

Naloge meritev:

- Razvoj
- Raziskave
- Kontrola kvalitete
- Testiranje
- Izboljšava tehnoloških sistemov in postopkov

Uvod v merjenje

- Z merjenjem:
 - dobimo objektivni in ponovljiv podatek o velikosti, množini ali jakosti fizikalnih veličin kot so dolžina, čas, napetost,...
 - zagotavljamo ustrezno kvaliteto proizvodov in pridobivamo podatke, ki omogočajo nadaljnje odločitve.
- Preden začnemo meriti:
 - ocenimo merilni rezultat,
 - na osnovi razpoložljive opreme, potrebnega časa, pogojev merjenja (T, f, vlažnost,...) in zahtevane točnosti izberemo merilno metodo.
- Največ dela z meritvami je potrebno opraviti še preden se priključi prvi instrument.

Uvod v merjenje

- SIQ-slovenki inštitut za kakovost in meroslovje
- <http://www.siq.si>
- http://www2.arnes.si/~sspsfran/enote/nivo1_Udoma.html

Meroslovje (Metrologija)

Meroslovje določajo zakoni, ki točno določajo kako ravnati z merili in njihovim vzdrževanjem, zato si pogledjmo te zakone.

[Zakonodaja in dokumenti](#)

Znanstveno meroslovje

[Zakon o meroslovju](#) (Ur. list RS, št. 26/05 - uradno prečiščeno besedilo)

[Pravilnik o nacionalnih etalonih](#) (Ur. list RS, št. 69/02)

[Navodilo za zagotavljanje merilne sledljivosti referenčnih etalonov v Republiki Sloveniji na mednarodno raven št. 5360-1/04-1](#)

Zakonsko meroslovje

[Zakon o meroslovju](#) (Ur. list RS, št. 26/05 - uradno prečiščeno besedilo)

[Pravilnik o merilnih instrumentih](#) (Ur. list RS, št. 42/06)

Nova meroslovna direktiva

[slovenska verzija](#)

[angleška verzija](#)

[nemška verzija](#)

[Seznam vseh predpisov](#)

Plemenite kovine

[Zakon o izdelkih iz plemenitih kovin](#) (Ur. list RS, št. 04/06 - uradno prečiščeno besedilo)

[Seznam predpisov s področja plemenitih kovin](#)

PRSPO

[Zakonom o Priznanju RS za poslovno odličnost](#) (Ur. list RS, št. 83/03 - uradno prečiščeno besedilo)

[Pravilniku o delu Odbora za priznanja RS za poslovno odličnost](#) (Ur. list RS, št. 34/04)

[Pravilnik o delu Odbora za priznanje RS za poslovno odličnost](#) (Ur. list RS št. 82/06) - VELJA za PRSPO 2007.

[Predlogi predpisov](#)

[Ostali pomembni dokumenti](#)

Navedeno zakonodajo najdemo na strani:

http://www.mirs.gov.si/si/zakonodaja_in_dokumenti/

Meroslovje (metrologija)

Zakonodajo, ki ureja področje meroslovja, bi lahko razdelili na naslednja področja:

- **Znanstveno meroslovje** (<http://www.mirs.si/index.php?id=2654>)

Znanstveno meroslovje - je na najvišjem strokovnem nivoju, ki se ukvarja z razvojem in vzdrževanjem etalonov ter merilnih postopkov

- **Zakonsko meroslovje** (<http://www.mirs.si/index.php?id=2653>)

Zakonsko meroslovje – je del meroslovja, ki se nanaša na aktivnosti na osnovi zakonskih zahtev in zadeva meritve, merilne enote, merilne instrumente in merilne metode, katere izvajajo pristojni organi.

- **Plemenite kovine –** (<http://www.mirs.si/index.php?id=2660>)

Plemenite kovine – spadajo med načrtovanje in vzpostavljanje nacionalnega sistema za zagotavljanje skladnosti izdelkov iz plemenitih kovin

- **Meroslovni nadzor** (<http://www.mirs.si/index.php?id=2655>)

Meroslovni nadzor – ureja izvajanje nadzora nad merili v uporabi in v prometu ter nadzor nad izdelki iz plemenitih kovin

Osnovni metrološki pojmi

- **Merjenje** je postopek, ker primerjamo neznano vrednost merjene veličine z znano količino iste veličine in na osnovi tega določimo neznano vrednost.
- **Prava vrednost** merjene veličine je le idealen pojem ki ga v splošnem ni mogoče točno poznati saj bi bila za to potrebna meritev brez napake.
- **Izmerjeno vrednost** dobimo z merjenjem določene veličine.
- **Merilna točnost** je sposobnost merila, da je izmerjena vrednost blizu prave vrednosti merjene veličine
- **Merilna negotovost** je ocena, s katero se označuje območje vrednosti, v katerem leži prava vrednost merjene veličine (interval).
- **Merilna sledljivost** omogoča navezavo merila na pripadajoče etalone skozi neprekinjeno verigo metroloških primerjav.
- **Etaloni** realizirajo in hranijo enote fizikalnih veličin.
(Slovenski inštitut za kakovost in meroslovje <http://www.siq.si>)

Osnovne enote SI

osnovna fizikalna kolicina	osnovna merska enota	oznaka
dolzina	meter	m
cas	sekunda	s
masa	kilogram	kg
elektricni tok	amper	A
temperatura	kelvin	K
svetilnost	candela	cd
kolicina snovi	mol	mol

Mednarodni sistem enot SI

SEKUNDA (definicija iz leta 1967) je trajanje 9 192 631 770 period sevanja, ki ustreza prehodu med dvema hiperfinima nivojema osnovnega stanja atoma cezija 133.

Najprej so jo definirali kot 1/86400 - ti del povprečnega sončnega dne.

KILOGRAM (definicija iz leta 1889) je masa mednarodnega etalona kilograma. **PRAKILOGRAM** je utež narejena iz posebno obstojne zlitine platine in iridija.

AMPER (definicija iz leta 1948) je jakost stalnega električnega toka, ki med dvema ravnima vzporednima vodnikoma neomejene dolžine in zanemarljivega kroznega prereza, postavljenima v vakumu v medsebojni razdalji 1 metra, povzroca silo, enako $2 \cdot 10^{-7}$ N/m.

KELVIN (definicija iz leta 1967) je termodinamična temperatura, ki je enaka 273,16 delu termodinamične temperature trojne točke vode.

CANDELA (definicija iz leta 1967) je svetilnost, ki jo v pravokotni smeri seva crno telo s površino 1/600 000 kvadratnega metra pri temperaturi strjevanja platine in pri tlaku 101 325 Pa.

MOL (definicija iz leta 1971) je kolicina snovi sistema, ki vsebuje toliko elementarnih delcev, kolikor je atomov v 0,012 kg ogljika 12.

Izpeljane enote SI

Izpeljana veličina	Izpeljana enota			
	Posebno ime	Simbol	Izražena z drugimi	Izražena z osnovnimi enotami SI
ravninski kot	radian	rad		m/m
prostorski kot	steradian	sr		m ² /m ²
frekvenca	Hertz	Hz		1/s
sila	Newton	N		kg · m/s ²
tlak, napetost	Pascal	Pa	N/m ²	kg/(m·s ²)
energija, delo, toplota	Joule	J	N · m	kg · m ² /s ²
moč (1 posebni imeni za enoto moči: (simbol: V·A), kadar se uporablja za izražanje navidezne moči izmeničnega električnega toka, in var (simbol: var), kadar se uporablja za izražanje jalove električne moči.), moč sevanja	Watt	W	J/s	kg·m ² /s ²

električni naboj, količina elektrine	Coulomb	C		A·s
električni potencial, razlika potencialov, napetost, lastne napetost	Volt	V	W/A	kg · m ² /(s ³ ·A)
kapacitivnost	Farad	F	C/V	A ² ·s ⁴ /(kg·m ²)
električna upornost	Ohm	Ω (omega)	V/A	kg·m ² /(s ³ ·A ²)
električna prevodnost	Siemens	S	1/Ω	s ³ ·A ² /(kg·m ²)
magnetni pretok	Weber	Wb	V·s	kg·m ² /(s ² ·A)
gostota magnetnega pretoka	Tesla	T	Wb/m ²	kg/(s ² ·A)
induktivnost	Henry	H	Wb/A	kg·m ² /(s ² ·A ²)
svetlobni tok	lumen	lm		cd·sr
osvetljenost	luks, lux	lx	lm/m ²	cd·sr/m ²
aktivnost (radionuklida)	Becquerel	Bq		1/s
absorbirana doza, prejeta specifična energija, kerma, indeks absorbirane doze	Gray	Gy	J/kg	m ² /s ²
dozni ekvivalent, indeks doznega ekvivalenta	Sievert	Sv	J/kg	m ² /s ²

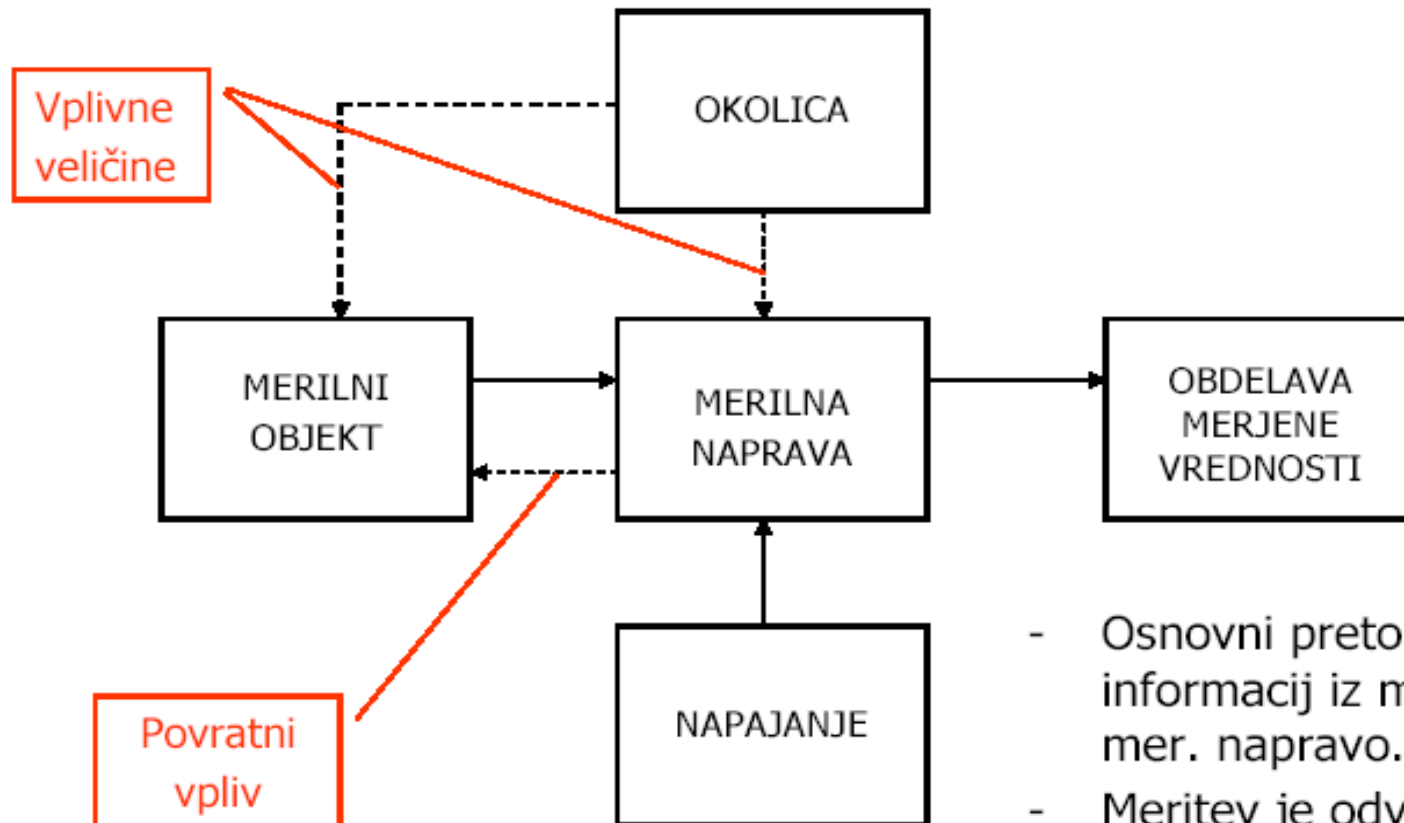
Decimalne enote, predpone

ime predpone	znak predpone	vrednost predpone
eksa*	E	$10^{18} = 1 \cdot 1e18$
peta*	P	$10^{15} = 1 \cdot 1e15$
tera	T	$10^{12} = 1 \cdot 1e12$
giga	G	$10^9 = 1 \cdot 1e9$
mega	M	$10^6 = 1 \cdot 1e6$
kilo	k	$10^3 = 1 \cdot 1e3$
hekto	h	$10^2 = 1 \cdot 1e2$
deka	da	$10^1 = 1 \cdot 1e1$
deci	d	$10^{-1} = 1 \cdot 1e-1$
centi	c	$10^{-2} = 1 \cdot 1e-2$
mili	m	$10^{-3} = 1 \cdot 1e-3$
mikro	u	$10^{-6} = 1 \cdot 1e-6$
nano	n	$10^{-9} = 1 \cdot 1e-9$
piko	p	$10^{-12} = 1 \cdot 1e-12$
femto	f	$10^{-15} = 1 \cdot 1e-15$
ato	a	$10^{-18} = 1 \cdot 1e-18$

Temeljni pojmi merilne tehnike

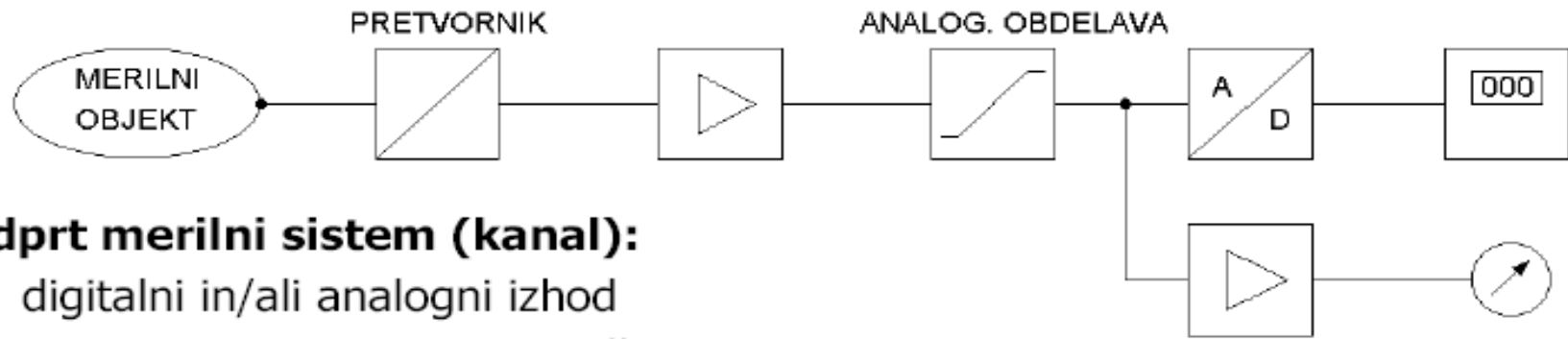
- **RMS value**
- **Average value**
- **Crest factor**
- **Duty Cycle**
- **Vhodna impedanca**
- **Pasovna širina**
- **Rise time**
- **Attenuators**
- **Power splitters**

Merilni sistem



- Osnovni pretok energ. in informacij iz mer. obj. v mer. napravo.
- Meritev je odvisna tudi od vplivov iz okolice

Odprt in zaprt merilni sistem



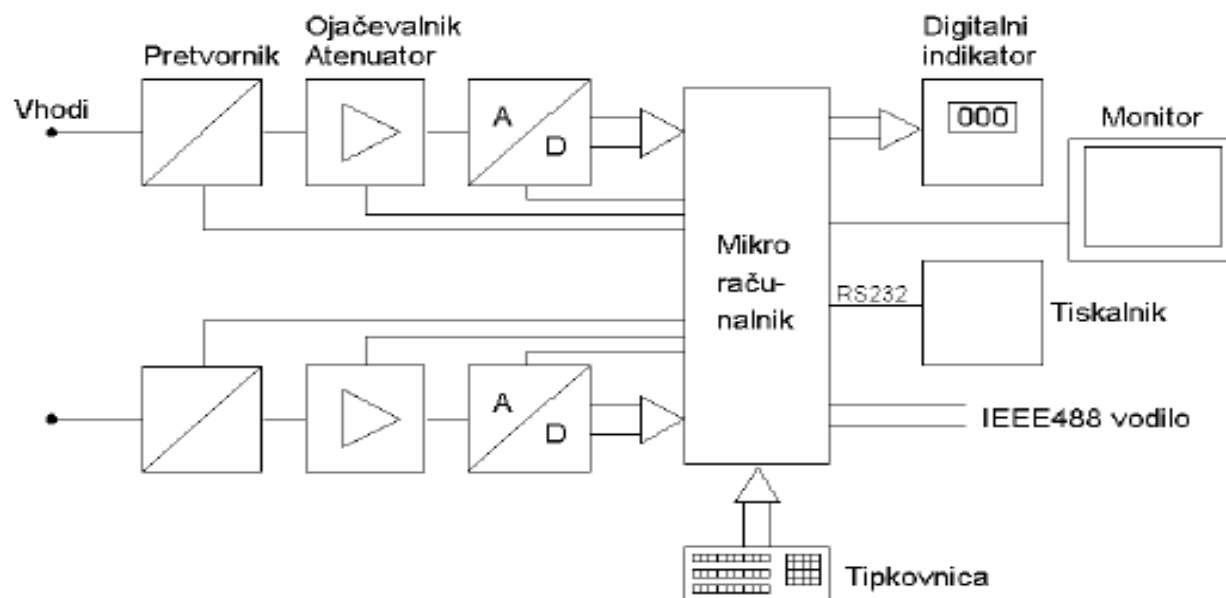
Odprt merilni sistem (kanal):

- digitalni in/ali analogni izhod
- analogna obdelava vsebuje člene za linearizacijo, logaritmiranje, filtre,...

Zaprt merilni sistem:

- primerja znano in referenčno veličino
- osnovni element takih merilnih sistemov je merilni mostiček z ročnim ali avtomatskim uravnovešanjem.

Avtomatiziran merilni sistem



- zgrajen je iz enega ali več merilnih kanalov, mikroračunalnika in enega ali več prikazovalnikov.
- vlogo mikroračunalnika prevzemajo osebni računalniki in delovne postaje saj so na voljo različni programski paketi za obdelavo merjenih signalov in izmenljivosti podatkov preko računalniških mrež - SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Merilne metode

- **Odklonske** kjer je za določitev merjene veličine osnova odklon instrumenta.
- **Ničelne** kjer se na podlagi ravnovesnih pogojev določi vrednost merjene veličine (instrument nima odklona).

Obe merilni metodi lahko nato še razdelimo na:

- posredne
- neposredne
- primerjalne
- zamenjalne
- diferenčne

Bistvene lastnosti merilnih naprav

- Da se pri izbiri opreme lahko pravilno odločimo moramo poznati pogloblitve tehnične podatke:
 - **obratovalne lastnosti glede na merjeno veličino**
(merilno območje, kazalno območje, območje trajne preobremenitve, območje kratkotrajne preobremenitve, območje uničenja)
 - **obratovalne lastnosti glede na vplivne veličine**
(referenčno območje, nazivno območje uporabe,...)
 - **statične merilne lastnosti** ko se vh. in izh. veličina ne spreminjata s časom (statična karakteristika \Leftrightarrow občutljivost)
 - **dinamične merilne lastnosti**, ko se vh. in izh. veličina spreminjata s časom (odziv na stopnico, amplitudna in fazna frekvenčna karakteristika)

Zakaj pride do pogreškov in negotovosti

Vplivnih veličin, ki vplivajo na meritev, je veliko. Njihov vpliv na izmerjeni rezultat je lahko velik ali pa ne. V praksi meritve niso izvedene v idealnih pogojih, zato nastopijo pogreški in negotovosti. Najobičajnejši viri pogreškov so:

merilni inštrument

Inštrumenti so podvrženi pogreškom zaradi staranja, obrabe, različnih lezenj, problematičnega odčitavanja, šuma, padcev po tleh in drugih problemov.

merjenec

Objekt, ki ga merimo, je lahko nestabilen. Merjenje velikosti ledene kocke v vroči sobi zna biti precej nestabilno (in negotovo).

proces merjenja

Sam proces merjenja je včasih zelo težaven. Ugotavljanje mase živahnih malih živali zna biti precej zabavno.

znane negotovosti

Negotovosti kalibriranih inštrumentov, ki jih uporabljamo v meritvi, se prištevajo k negotovosti naše meritve. Z netočnimi inštrumenti ne bomo naredili točne meritve.

usposobljenost izvajalca meritev

Nekatere meritve so odvisne od subjektivnih odločitev izvajalca meritev. Take so odčitavanje analogne skale, reakcijski čas pri merjenju časa s štoparico in podobno.

Merilni pogoški



Pogreške izrazimo kot:

- **Absolutni pogrešek** je definiran z razliko izmerjene in resnične vrednosti.

$$E = x_i - x$$

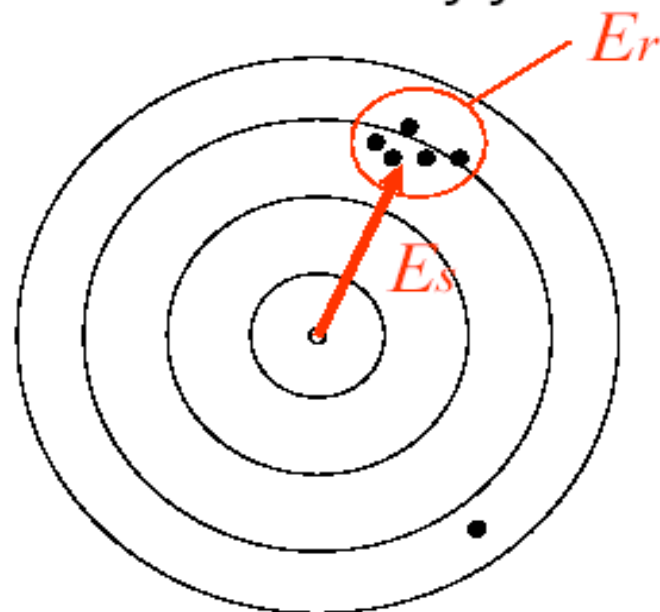
- **Relativni pogrešek** je definiran kot razmerje med absolutnim pogreškom in resnično vrednostjo. Zelo pogosto se ga podaja v procentih, promilih ali ppm, zato ga imenujemo tudi **procentualni** pogrešek.

$$e = \frac{E}{x} = \frac{x_i - x}{x} (\cdot 100\%)$$

- **Točnost** je tem večja čim bliže sta si izmerjena in resnična vrednost veličine.
- **Preciznost** se kaže v ponovljivosti izmerjenih vrednosti pri konstantni vhodni veličini.

Sistematski in naključni pogrešek

- povzročata, da se ob ponavljanju iste meritve izmerjene vrednosti razlikujejo.



$$x_{ij} = x + E_s + E_{rj}$$

- Sistematski pogrešek povzroča odmik od središča, naključni pa razpršenost.
- Če tvorimo **aritmetično sredino** izmerjenih vrednosti, se ob velikem št. meritev vpliv naključnega pogreška manjša proti nič.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} = x + E_s + \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N E_{rj} \Rightarrow \bar{x} = x + E_s$$

gre proti nič, ko $N \rightarrow \infty$

Merilna negotovost, meja pogreška

- Če merilno napravo uporabljamo v mejah merilnega območja in pod referenčnimi pogoji, temeljni pogrešek ne sme preseči določene vrednosti, ki ji pravimo **meja pogreška**.

$$M_x = \pm \frac{r}{100} x_r \qquad m_x = \frac{M_x}{x_i}$$

r - razred točnosti

x_r - referenčna vrednost merjene veličine

m_x - relativna meja pogreška

1 | **1** | **1** **1**
doseg razpon izm. vred. dolž. skale

- Za **digitalne instrumente** se običajno podaja:

$$M_x = \pm(a\%x_i + b\%x_D) \text{ ali } M_x = \pm(a\%x_i + b\textit{digit})$$

x_D - merilni doseg

digit - zadnje decimalno mesto

Kako zmanjšati merilno negotovost

- ❑ uporabljajte kalibrirane inštrumente (ti imajo podano merilno negotovost in vrednost korekcije)
- ❑ izvajajte popravke, ki lahko kompenzirajo vse znane pogreške
- ❑ naredite svoje meritve sledljive na nacionalne etalone (uporabljajte kalibrirane inštrumente iz akreditiranih laboratorijev, saj je stopnja zaupanja v take meritve veliko večja kot pri neakreditiranih laboratorijih)
- ❑ uporabljajte bolj točne merilne inštrumente, oziroma opravljajte meritve v bolj stabilnih pogojih okolice in pri pogojih, ki jih zahtevajo specifikacije merilnega inštrumenta
- ❑ preverjajte meritve s ponavljanjem ali občasno prosite neko drugo osebo, naj jih ponovi namesto vas, rezultate je pametno preverjati tudi z drugo merilno metodo
- ❑ preverite matematične izračune, preverite tudi, če ste prav prepisali vmesne rezultate
- ❑ s pomočjo tabele prispevkov negotovosti poiščite največji prispevek merilni negotovosti in ga poskušajte zmanjšati
- ❑ pazite, da vrednost negotovosti v verigi kalibracij vedno raste (točnost merilnega rezultata mora biti vedno slabša od točnosti posameznih uporabljenih merilnih inštrumentov)
- ❑ validirajte programsko opremo, če jo uporabljate v meritvah

Izločanje pogreškov

- Sistematski pogrešek izločimo z analizo merilnega modela
- Naključni pogrešek izločimo s ponavljanjem meritve pod enakimi pogoji
- Meritve statistično obdelamo, da
 - dobimo čim boljšo oceno dejanske vrednosti
 - ocenimo merilno negotovost

Statistična obdelava izmerjenih merilnih vrednosti

Statistično obdelamo merilne vrednosti z:

- **Z aritmetično sredino in standardno deviacijo**
- **Z grupiranjem, urejevanjem in prikazovanjem rezultatov**
- **Z Gaussovo in Studentovo porazdelitvijo**

Aritmetično sredino izračunamo po enačbi:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{n-1} X_i$$

μ - populacija

Standardno deviacijo (merilo za razpršenost) - odklon izračunamo po naslednji enačbi:

$$\mathcal{G} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{n-1} (X_i - \mu)^2}$$

\mathcal{G} - populacija

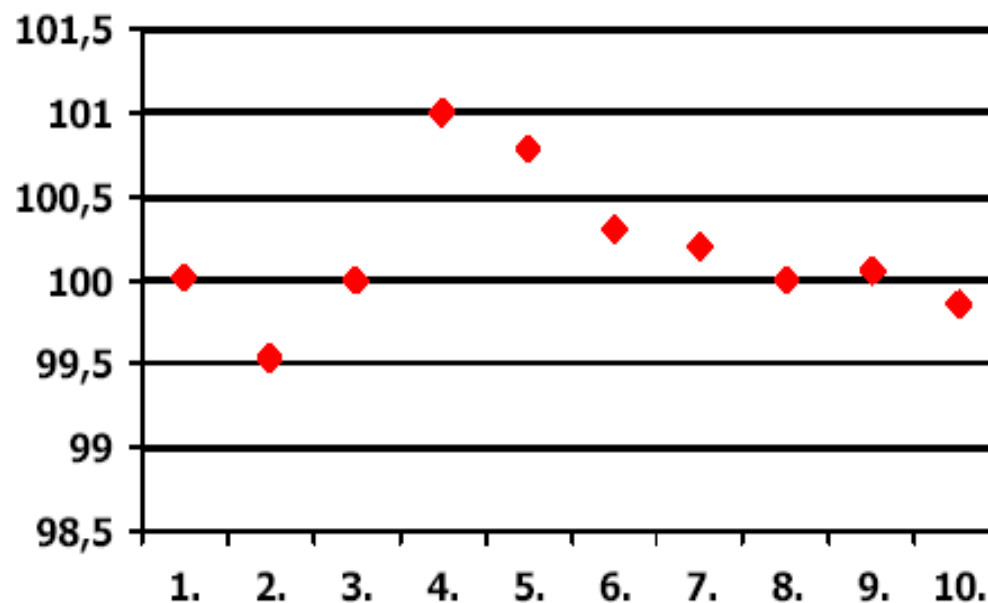
Varianco ali standardni odmik izračunamo:

$$\mathcal{G}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{n-1} (X_i - \mu)^2$$

Grupiranje in urejanje podatkov

- Pri večkratnem ponavljanju enakih meritev dobimo množico vrednosti, ki jih razvrstimo v tabele in diagrame.

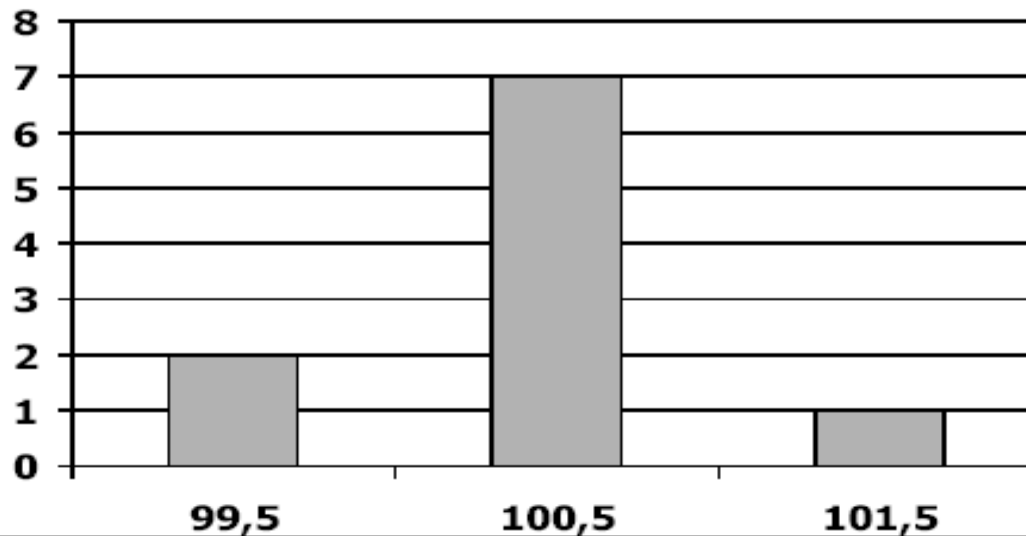
j	R_i/Ω
1.	100,01
2.	99,53
3.	100,00
4.	101,00
5.	100,78
6.	100,30
7.	100,20
8.	100,00
9.	100,06
10.	99,85



Podatke običajno razvrstimo v manjše št. razredov in jih ponazorimo v frekvenčni tabeli ter histogramu

- Podatke običajno razvrstimo v manjše št. razredov in jih ponazorimo v frekvenčni tabeli ter histogramu.

razred	sredina razreda	sp. meja	zg. meja	frekvenca
1.	99,50	99,00	99,99	2
2.	100,50	100,00	100,99	7
3.	101,50	101,00	101,99	1



Podajanje merilnih rezultatov

- Rezultat merjena je območje vrednosti (interval), ki ga podamo z izmerjeno vrednostjo in negotovostjo:

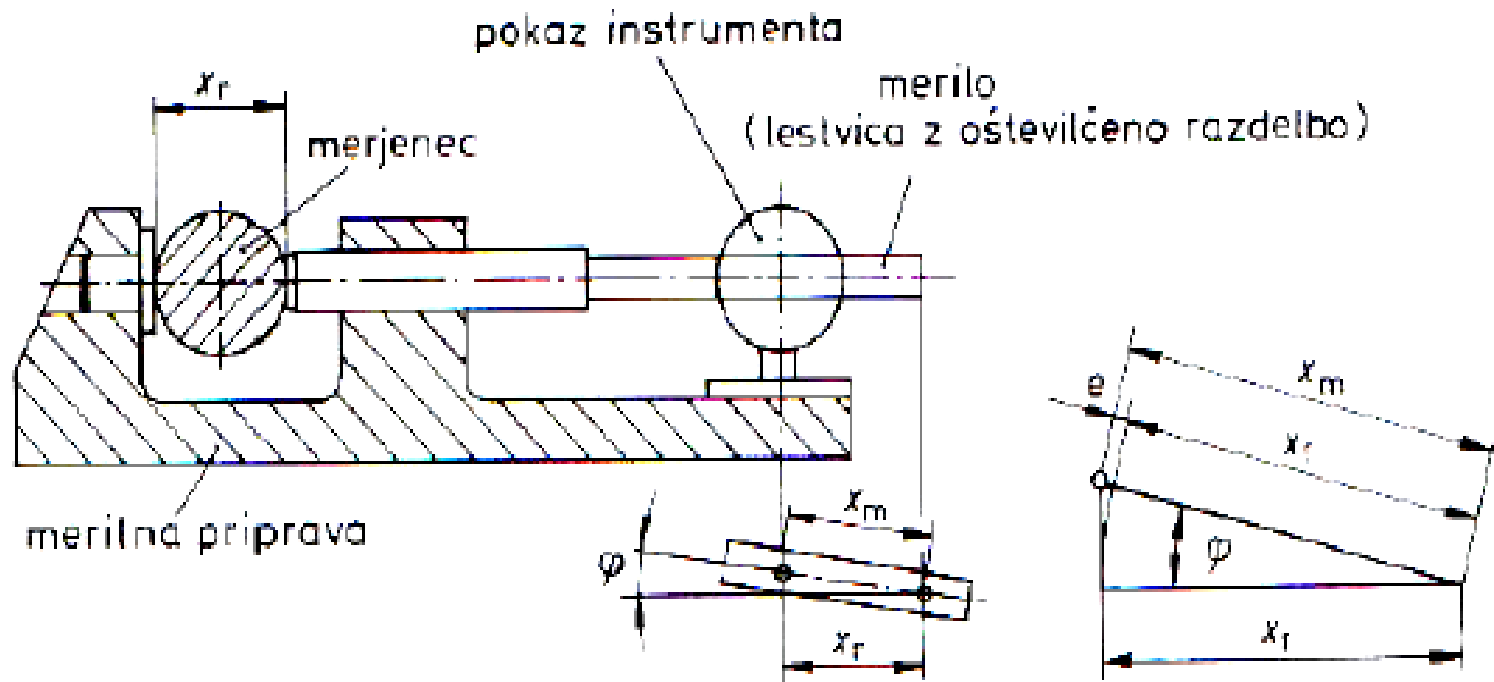
$$x = x_i \pm U$$

- Negotovost zaokrožimo vedno navzgor, če je prva cifra (ničle ne štejemo) 3 do 9 zaokrožimo na tem mestu, če je 1 ali 2 pa na naslednjem.
- Izmerjeno vrednost zaokrožimo na decimalnem mestu, ki ga določa negotovost, če je desno od mesta zaokroženja cifra:
 - 0 do 4 navzdol,
 - 5 do 9 navzgor.
- Primer: $U=12,345\text{V}$, $M_U=\pm 0,123\text{V}$
najprej zaokrožimo merilno negotovost: $M_U=\pm 0,13\text{V}$
merilni rezultat: $U=12,35\text{V} \pm 0,13\text{V}$

Primeri:

- Abbe-jevo pravilo:
- Merilna naprava morata biti postavljena drug za drugim na isti osi in ne drug poleg drugega

Shematični prikaz Abbejevega pravila:



Primer:

- Merilni podrešek prvega reda zaradi zvrnitve drsnega kluna

