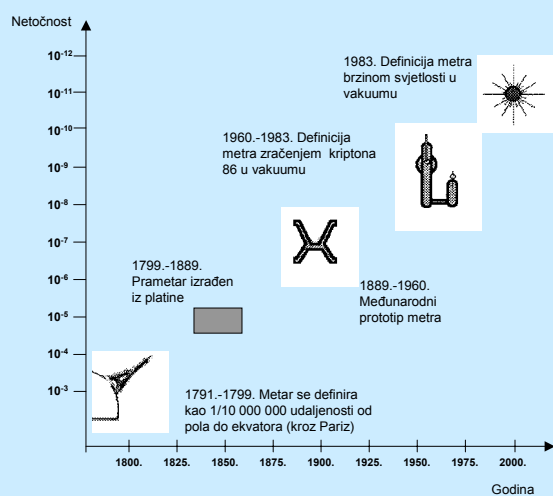


MJERENJE OBLIKA I DIMENZIJA

Doc.dr.sc Biserka Runje

RAZVOJ JEDINICE DULJINE METRA



DEFINICIJE METRA

Meridijanski metar: 1791. god.

(fizikalni – 1/10 000 000 udaljenosti od pola do ekvatora);

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

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

MJERNI POSTUPAK

PREDMET
MJERENJA

MJERITELJ

MJERNA
METODA

REALNA
OKOLINA



REALNO
VRIJEME

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.

VRSTE POGREŠAKA

UZROCI

POS LJEDICE

SUSTAVNE
POGREŠKE



-metoda
-konstrukcija
-okolina
-deformacije
-istrošenost



netočnost
rezultata

SLUČAJNE
POGREŠKE



-nesavršenost uređaja i
osjetila
-promjenljivost okoline
-neiskustvo



nepreciznost
rezultata

GRUBE
POGREŠKE



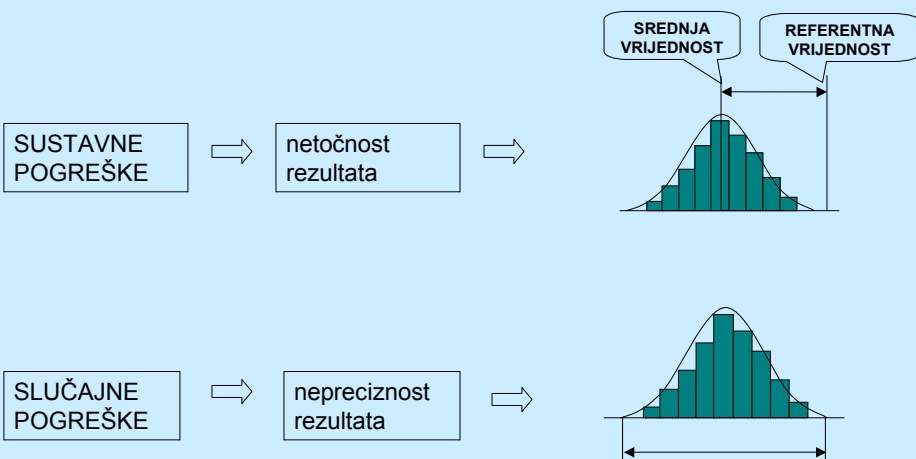
-nepažnja mjeritelja
-loša podešenost
-neispravnost mjerila



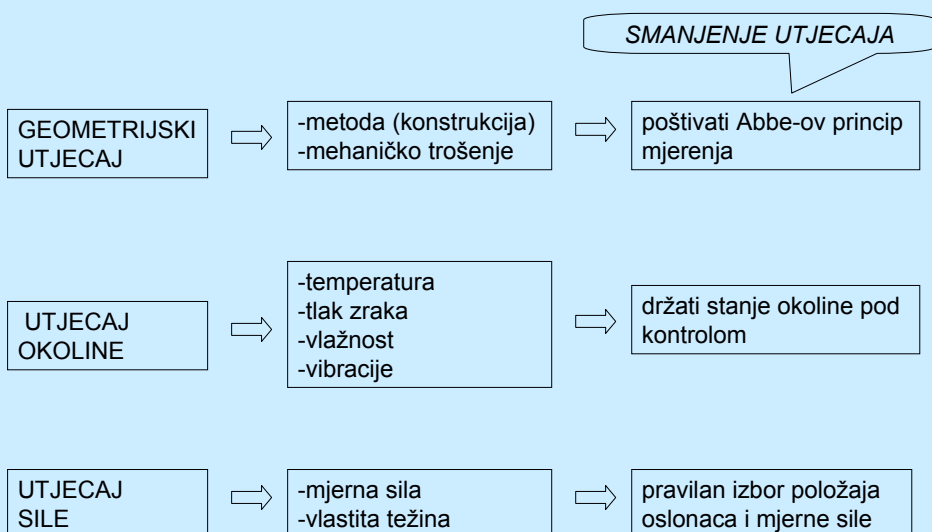
rezultat se
odbacuje



VRSTE POGREŠAKA

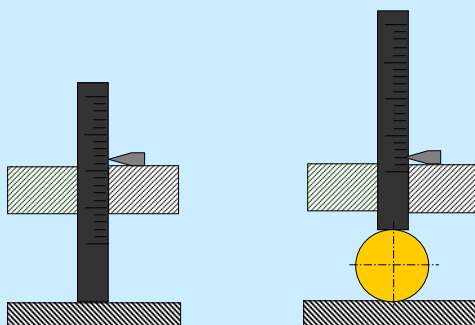


SUSTAVNE POGREŠKA

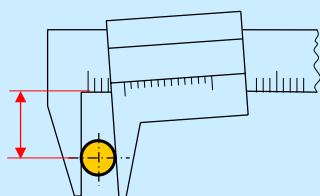


ABBE-OV PRINCIP MJERENJA

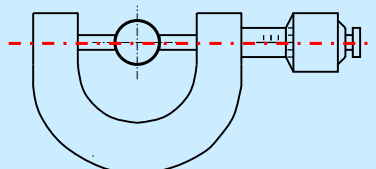
U cilju uklanjanja pogrešaka 1. reda, koje su najveće i koje imaju dominantnu ulogu, potrebno je da se predmet mjerenja nalazi u produžetku mjerne skale.



ABBE-OV PRINCIP MJERENJA

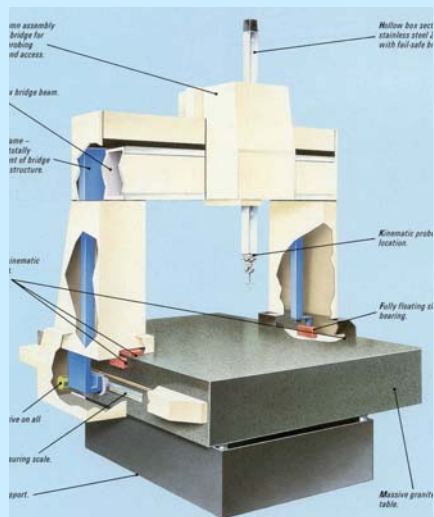


NEZADOVOLJAVA



ZADOVOLJAVA

ABBE-OV PRINCIP MJERENJA



Standardni mjeriteljski uvjeti okoline

TEMPERATURA

20°C

TLAK

1013,25 mbar

RELATIVNA VLAŽNOST

58%

UTJECAJ TEMPERATURE

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

$\Delta L \Rightarrow$ promjena duljine predmeta uslijed temperature u m

$L \Rightarrow$ duljina predmeta u m

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

$\Delta t \Rightarrow$ razlika temperature predmeta od $20^{\circ}C$ u $^{\circ}C$

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

ODSUPANJE OD
LINEARNOSTI

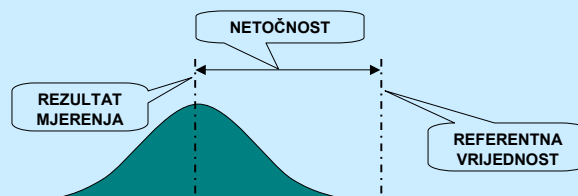
NESTABILNOST

PONOVLJIVOST

OBNOVLJIVOST

NETOČNOST

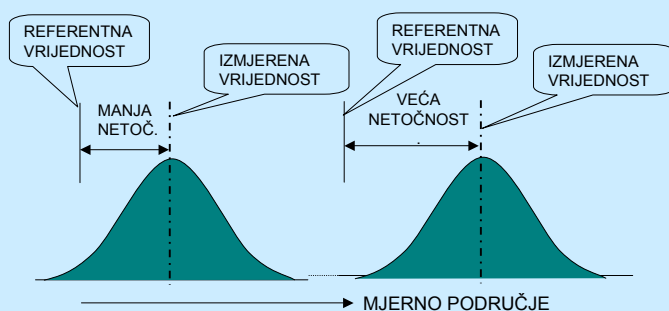
Netočnost je razlika između dobivenog rezultata mjerenja i referentne vrijednosti.



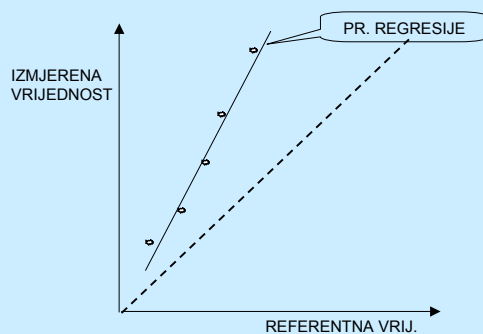
Referentna vrijednost je vrijednost koja služi kao dogovorena referenca za mjernu vrijednost, a može biti utvrđena na osnovi srednje vrijednosti rezultata više mjerenja provedenih mjernom opremom više razine točnosti.

ODSTUPANJE OD LINEARNOSTI

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



ODSTUPANJE OD LINEARNOSTI



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: $(y = 1,022x - 0,0001) \text{ mm}$

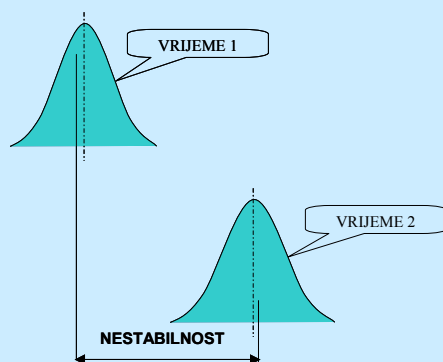
RELATIVNA LINEARNA POGREŠKA

0,022 mm/mm

22 μm/mm

NESTABILNOST

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

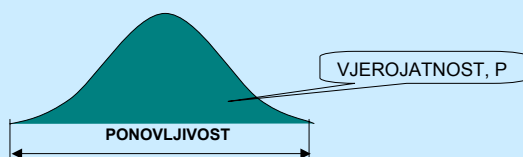


PONOVLJIVOST

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

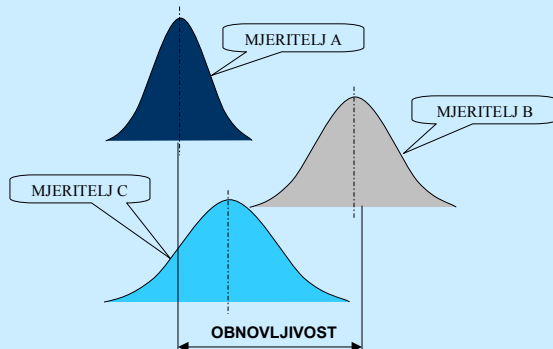
- isti mjerni postupak,
- istog mjeritelja
- isto mjerilo upotrebljavano u istim uvjetima
- isto mjerno mjesto
- ponavljanje u kratkom vremenu

Ponovljivost se može izraziti količinski s pomoću značajki rasipanja rezultata.



OBNOVLJIVOST

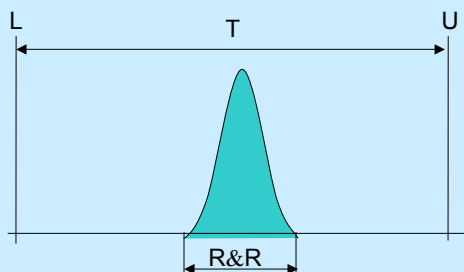
Obnovljivost je rasipanje rezultata mjerenja dobiveno od strane većeg broja mjeritelja pri višestrukome mjerenju iste karakteristike na istim dijelovima uz korištenje istog ili različitog mjernog instrumenta.



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

SPOSOBNOST MJERNOG SUSTAVA

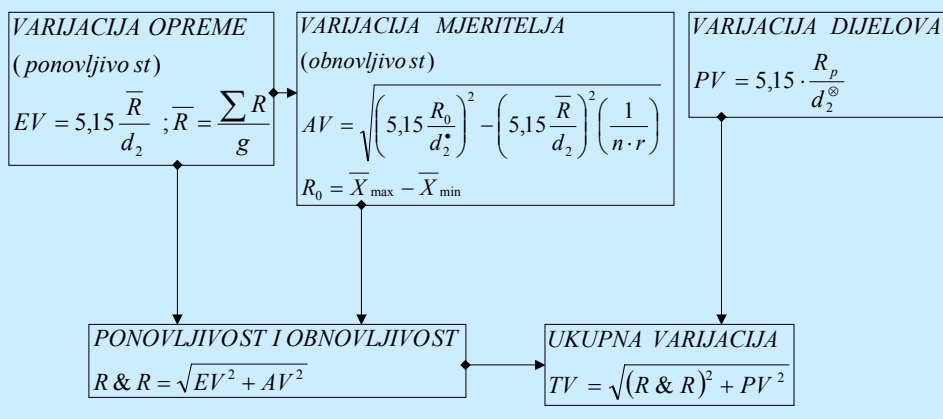
Sposobnost mjernog sustava predstavlja udio varijabilnosti mjernog sustava (R&R) iskazanog postotkom područja dopuštenog odstupanja (T).



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

PROCJENA SPOSOBNOSTI MJERNOG SUSTAVA

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



PROCJENA SPOSOBNOSTI MJERNOG SUSTAVA

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

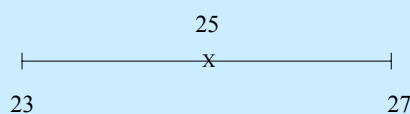
< 10 %	⇒	mjerni sustav je zadovoljavajući
10 % - 30 %	⇒	mjerni sustav se može smatrati zadovoljavajućim (ovisno o značajnosti primjene)
>30 %	⇒	potrebna su poboljšanja u mjernom sustavu

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?

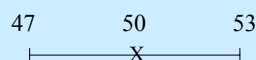
Mjerenja nisu savršena kako zbog djelovanja slučajnih utjecaja (trenutna promjena temperature, tlaka i vlage ili neiskustvo mjeritelja, nesavršenost uređaja i osjetila) tako i zbog ograničenih mogućnosti korekcije sustavnih djelovanja (promjena karakteristike instrumenta između dva umjeravanja, utjecaj 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.

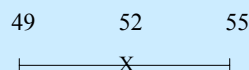
LABORATORIJ 1:

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



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.

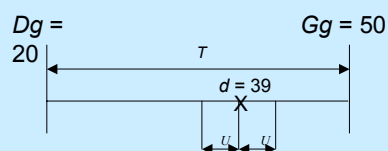
LABORATORIJ:

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

Tolerancija:

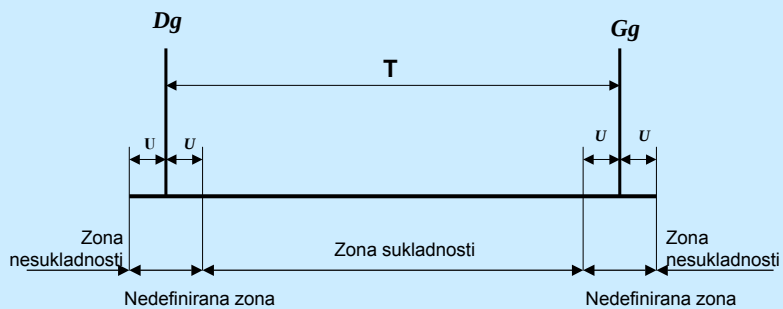
Donja granica $Dg = 20 \mu\text{m}$

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



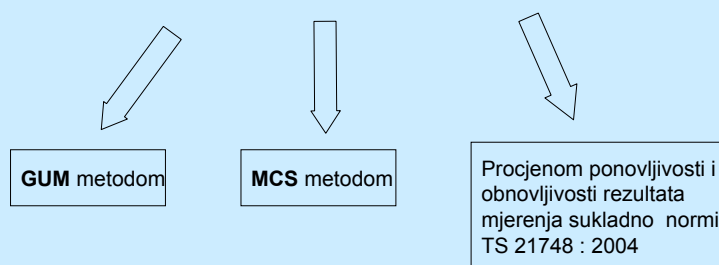
ZAŠTO PROCJENJUJEMO MJERNU NESIGURNOST?

Pravilo sukladnosti:



KAKO PROCIJENITI MJERNU NESIGURNOST REZULTATA MJERENJA?

Procjena mjerne nesigurnosti



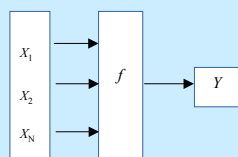
GUM METODA

Osnovni

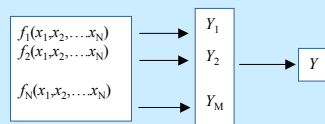
koraci:

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

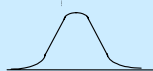


Slika 2. Vektorski odnos između ulaznih veličina i mjerene veličine

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

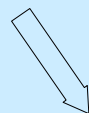


Iz niza ponovljenih mjerenja uz primjenu normalne i studentove razdiobe



$x_i \quad u(x_i)$

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_i :

- 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

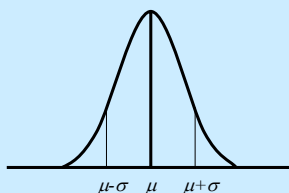
Procjena se zasniva na apriornim razdiobama vjerojatnosti:

normalna ili Gaussova
pravokutna ili jednolika
trokutasta i dr.

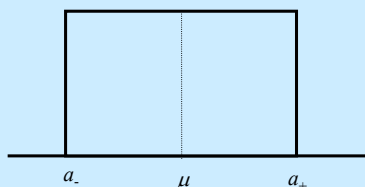
Razdiobe vjerojatnosti

Normalna razdioba

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$



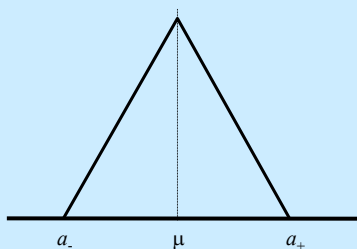
Pravokutna razdioba



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

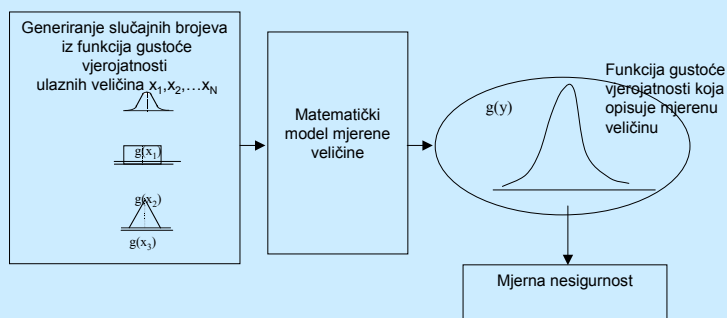
Proširena nesigurnost je veličina koja određuje interval oko mjernog rezultata za koji se može očekivati da obuhvaća veliki dio razdiobe vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini.

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

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

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.



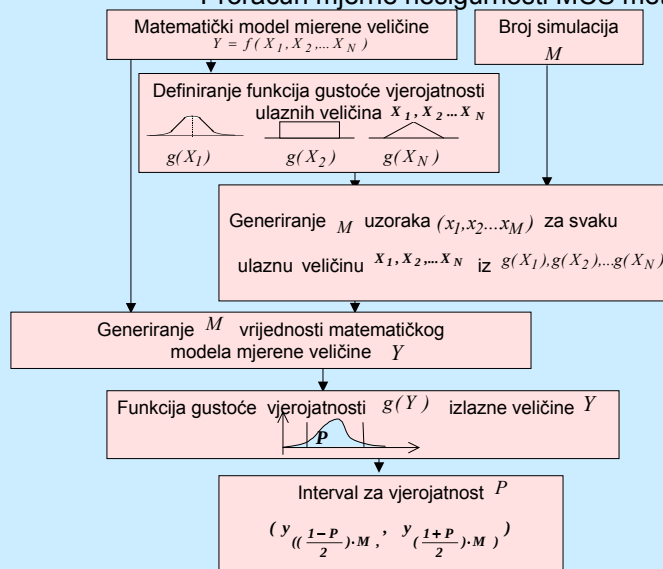
MCS METODA (Metoda Monte Carlo)

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

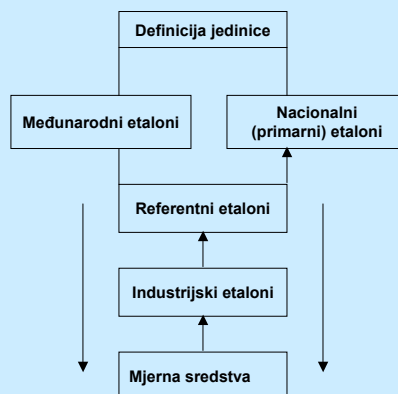
BIPM

Nacionalni laboratoriji (u većini zemalja su nacionalni mjeriteljski instituti)

Akreditirani laboratoriji

Poduzeća

Krajnji korisnici



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
bekerel	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 · 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 µkg.
- 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 cm · 48 cm, a ne 35 · 48 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

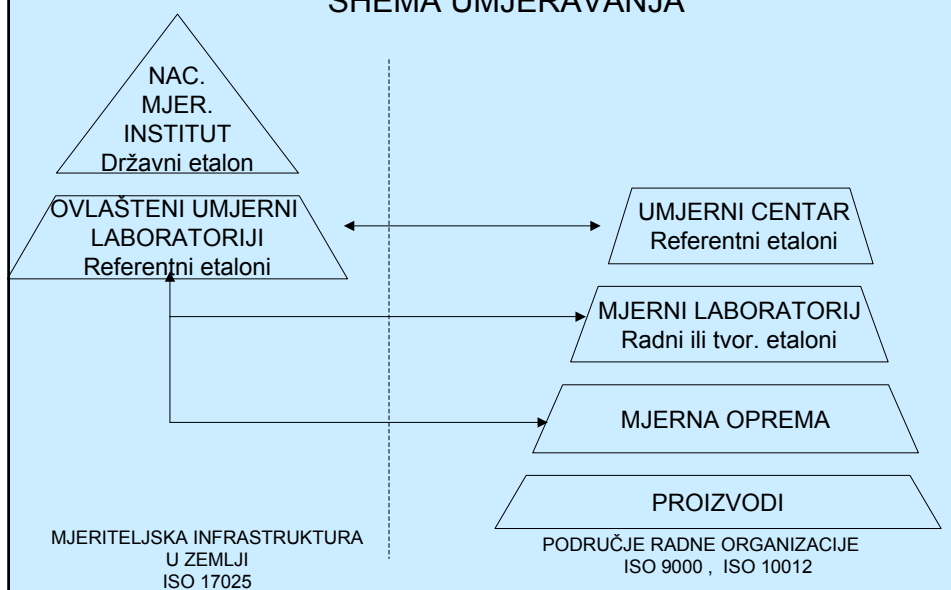
UMJERAVANJE

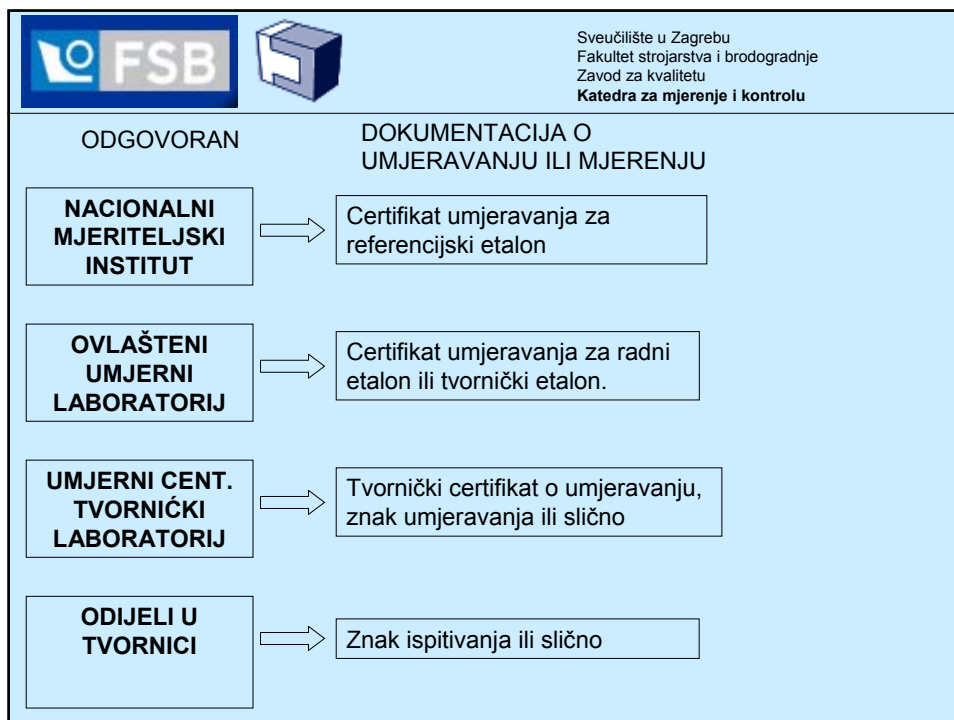
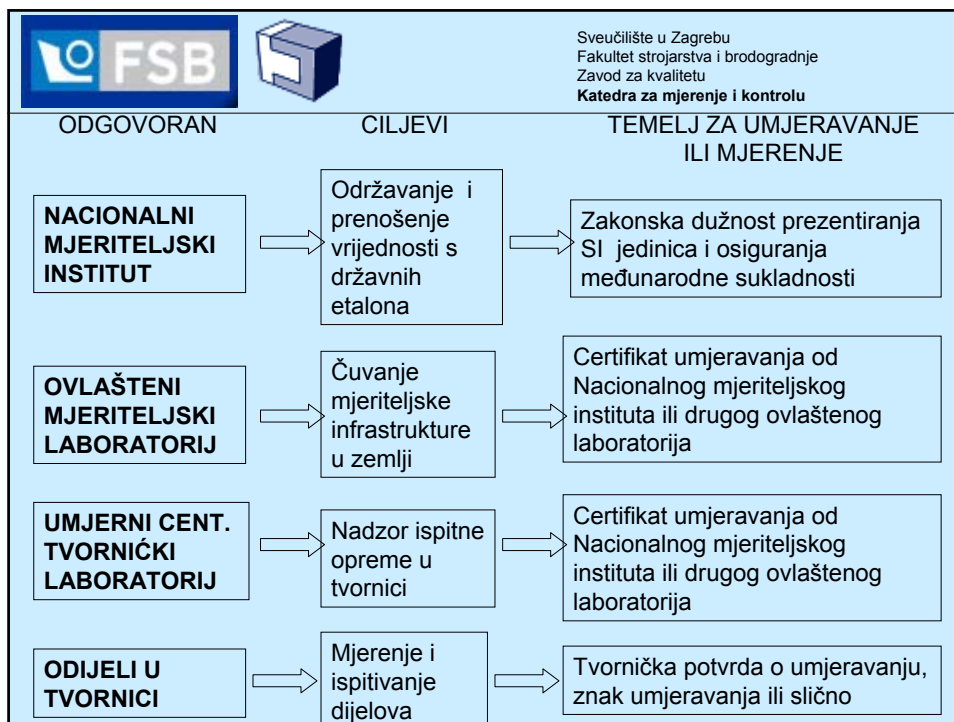
Skup postupaka kojima se u određenim uvjetima uspostavlja odnos između vrijednosti veličina koje pokazuje neko mjerilo ili mjerni sustav ili vrijednosti koje pokazuje neka materijalizirana mjera ili neka referencijska tvar i odgovarajućih vrijednosti ostvarenih etalonima.

SLJEDIVOST

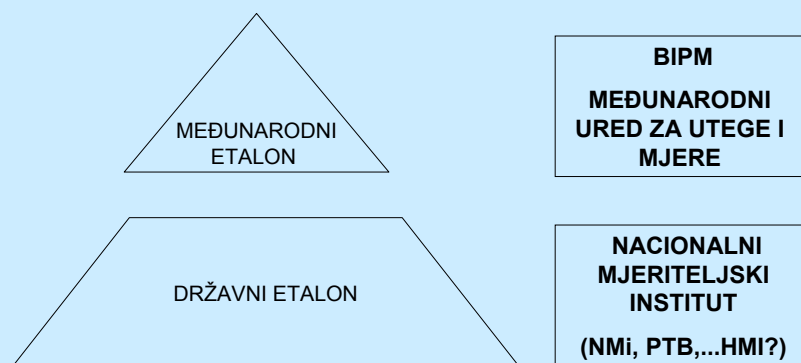
Svojstvo mjernog rezultata ili vrijednosti kojeg etalona po kojemu se on može dovesti u vezu s navedenim referencijskim etalonima (obično državnim ili međunarodnim) neprekinutim lancem usporedaba koje imaju utvrđene mjerne nesigurnosti.

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 USPREDBI

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

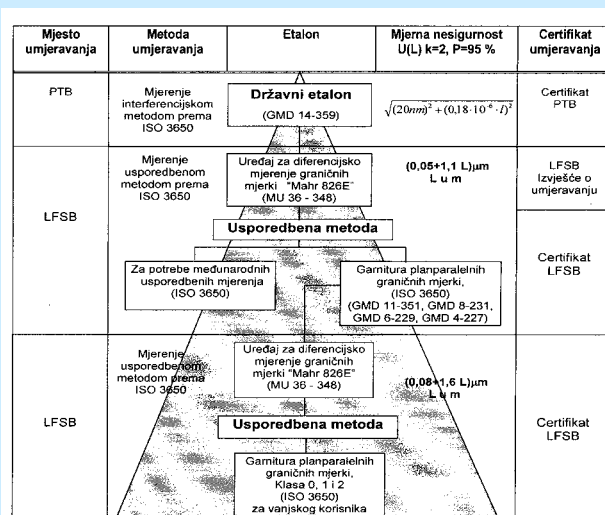
U_{ref} - mjerna nesigurnost referencijskog laboratorija

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:	$R_a=(0,008-30) \mu m$	U=5%, k=2, P=95%
	$R_y, R_z=(0,025-100) \mu m$	U=8%, k=2, P=95%
Kut:	$\alpha=0^\circ-90^\circ$	U=0,5", k=2, P=95%

SHEMA UMJERAVANJA JEDINICE DULJINE (HRVATSKA)



DRŽAVNI ETALON JEDINICE DULJINE



Laboratorij LFSB nositelj državnog etalona duljine

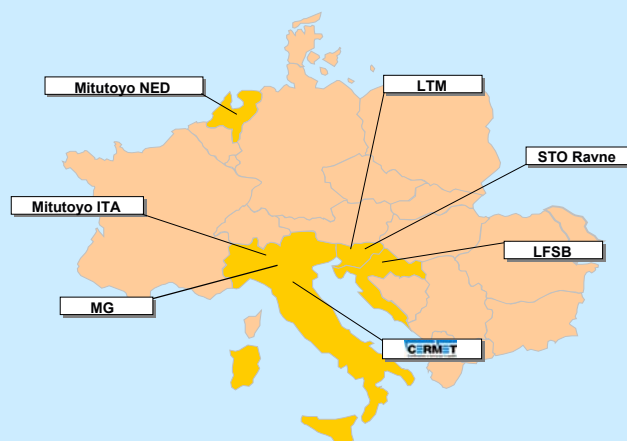
USPOREDBENO MJERENJE ETALONA DULJINE Komparator Mahr 8 (SIT akreditacija)



Temeljno načelo u radu Laboratorija:

***SAZNAT ĆEMO KAKO MJERIMO
AKO IZAĐEMO IZ LABORATORIJA.***

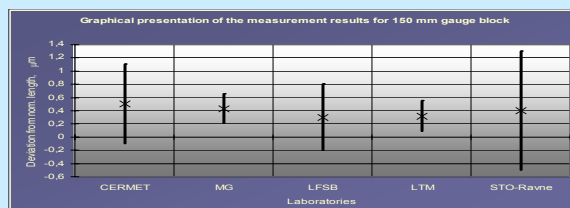
Laboratoriji s kojima LFSB ima stalnu, vrlo uspješnu suradnju (godišnja usporedbena mjerenja, razmjena stručnjaka, razmjena iskustva i dr.)



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

ODSTUPANJA OD OBLIKA I POLOŽAJA

OSNOVNI SIMBOLI SUSTAVA TOLERANCIJE OBLIKA I POLOŽAJA

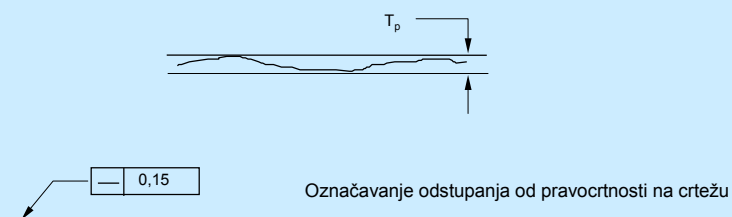
TOLERANCIJE OBLIKA		TOLERANCIJE POLOŽAJA		SLOŽENE TOLERANCIJE	
Karakteristika koja se tolerira	Simbol	Karakteristika koja se tolerira	Simbol	Karakteristika koja se tolerira	Simbol
1.1 pravocrtnost		2.1 paralelnost		3.1 netočnost okretanja	
1.2 ravnoća		2.2 okomitost		3.2 radijalna netočnost okretanja	
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

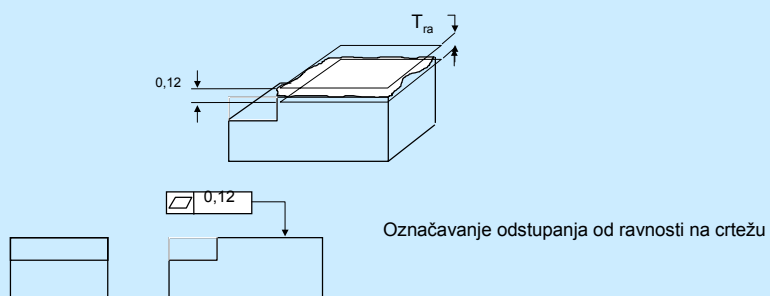


ODSTUPANJE OD RAVNOSTI

Definicija ravnosti

Ravnost je stanje površine kod koje su sve točke u jednoj ravnini.

Dozvoljeno odstupanje od ravnosti određeno je prostorom između dvije ravnine, koje su udaljene za vrijednost naznačenog odstupanja T_{ra}



METODE MJERENJA ODSUPANJA 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.

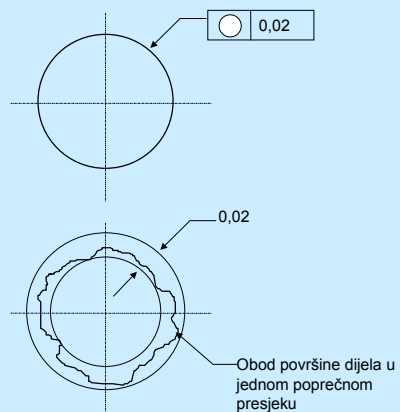
ODSTUPANJE OD KRUŽNOSTI

DEFINICIJA KRUŽNOSTI

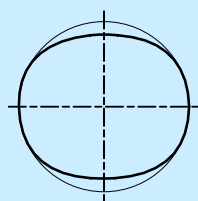
Kružnost se odnosi na stanje kružne linije ili površine kružnog dijela, kod kojeg su sve točke na liniji, ili na obodu poprečnog presjeka dijela, jednako udaljene od središnje točke.

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.

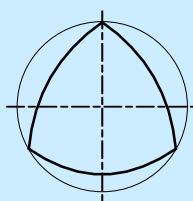
ODSTUPANJE OD KRUŽNOSTI



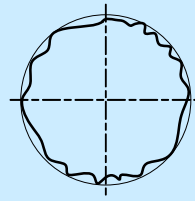
KARAKTERISTIČNE GREŠKE KRUŽNOSTI



OVALNOST



IZBOČENOST



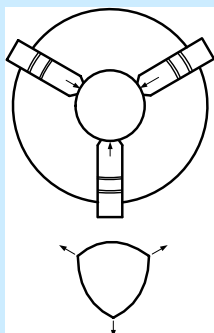
VALOVITOST

NAJČEŠĆI UZROZI KARAKTERISTIČNIH GREŠAKA KRUŽNOSTI

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

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

VALOVITOSTI: vibracije alatnog stroja, nedovoljna krutost izratka



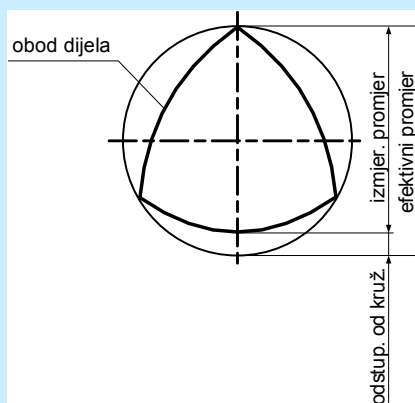
Izbočenost uzrokovana
strojnim škripcem sa tri
čeljusti

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

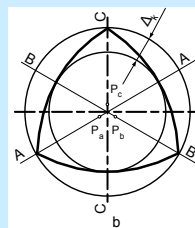
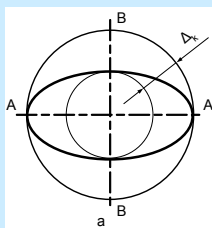
Zajednička značajka (nedostatak) ovih metoda je u tome što je mjerna referenca u toku ispitivanja kružnosti promjenljiva.
Razlog tome leži u određivanju mjerne reference na temelju elemenata površine ispitivanog predmeta mjerenja.

Ove metode su slijedeće:

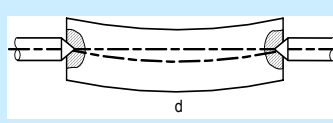
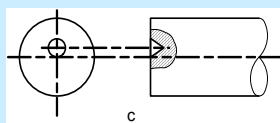
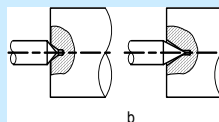
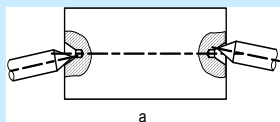
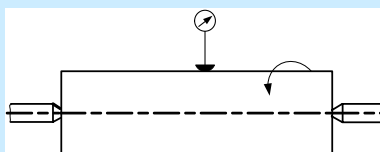
- **dijametralno ispitivanje kružnosti;**
- **ispitivanje kružnosti primjenom mjernih šiljaka;**
- **ispitivanje kružnosti primjenom V-prizmi.**

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.

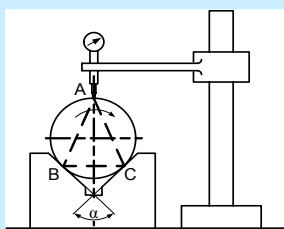
DIJAMETRALNO ISPITIVANJE KRUŽNOSTI



ISPITIVANJE KRUŽNOSTI PRIMJENOM MJERNIH ŠILJAKA

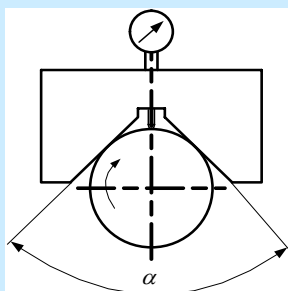


ISPITIVANJE KRUŽNOSTI PRIMJENOM V-PRIZMI



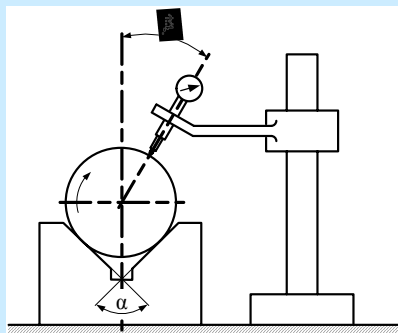
Kut ticanja $\beta = 0$

ISPITIVANJE KRUŽNOSTI PRIMJENOM V-PRIZMI



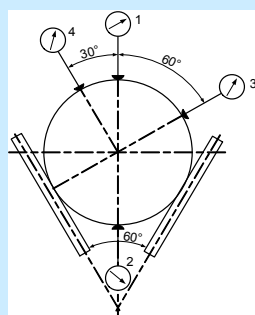
Kut ticanja $\beta = \pi$

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

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

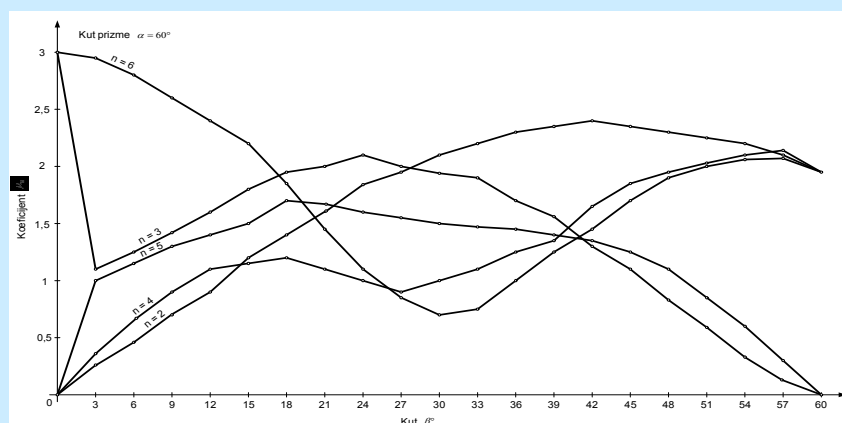
Δ – izmjerena vrijednost (raspon pokazivanja instrumenta)

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

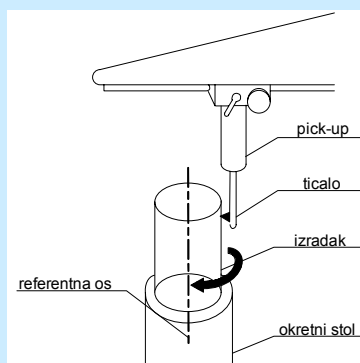
Kod ove metode ispitivanja kružnosti za mjernu referencu se uzima os rotacije vrlo precizno izrađenog vretena, čija točnost rotacije mora biti unutar strogo propisanih granica. Primjenom ove metode ispitivanja kružnosti dobiva se stvarna slika geometrijskog stanja ispitivane površine i informacije koje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

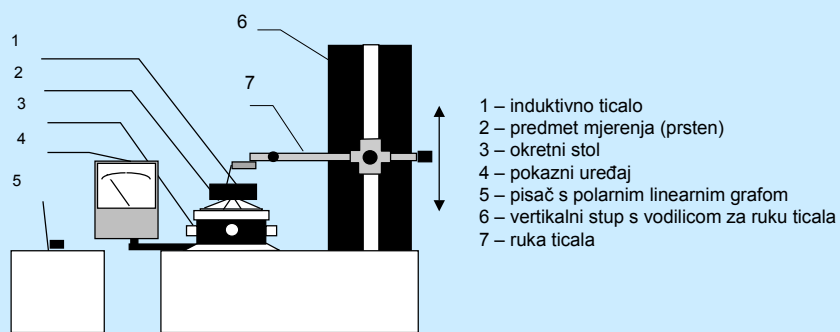
METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

Ispitivanje kružnosti primjenom okretnog stola



METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

Uređaj za Ispitivanje kružnosti primjenom okretnog stola (LFSB)



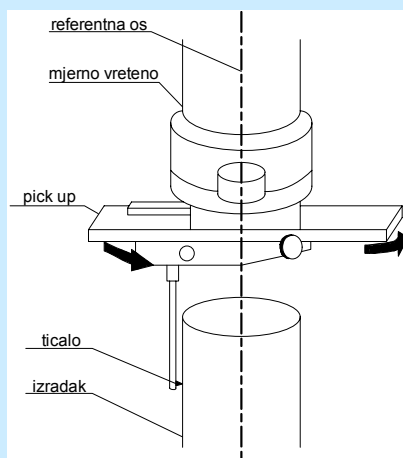
METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

Uređaj za Ispitivanje kružnosti primjenom okretnog stola (LFSB)



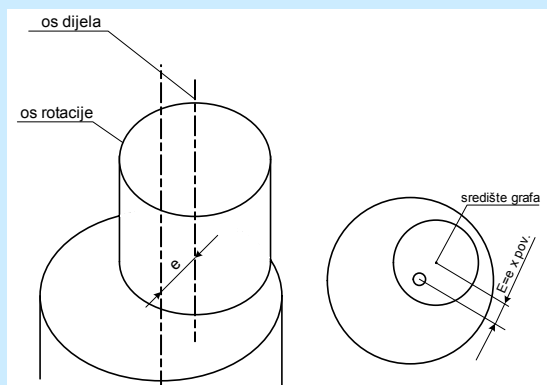
METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

Ispitivanje kružnosti primjenom okretnog mjernog ticala

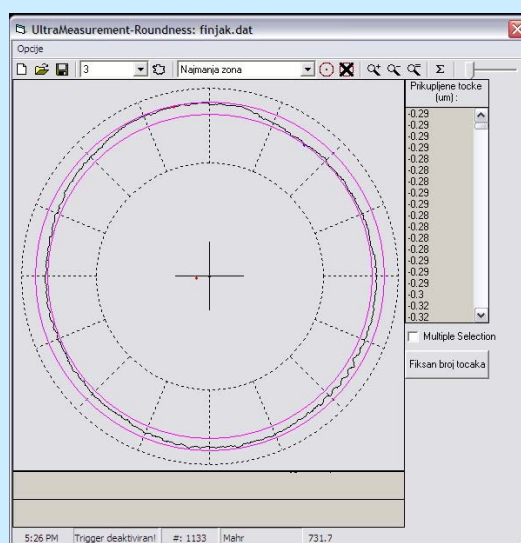


METODE ISPITIVANJA KRUŽNOSTI S VANJSKOM MJERNOM REFERENCOM

Ekscentričnost „e“ osi dijela u odnosu na os rotacije

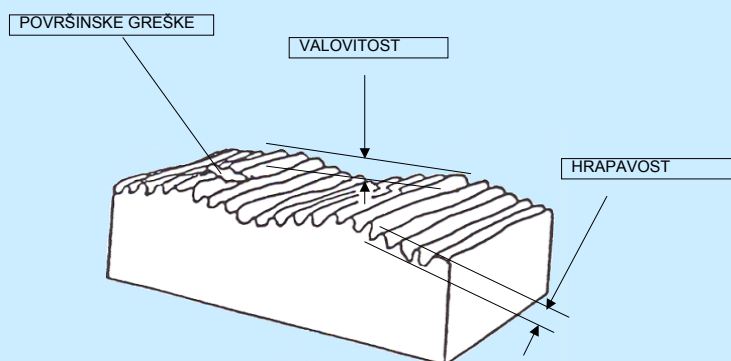


POLARNI GRAF – NAJMANJA KRUŽNA ZONA



ISPITIVANJE HRAPAVOSTI POVRŠINE

ODSTUPANJA NA POVRŠINI



HRAPAVOST POVRŠINE

VALOVITOST

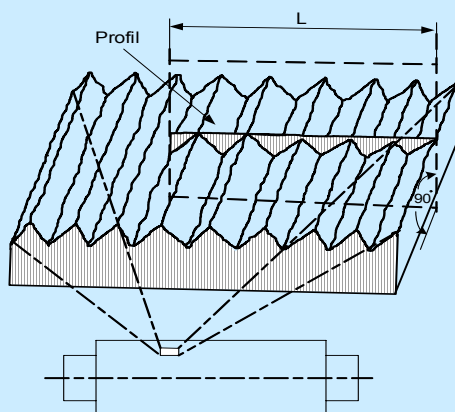
ODSTUPANJE OD OBLIKA

- RAVNOĆA
- OBLIK POVRŠINE

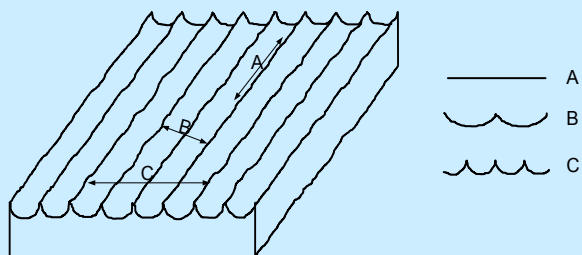
ISPITIVANJE HRAPAVOSTI POVRŠINA

- 2D SUSTAV
- 3D SUSTAV

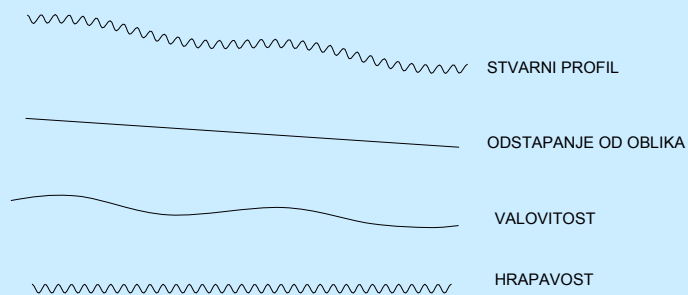
ISPITIVANJE HRPAVOSTI POVRŠINA 2D SUSTAV



OPTIMALNI IZBOR REFERENTNOG PROFILA

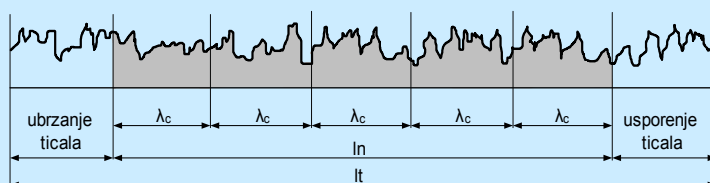


ODSTUPANJA NA STVARNOM PROFILU



PARAMETRI HRAPAVOSTI 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	
$l_r(\lambda_c)$ u mm	$l_n=5l_r$ 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

PARAMETRI HRAPAVOSTI

Amplitudni parametri - opisuju varijacije po visini profila

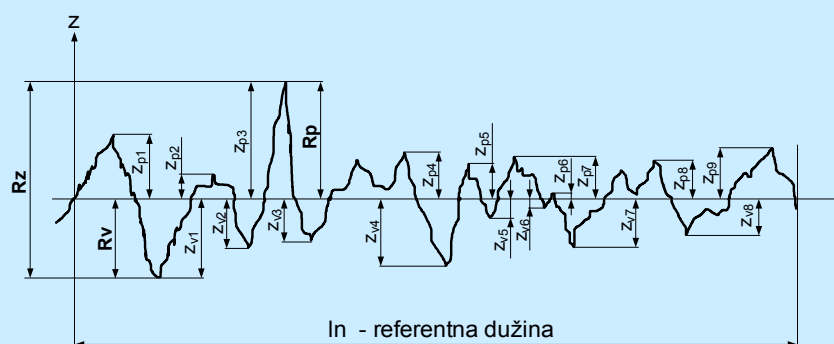
Uzdužni parametri - opisuju varijacije uzduž profila

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

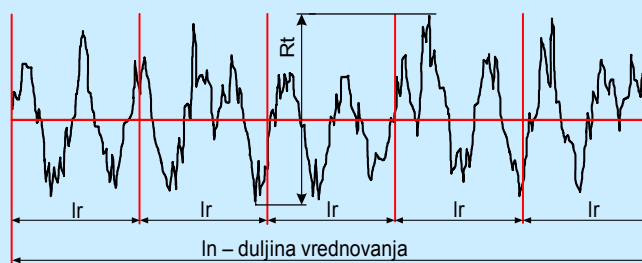
AMPLITUDNI PARAMETRI

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



AMPLITUDNI PARAMETRI

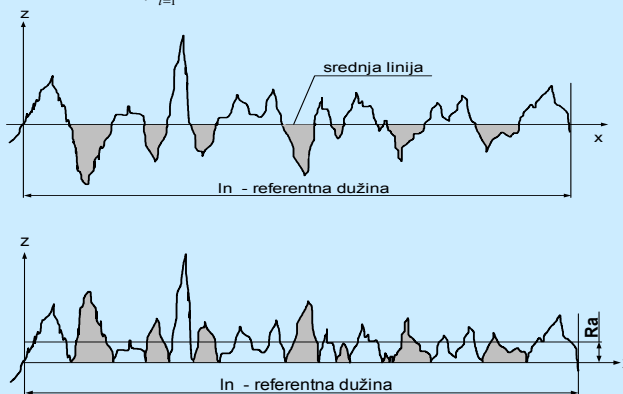
Ukupna visina profila **R_t**



AMPLITUDNI PARAMETRI

Srednje aritmetičko odstupanje **Ra**

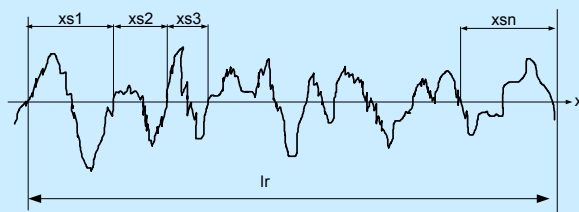
$$Ra = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad \text{ili} \quad Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Zx_i| \quad \text{gdje je } n \text{ broj ordinata } Zx \text{ koraka } \Delta x$$



UZDUŽNI PARAMETRI

Srednji korak elemenata profila **RSm**

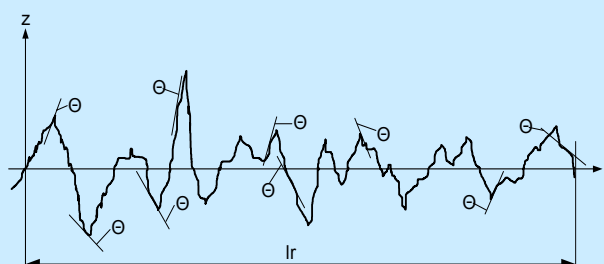
$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i \quad \text{gdje je } m \text{ broj elemenata profila}$$



HIBRIDNI PARAMETRI

Srednji kvadratni nagib profila **RΔq**

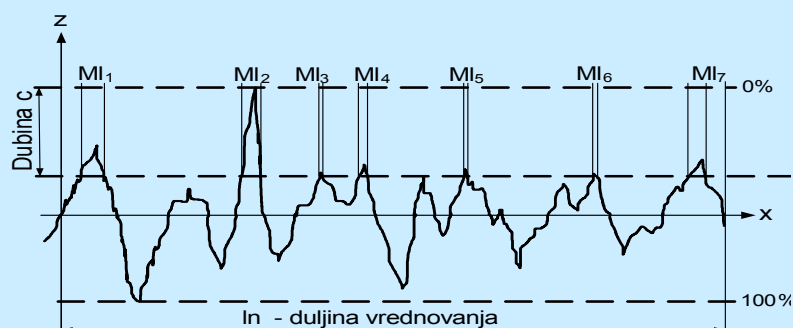
$$R\Delta q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} (\Theta(x) - \bar{\Theta})^2 dx} \quad \bar{\Theta} = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} \Theta(x) dx \quad \text{gdje je } \Theta \text{ nagib profila u bilo kojoj danoj točki}$$



HKRIVULJE I SRODNI PARAMETRI

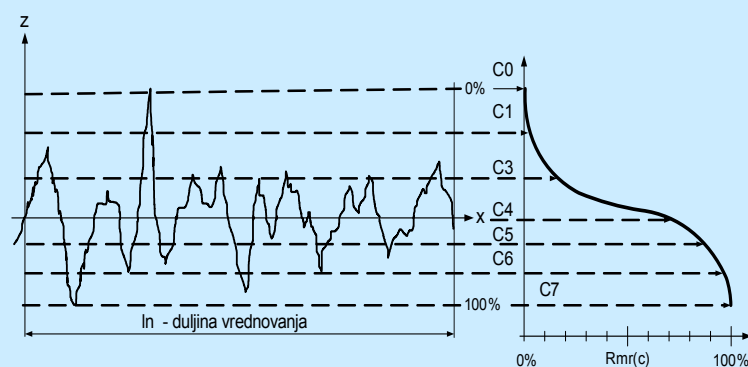
Udio materijala u profilu **Rmr(c)**

$$Rmr(c) = MI(c) / l_n$$



HKRIVULJE I SRODNI PARAMETRI

Krivulja udjela materijala profila (Abbott – Firestone krivulja)

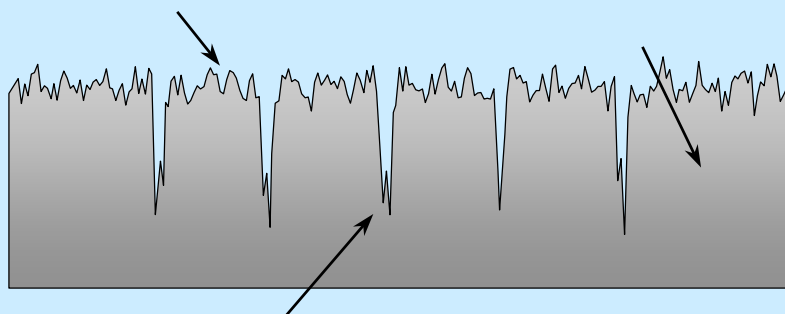


HKRIVULJE I SRODNI PARAMETRI

Multi –procesne površine

Gornja površina određuje
period uhadavanja

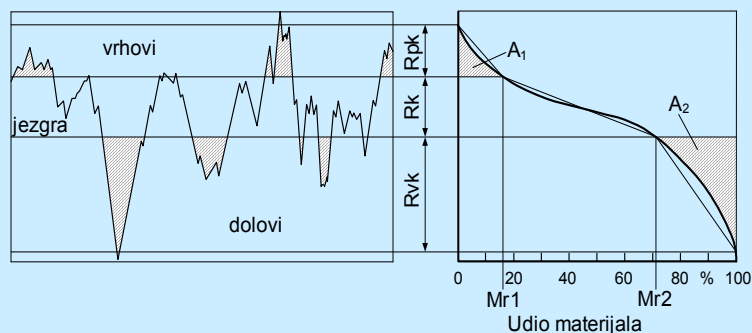
Tijelo površine definira
karakteristike trošenja/ trajanja



Dolovi definiraju karakteristike podmazivanja

HKRIVULJE I SRODNI PARAMETRI

Parametri hrapavosti – krivulja udjela materijala



HKRIVULJE I SRODNI PARAMETRI

Parametri hrapavosti – krivulja udjela materijala

Primarni:

Rpk – reducirana visina vrha profila – dio profila koji će u tijeku eksploatacije biti prvi istrošen,.

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

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

$Mr1$ – relativni udio materijala u vrhovima,

$Mr2$ – relativni udio ulja u dolovima,

Sekundarni:

$A1$ – površina materijala vrhova profila

$A2$ – 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

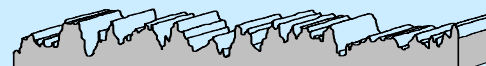
Profili površina sa približno istim Ra



Ra = 2.4 μm



Ra = 2.5 μm



Ra = 2.4 μm

FUNKCIJA POVRŠINE – ODABIR PARAMETARA HRAPAVOSTI

FUNKCIJA		PRIMJE-NA	PROCES	PARAMETRI HRAPAVOSTI												W _t
				Amplitudni						Uzdu-žni	Hibridni					
				R _a	R _z	R _z	R _p	R _{pm}	R _{3z}		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												W _t
				Amplitudni						Uzdu- žni	Hibridni					
				R _a	R _z	R _z	R _p	R _{pm}	R _{3z}		P _c	R _{pk}	R _k	R _{vk}	A ₂	
BEZ OPTEREĆE.	Estetska	Bojene površine - lim	Valjanje		↕						↕					↑
		Kalupni alat za plastiku	Elektro- kemijska erozija		↕						↕					
	Ostalo	Površine u prehran. ind.	Valjanje/po- -liranje	↑											↑	
		Elektro- kontaktne površine	Platiniranje	↑								↑	↑			
		Keramika- porozne površine	Sinteriranje				↑	↑								
		Papir/tkanina						↕				↕	↕			



LITERATURA:

1. Grupa autora, Teorija i tehnika mjerenja' podloge za vježbe FSB, 1990
2. F. T. Farago, M.A. Curtis, Handbook of Dimensional Measurenen 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