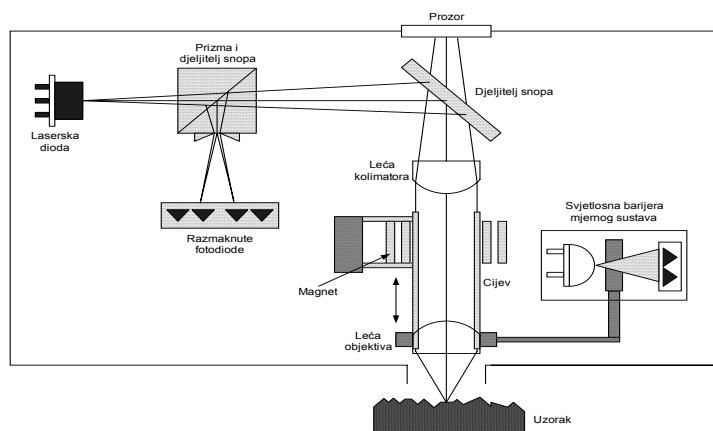
Općeniti sustav na principu fokusa

METODE NA PRINCIPU FOKUSA



Usporedba igle ticala i fokusne zrake svjetlosti

METODE NA PRINCIPU FOKUSA



Metoda detekcije intenziteta



LITERATURA:

1. Grupa autora, Teorija i tehnika mjerenja i podloge za vježbe FSB, 1990
2. F. T. Farago, M.A. Curtis, Handbook of Dimensional Measuremen Industrial Preess Inc. , New York, 1994,
3. D. M. Anthony, Engineering Metrology, Pergamon Press, New York, 1986
4. D. J. Whitehouse, Handbook of surface and nanometrology, Philadelphia, Institute of physics publishing, 2003