



MERNA NESIGURNOST 1

Osnovi metrologije

MERNA NESIGURNOST

SVAKO merenje je netačno i zahteva iskaz o *mernoj nesigurnosti* da bi se ta netačnost kvantifikovala

Merna nesigurnost je **SUMNJA** koja postoji u rezultat merenja

Merna nesigurnost

Rezultat merjenja je kompletan samo
ukoliko ga prati kvantitativna izjava o
njegovoj mernoj nesigurnosti

Podatak o dužini štapa:

200 cm \pm 1 cm (nivo pouzdanosti 95 %, $k=2$)

Znači: 95 % smo sigurni da je prava
dužina štapa između 199 cm i 201 cm

Od čega zavisi uspešno merenje?

- *Razumevanja* merne nesigurnosti
- *Izražavanja* merne nesigurnosti merila
- *Sledivosti* do nacionalnog etalona
- Primene *dobre metrološke prakse*

Svrha određivanja merne nesigurnosti

-Odluka da li je rezultat adekvatan za svrhu merenja

-Procena konzistentnosti rezultata sa drugim sličnim rezultatima.

Rezultat merenja je kompletan samo ukoliko ga prati kvantitativna izjava o njegovoj mernoj nesigurnosti.

Merna nesigurnost

BIPM: Preporuka INC-1 (1980)

ISO/TAG 4/WG 3: standardizacija metoda izražavanja merne nesigurnosti

GUM: *The Guide to the Expression of*

Uncertainty in Measurement
(1995.)

(100 stranica)

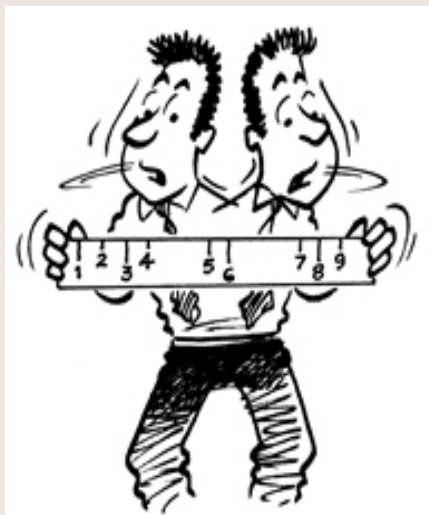


Osnovni vzroci merne nesigurnosti

UTICAJ
OKOLINE



LOŠA MERNA
OPREMA



POGREŠNA METODA
MERENJA



Greška i merna nesigurnost **NISU** isto

Greška je **RAZLIKA** između
izmerene vrednosti i *prave*
vrednosti izmerene veličine

Merna nesigurnost je kvantifikacija
SUMNJE u rezultat merenja

TAČNOST JE KVALITATIVAN POJAM

Tačnost merenja - Bliskost slaganja rezultata merenja i prave vrednosti merene veličine

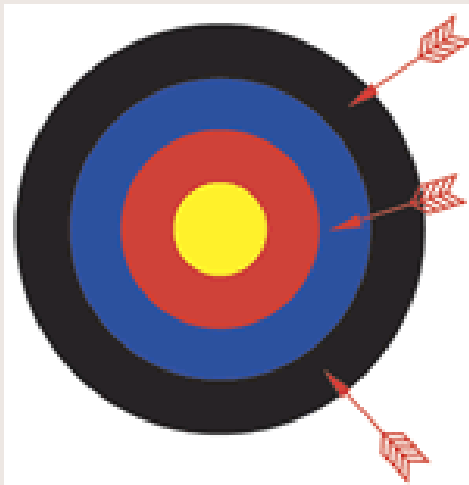
Tačnost merila- Sposobnost merila da daje odzive bliske pravoj vrednosti

Tačnost nije preciznost

TAČNOST NIJE PRECIZNOST

PRETPOSTAVKA: Centar mete je prava vrednost merene veličine

Netačno i neprecizno (loša ponovljivost): Strelac promašuje centar iz tri pokušaja. Pogotci su daleko jedan od drugog



TAČNOST NIJE PRECIZNOST

Precizno ali netačno

Strelac promašuje centar mete iz tri pokušaja, ali su pogotci jedan blizu drugog.



TAČNOST NIJE PRECIZNOST

Tačno ali neprecizno

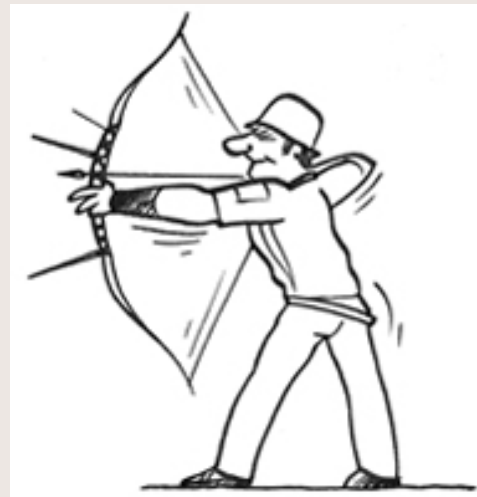
Strelac je iz tri pokušaja blizu centra, ali su pogodci daleko jedan od drugog.



TAČNOST NIJE PRECIZNOST

Tačno i precizno

Strelac pogadja centar mete sva tri puta i pogotci su jedan blizu drugog



Meri tri puta, seci
jedanput

Meri tri puta, daj jedan
rezulat



Šta **NIJE** merna nesigurnost

- Grube greške koje napravi *operator*
- *Tolerancije* predstavljaju prihvatljive granice odabrane za proces proizvodnje ili proizvod
- *Specifikacije* proizvođača
 - *Tačnost*
 - *Greška*
- Statističke analize

Zašto je merna nesigurnost tako važna?

Podatak o mernoj nesigurnosti je važan radi dobijanja dobrog kvaliteta merenja ili razumevanja samog rezultata. Podatak o mernoj nesigurnosti je važan u slučajevima: kao što su:

- **etaloniranje** - merna nesigurnost se mora izraziti u sertifikatu o etaloniranju

- **ispitivanje** - merna nesigurnost je kriterijum da li proizvod prolazi ili se odbija (a pass or fail kriterijum)

ili da bi se postiglo:

- **tolerancija** - merna nesigurnost obezbeđuje odluku da li su tzv. tolerancije postignute

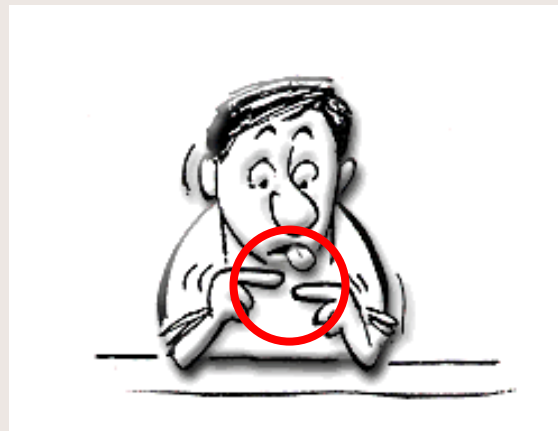
IZVORI GREŠAKA I MERNE NESIGURNOSTI

- 1) **MERILO** (promena napona napajanja, šum)
- 2) **PREDMET MERENJA** (domenzije ledene kocke u toploj sobi)
- 3) **PROCES MERENJA** (beba koja ne saraduje)
- 4) **UNEŠENE MERNE NESIGURNOSTI** (kalibracija)
- 5) **VEŠTINA MERIOCA** (startovanje štoperice)
- 6) **UZORKOVANJE**(temperatura dozimetrijske klupe)
- 7) **UTICAJ OKOLINE** (p,t, RH)

Svaki od ovih izvora treba da bude pojedinačni input pri proceni merne nesigurnosti.

PROCENA MERNE NESIGURNOSTI

- Tip A:** metod evaluacije merne nesigurnosti statističkom analizom niza ponovljenih merenja
- Tip B:** metod procene merne nesigurnosti metodama koje nisu statističke



Procena merne nesigurnosti tipa A

x - vrednost merene veličine

n - broj merenja ponovljenih pod istim uslovima

\bar{X} srednja vrednost x (ulazna veličina procene)

$u(x_i)$ a standardna merna nesigurnost (procenjuje se iz standardne devijacije srednje vrednosti)

$$x_i = \bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_{i,k}$$

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

$$= \left(\frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (X_{i,k} - \bar{X}_i)^2 \right)^{1/2}$$

Standardna merna nesigurnost

Standardna merna nesigurnost: Tip B,
predstavljena veličinom u_j

- Aproksimira se odgovarajućom standardnom devijacijom (= pozitivni kvadratni koren u_j^2)

- Veličina u_j^2 se tretira kao varijansa, a u_j kao standardna devijacija to je standardna nesigurnost ove komponente u_j .

Evaluacija komponente Tipa B merne nesigurnosti

- 1) prethodni rezultati merenja
- 2) iskustva ili neka opšta znanja o ponašanju merila
- 3) karakteristike materijala ili merila
- 4) specifikacije proizvođača
- 5) podaci o kalibraciji
- 6) literaturni podaci za slična merila ili metode merenja
- 7) merne nesigurnosti fizičkih konstanti

Raspodela verovatnoće

Matematička forma intervala u kome se nalazi prava vrednost fizičke veličine

- normalna,
- pravougaona (uniformna) i
- trougaona

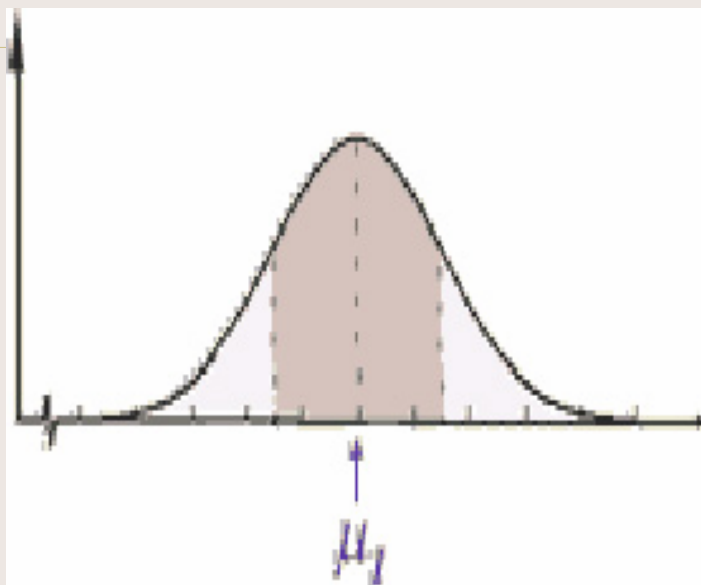
Ulazne veličine:

Donja i gornja granica izmerene vrednosti: a_- i a_+

Najbolje procenjena vrednost: $(a_+ + a_-)/2 = \mu_T$

Polovina širine intervala: $a = (a_+ - a_-)/2$

Normalna raspodela verovatnoće



Za normalnu raspodelu: $\pm u$ pokriva 67 %

verovatnoća od 1σ odgovara verovatnoći od 67 %

verovatnoća od 2σ odgovara verovatnoći od 95 %

verovatnoća od 3σ odgovara verovatnoći od 99,7 %

Normalna raspodela verovatnoće

Ulazne veličine:

Donja i gornja granica izmerene vrednosti: a_- i a_+

Najbolje procenjena vrednost: $(a_+ + a_-)/2$

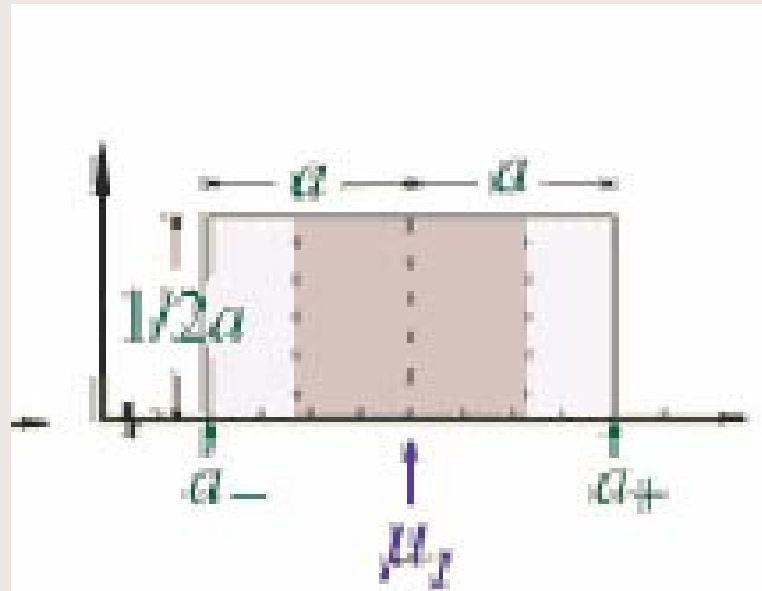
Polovina širine intervala: $a = (a_+ - a_-)/2$ (Cenatar granica)

Model "1 od 2": Postoji 1 šansa od 2 (verovatnoća 50 %) da merena veličina leži između a_- i a_+ , $u_j = 1.48 a$

Model "2 od 3": Postoje 2 šanse od 3 (verovatnoća 67 %) da merena veličina leži između a_- i a_+ , $u_j = a$

Model "99.73 %": $\pm 3\sigma$ oko srednje vrednosti odgovaraju verovatnoći od 99,73 %, $u_j = a/3$

Uniformna (pravougaona) raspodela verovatnoće



Za uniformnu raspodelu $\pm u$ pokriva 58 %
Verovatnoća da izmerena vrednost
leži u intervalu a_- i a_+ ,: 100 %.

Uniformna (pravougaona) raspodela verovatnoće

Ulazne veličine:

Donja i gornja granica izmerene vrednosti: a_- i a_+

Najbolje procenjena vrednost: $(a_+ + a_-)/2$

Polovina širine intervala: $a = (a_+ - a_-)/2$

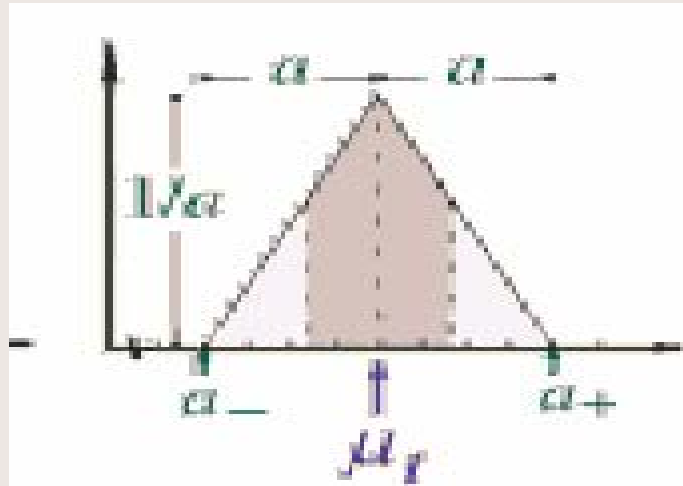
Verovatnoća da izmerena vrednost
leži u intervalu a_- i a_+ ; 100 %.

$$u_j = a$$

Pravougaona raspodela je razumni izbor kada se ne
raspoláže sa puno informacija.

Trougaona raspodela verovatnoće

Model je pogodan ako se ne raspolaže dovoljnim brojem informacija



Za trougaonu raspodelu: $\pm u$ pokriva 65 %

Verovatnoća da izmerena vrednost leži
u intervalu a_- i a_+ : 100 %.

Trougaona raspodela verovatnoće

Ulazne veličine:

Donja i gornja granica izmerene vrednosti: a_- i a_+

Najbolje procenjena vrednost: $(a_+ + a_-)/2$

Polovina širine intervala: $a = (a_+ - a_-)/2$

Verovatnoća da izmerena vrednost leži u intervalu a_- i a_+ ; 100 %.

$$U_j = a$$

Ukoliko se zna da su vrednosti veličine uglavnom raspoređene oko centra granica onda je bolji model normalna ili trougaona raspodela.

Raspodela	Parametar	Nivo pouzdanosti [%]	Divizor
Normalna	1 standardna devijacija	67,7	1
Normalna	2 standardne devijacije	95,5	2
Normalna	3 standardne devijacije	99,7	3
Pravougaona	poluopseg	100	$\sqrt{3}$
Kvadratna	poluopseg	100	$\sqrt{6}$

Kombinovana standardna merna nesigurnost

Kvadratni koren zbira kvadrata svih mernih nesigurnosti

$$u_c = (u_A^2 + u_B^2)^{1/2}$$

Kombinovana standardna merna nesigurnost u_c nije pouzdani pokazatelj

Potrebno je definisati interval u kome se merena veličina Y pouzdano nalazi.

Proširena merna nesigurnost

$$U = k u_c(y)$$

Iskaz: pouzdano se veruje da je izmerena veličina

$$y + U \geq Y \geq y - U \quad \text{tj. } Y = y \pm U$$

Faktor obuhvata, k , bira se na osnovu željenog nivoa pouzdanosti, a izvodi iz efektivnog broja stepena slobode

Normalna raspodela: $U = 2 u_c$ ($k = 2$) definiše interval sa nivoom pouzdanosti od 95 %
 $U = 3 u_c$ ($k = 3$) definiše interval sa nivoom pouzdanosti od 99 %.

Primeri izražavanja merne nesigurnosti

Primer: etalon mase $m_s = 100 \text{ g}$

Primer 1

$m_s = 100.021\,47 \text{ g}$ procenjena kombinovana u

$u_c = 0.35 \text{ mg} = 0,00035 \text{ g}$

PRETP: normalna raspodela

VERUJE SE sa da vrednost etalona leži u intervalu $m_s \pm u_c$ sa nivoom pouzdanosti od približno 68 %.

Primeri izražavanja merne nesigurnosti

$$U = k u_c$$

Primer 2.

$$m_s = (100.021\ 47 \pm 0.000\ 70)\text{ g},$$

Def $U = (u_c = 0.35\ \text{mg}) \times (k = 2)$

Uz normalnu raspodelu:

VERUJE se da nepoznata vrednost etalona leži u intervalu definisanom pomoću U sa nivoom pouzdanosti oko 95 %.

Vrste merne nesigurnosti

Apsolutna merna nesigurnost

Izražava se: mernom jedinicom izmerene veličine

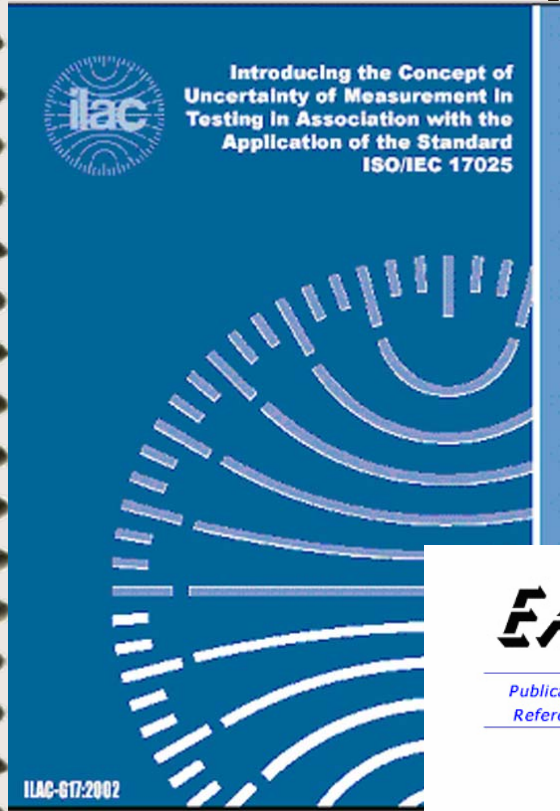
$$m_s = 100.021\ 47\ \text{g}, u_c = 0.35\ \text{mg}, 1\sigma$$

Relativna merna nesigurnost: Izražava se u %

$$u_{c,r}(y) = u_c(y)/|y|, y \text{ nije } 0$$

$$2\ \text{Gy} (u_c = 3,5\ \%), 1\sigma$$

Reference



EA European
co-operation for
Accreditation

Publication
Reference

EA-4/02

Expression of the
Uncertainty of
Measurement in
Calibration

Kako izračunati mernu nesigurnost

- (1) Identifikovati sve izvore merne nesigurnosti u merenju
- (2) Proceniti veličinu svake nesigurnosti
- (3) Kombinovati pojedinačne nesigurnosti



Osam koraka za procenu merne nesigurnosti

- 1. Doneti odluku šta je potrebno otkriti iz merenja i koji su proračuni potrebni da bi se došlo do rezultata
- 2. Izvršiti potrebna merenja
- 3. Proceniti mernu nesigurnost svake ulazne veličine relevantne za rezultat. Sve merne nesigurnosti izraziti na isti način

Osam koraka za procenu merne nesigurnosti

4. Da li i greške kod ulaznih veličina utiču jedna na drugu (odluka)
5. Proračunati rezultat merenja unoseći poznate korekcije kao i koeficijente etaloniranja dobijene iz etaloniranja
6. Naći kombinaciju standardne merne ensigurnosti sa svih pojedinačnih aspekata
7. Izraziti mernu nesigurnost preko faktora obuhvata, zajedno sa veličinom intervala merne ensigurnosti i nivoa pouzdanosti
8. Napisati rezultata merenja i mernu nesigurnost kao i način na koji su obe dobijene

PRIMER: koliko je dugačko parče žice - budžet nesigurnosti

* (\pm) poluširina podeljena sa $\sqrt{3}$

Izvor merne nesigurnosti	Vrednost \pm	Raspodela verovatnoće	Delilac	Standard nesigurnost
Merna nesigurnost etaloniranja	5.0 mm	Normalna	2	2.5 mm
Rezolucija (velicina pod)	0.5 mm*	Pravougaona	$\sqrt{3}$	0.3 mm
Zica ne lezi idealno ravno	10.0 mm*	Pravougaona	$\sqrt{3}$	5.8 mm
Standardna nesigurnost srednje vrednosti 10 pon. merenja	0.7 mm	Normalna	1	0.7 mm
Kombinovana standardna mernanes.		Normalna		6.4 mm
Prosirena mer. nesigurnost		Normalna ($k = 2$)		12.8 mm