

# 9. Elementi mjernih sustava

9.	Elementi mjernih sustava.....	
<b>9.1</b>	<b>Osnove mjernih sustava .....</b>	<b>2</b>
9.1.1	Vrijednosti veličina i mjerenja.....	2
9.1.2	Provedba mjerenja .....	4
9.1.3	Obrada i prikaz rezultata mjerenja .....	7
9.1.4	Mjerni sustavi .....	10
<b>9.2</b>	<b>Mjerni instrumenti .....</b>	<b>15</b>
9.2.1	Osnove mjernih instrumenata .....	15
9.2.2	Geometrijska mjerenja .....	15
9.2.3	Mehanička mjerenja.....	24
9.2.4	Toplinska mjerenja .....	26
9.2.5	Kemijska mjerenja .....	26
9.2.6	Elektrotehnička mjerenja .....	27
<b>9.3</b>	<b>Senzori .....</b>	<b>28</b>
9.3.1	Osnove senzora .....	28
9.3.2	Geometrijski senzori .....	28
9.3.3	Mehanički senzori .....	28
9.3.4	Toplinski senzori.....	29
9.3.5	Kemijski senzori .....	30
9.3.6	Električni senzori .....	30
<b>9.4</b>	<b>Primjena mjernih sustava.....</b>	<b>30</b>
9.4.1	Oblikovanje.....	30
9.4.2	Izbor komponenti mjernih sustava .....	30
9.4.3	Montaža mjernih sustava .....	30
9.4.4	Održavanje mjernih sustava .....	30
	<b>Dodatak.....</b>	<b>31</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>38</b>

## Ishodi učenja:

- (a) **Razumijevanje osnova mjernih sustava** (*vrijednosti veličina i mjerenja, definicija, vrste i strukture mjernih sustava*).
- (b) **Usvojena znanja iz senzora** (*vrste/svojstva, proračun zupčanog para čelnika*).
- (c) **Umjeti oblikovati mjerni sustav** (*cilj i zadaci, određivanje strukture*).
- (d) **Usvojena znanja iz primjene mjernih sustava** (*montaža/demontaža, pogon/održavanje*).

## 9.1 Osnove mjernih sustava

[Grote (2007), s. 1631], [Grote (2009), s. 808÷814], [Hering (2004), s. 154÷156], [Kutz 3 (2005), s. 126÷140],

Mjerenje i regulacija su mozak i nervni sustav suvremenih postrojenja. Mjerni i regulacijski sustavi prate i vode procese koji bi se inače teško mogli efektivno i sigurno odvijati uz ispunjavanje uvjeta visoke kvalitete i niskih troškova. [Batikha (2007), s. 1]

Danas je za pojavu proizvoda na tržištu potrebno dokazati kvalitet proizvoda i njegovu usklađenost s propisima. Osnove mjeriteljstva i potvrđivanja mjeritelja obradio je Alfirević [(1996), s. 483]

**Mjerenje** – neposredno/posredno određivanje broječnih iznosa koji pokazuju koliko puta mjerena veličina sadrži u sebi istovrsnu veličinu dogovorom utvrđenu kao mjernu jedinicu.

Potrebne vrijednosti veličina, koje se ne mogu pronaći u literaturi, niti izračunati, moraju se odrediti mjerenjima. Rezultat mjerenja obuhvaća:

<b>REZULTAT MJERENJA</b>			
vrijednost veličine	=	broječni iznos	(± mjerna pogreška) • jedinica

U izrazima vrijednosti veličina se znak množenja između broječanog iznosa i jedinice u pravilu ne piše i podrazumijeva se (*imati na umu pri proračunima*).

Osnove mjerenja su obrađene u Czichos-u [(2008), s. H1÷H15].

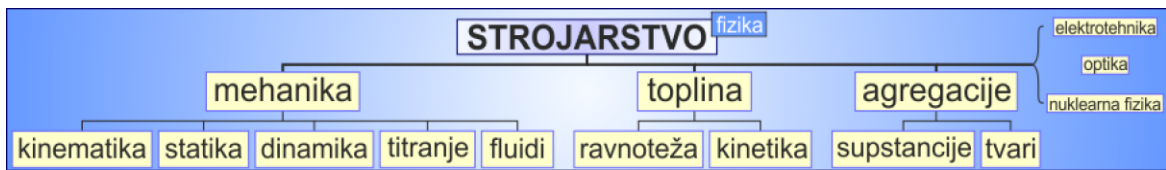
Mjerenja u održavanju i otklanjanju kvarova vozila su obrađena u Bonnick-u [(2011), s. 441÷456].

### 9.1.1 Vrijednosti veličina i mjerenja

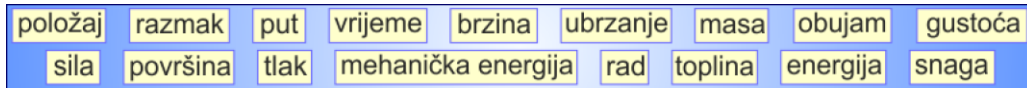
**Sustav** – skup jedinki koje ispoljavaju manje ili više složena i dinamična uzajamna djelovanja, a od okoline (*drugog sustava*) je odvojen određenim granicama.

**Stanje sustava** se opisuje vrijednostima **veličina stanja** (*skraćeno – veličine*) po kojima se sustav razlikuje od drugih stanja sustava.

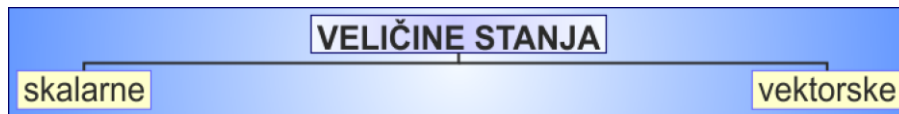
U strojarskom inženjerstvu sreće se s različitim sustavima (*u pravilu, fizičkim*):



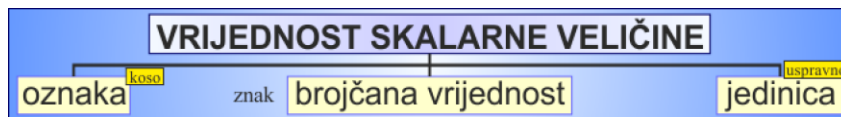
u čijem se opisivanju koriste različite veličine:



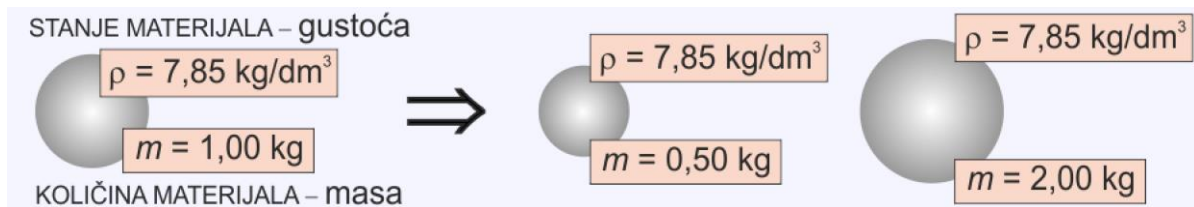
Prema prirodi i broju informacija potrebnih za određivanje veličine stanja razlikuju se:



**Skalarne veličine** (*dimenzije, obujam, gustoća, masa, rad, energija, snaga*) – vrijednosti skalarnih veličina se opisuju (*zapisuju*): oznacom skalarne veličine ( $a \times b \times h$ ,  $V$ ,  $\rho$ ,  $m$ ,  $W$ ,  $E$ ,  $P$  – *kosa slova*), brojčanim iznosom (*uključujući predznak, npr. - 0,54 – uspravno; + se ne navodi i podrazumijeva se*) i jedinicom ( $m$ ,  $s$ ,  $kg$ ,  $J$ ,  $W$  – *uspravna slova*).



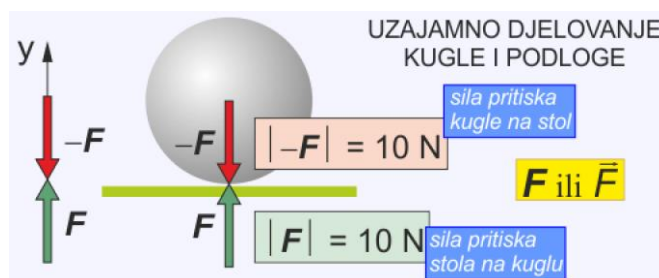
Primjeri su skalarnih veličina gustoća i masa:



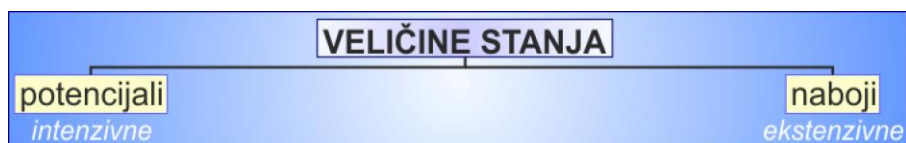
**Vektorske veličine** (*položaj, brzina, ubrzanje, sila*) – nisu dovoljne (*kao kod skalarnih*): oznaka ( $v$ ,  $a$ ,  $F$  – *debeli kosi slova, ili strijelice iznad kosih slova,  $\vec{v}$ ,  $\vec{a}$ ,  $\vec{F}$  što je pogodnije kod rukopisa*), brojčani iznos (*s predznakom*) i jedinica ( $m$ ,  $m \cdot s^{-2}$ ,  $N$ ). Potrebna je i informacija o pravcu djelovanja.



Na primjer, vektorska je veličina sila kojom se opisuje uzajamno djelovanje kugle i stola:



Prema prirodi mogu se razlikovati (*Veinik*) i dvije vrste generaliziranih veličina stanja:



**Potencijali** (*generalizirani*) opisuju sposobnosti sustava za razmjenu energija i tvari s okolinom. Intenzivne su veličine stanja – jednakih vrijednosti u svim dijelovima sustava kod statičkih i stacionarnih stanja (*različitih u različitim točkama sustava kod statičkih i nestacionarnih stanja*).

**Naboji** (*generalizirani*) druga su vrsta veličina stanja kojima se zajedno s potencijalima opisuju količine energija (*i/ili tvari*) koje može sustav razmijeniti s okolinom. Ekstenzivne su veličine stanja – vrijednosti za sustav se dobijaju zbrajanjem vrijednosti za dijelove sustava.

Na primjer, **količina** je potencijalne energije koje tijelo može razmijeniti s okolinom:

$$E_p = m \cdot g \cdot \Delta Z \quad \text{J}$$

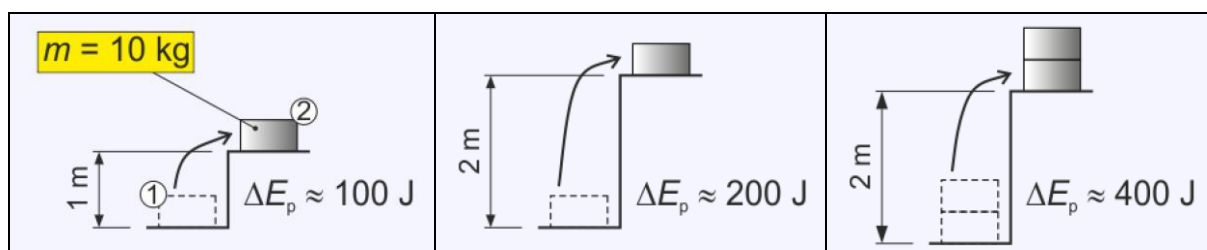
gdje je:  $m$  – masa tijela, kg,

$g \approx 9,8$  – ubrzanje zemljine teže,  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ,

$\Delta Z$  – visina tijela u odnosu na tlo, m.

Potencijal je  $\Delta Z$  – ako je tijelo na tlu ( $\Delta Z = 0,000 \text{ m}$ ) ne može doći do razmjene potencijalne energije ( $E_p$ ) tijela s okolinom. Naboj je težina tijela  $m \cdot g$  – što je veća težina tijela to će biti veća količina energije koju tijelo može razmijeniti s okolinom.

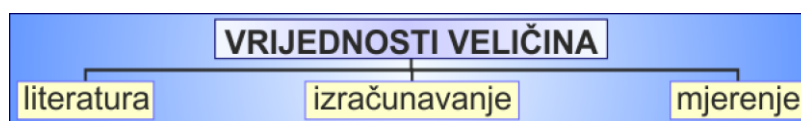
**Promjena** – razlika stanja prije početka i nakon kraja procesa koji je izazvao promjenu. Neovisna je o procesu, na primjer:



Pri promjeni stanja  $1 \Rightarrow 2$  je povećana potencijalna energija za 100, 200, odnosno 400 J. Neovisno kako je tekao proces dizanja tereta – brzi ili sporo, do veće visine pa potom spušten.

### 9.1.2 Provedba mjerenja

Izvori su potrebnih vrijednosti veličina:



Potrebne vrijednosti veličina, koje se ne mogu pronaći u literaturi, niti izračunati, moraju se odrediti mjerenjima.

**Mjerenje** – neposredno/posredno određivanje brojčanih iznosa koji pokazuju koliko puta mjerena veličina sadrži u sebi istovrsnu veličinu dogovorom utvrđenu kao mjernu jedinicu.

vrijednost skalarne veličine	=	brojčani iznos	·	jedinica	$m =$	2,00	kg
$X$	=	{ $X$ }	·	[ $X$ ]	$\Rightarrow m =$	2,00	k·g
$m$	=	{ $m$ }	·	[ $m$ ]		{ $m$ } = 2,00	[ $m$ ] = k·g

Treba napomenuti:

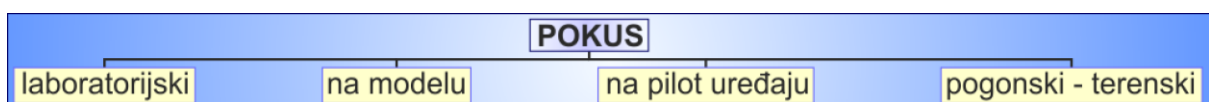
- broj značajnih znamenki brojčanog iznosa mora biti u skladu s očitanjem mjernog instrumenta (*rezultati preračunavanja moraju se zaokružiti*);
- mjerna pogreška mora biti određena, a moguće ju je odrediti na više različitih načina (*na primjer – podrazumijeva se*);
- u izrazima vrijednosti veličina znak se množenja između brojčanog iznosa i jedinice u pravilu ne piše i podrazumijeva se (*imati na umu pri proračunima*);
- bira se jedinica koju prati prikladan brojčani iznos (*niti premali, niti prevelik*);
- ako se mjeri vektorska veličina moraju se navesti i podaci o pravcu djelovanja, uključivo informaciju o pozitivnom smjeru pravca.

Prema prirodi mjerene veličine razlikuju se:



Ova podjela nije sveobuhvatna ali obuhvaća najznačajnije grupe mjerenih veličina s kojima se sreće u strojarstvu.

**Pokus** (*eksperiment*) – izazivanje pojave/procesa radi proučavanja (*uz teorijsku analizu*) detalja ili pojave/procesa kao cjeline.



U normama (*HRN, EN*) propisan je niz jednoznačno i jasno definiranih laboratorijskih pokusa na temelju čijih se rezultata najčešće uspoređuju karakteristike materijala (*za razliku od karakteristika svojstva materijala nisu jasno određena*).

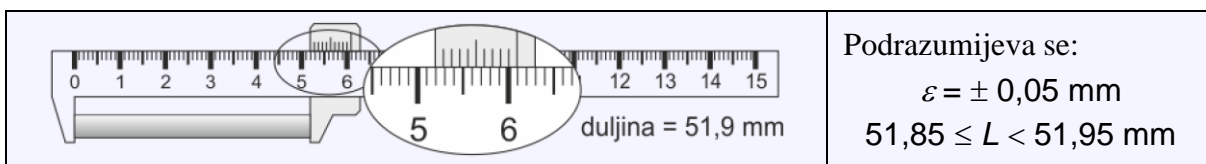
**Pokus** (*eksperiment*) – izazivanje pojave/procesa radi proučavanja (*uz teorijsku analizu*) detalja ili pojave/procesa kao cjeline.

U normama (*HRN, EN*) propisan je niz jednoznačno i jasno definiranih laboratorijskih pokusa na temelju čijih se rezultata uspoređuju svojstva materijala.

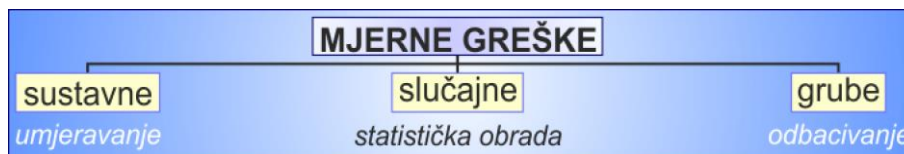
[Grote (2007), s. 1634]

## Pogreške

**Pogreška** ( $\pm \varepsilon$ ) – odstupanje rezultata mjerenja od istinite vrijednosti veličine. Ovisi o korištenom mjernom instrumentu i postupku mjerenja. Bez opaske podrazumijeva se odstupanje posljednje znamenke aktualnoga brojčanog iznosa (*očitanog s instrumenta*) za  $\pm 0,5$ .



Pojava pogrešaka pri mjerenjima je neizbježna, a treba razlikovati:



**Umjeravanje opreme** s kojom se provodi mjerenje obavljaju ovlaštene laboratoriji.

**Mjerna pogreška** ( $\pm \varepsilon$ ) – odstupanje rezultata mjerenja od istinite vrijednosti veličine.

Bez napomene, podrazumijeva se odstupanje posljednje znamenke aktualnoga brojčanog iznosa (*očitanog s instrumenta*) za  $\pm 0,5$ .

Veličina mjernih pogrešaka ovisi o:

- uvjetima mjerenja (*npr. čistoća, temperatura, vlažnost, osvjetljenje*)
- postupku mjerenja – dosljedno prema opisu iz norme ili literature,
- mjernom instrumentu – mora biti kvalitetan, umjeren i ispravan,
- obučenosti, pedantnosti i savjesnosti izvođača.

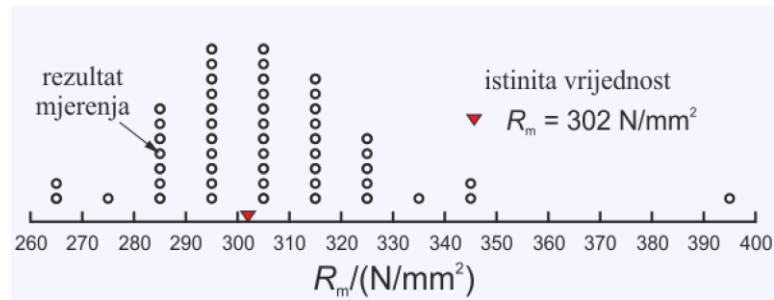
Rezultati mjerenja s prihvatljivim veličinama mjernih pogrešaka se ne mogu dobiti ako je izvođač neobučen, ili, tu i tamo omaškom zabilježi pogrešnu brojčanu vrijednost, ili, tu i tamo izmisli par brojčanih vrijednosti.

Za dobivanje što je moguće točnijeg rezultata (*što bližeg istinitoj vrijednosti veličine*) mjerenja se ponavljaju i pri tome dobivaju manje ili više različiti rezultati.

Na primjer, kako bi se provjerila kvaliteta mjerenja u jednom laboratoriju, pripravljeno je 50 epruveta čelika vlačne čvrstoće  $R_m = 308 \text{ N/mm}^2$ . Dobiveni su rezultati mjerenja:

$R_m$ N/mm <sup>2</sup>	285	341	323	300	313	294	305	317	286	312	267	316	300	298	312	319	296
	284	293	298	322	292	267	305	299	275	318	304	298	301	282	309	297	313
	296	323	305	307	289	307	396	342	310	336	286	320	290	323	288	306	

Rezultati se mogu pregledno prikazati na točkastom dijagramu:

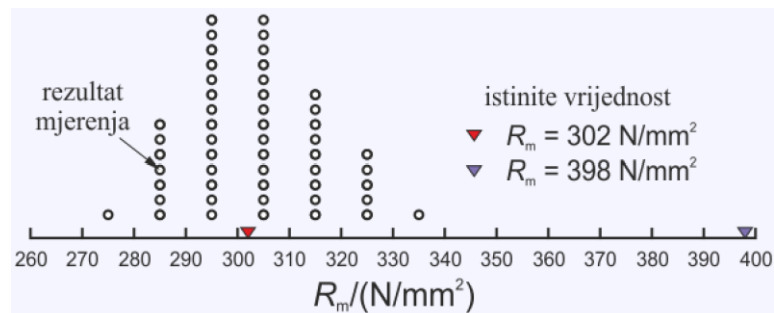


Na temelju ovog točkastog dijagrama može se kvalitativno zaključiti:

- sustavne su greške beznačajne,
- slučajne su greške relativno velike,
- uočljiva je samo jedna gruba greška – ovaj se rezultat odbacuje i u zapisnik to unosi.

Kvantitativni se zaključci izvode na temelju rezultata statističke obrade.

Problem mjernih pogrešaka postaje zabrinjavajući ako je među uzorke „slučajno“ dospjelo pet uzoraka s čvrstoće  $R_m = 398 \text{ N/mm}^2$  (o čemu izvođač mjerenja nije informiran), a dobiveni rezultati prikazani u točkastom dijagramu, bez ikakve propratne napomene u zapisniku o pet odbačenih rezultata mjerenja:



### 9.1.3 Obrada i prikaz rezultata mjerenja

[Grote (2007), s. 1634÷1635], [Hering (2004), s. 163÷168], [Kutz 3 (2005), s. 19÷41],

Prikaz rezultata mjerenja obradio je Alfirević [(1996), s. 489÷496].

**Statistika** je grana primijenjene matematike koja proučava prije svega masovne pojave/procese. Ona utvrđuje postupke prikupljanja, sistematizacije, obrade i prikazivanja veličina koje opisuju proučavanu pojavu/proces.

Pouzdanе vrijednosti veličina dobivaju se ponavljanjem mjerenja/pokusa  $n$  puta, te pogodnim postupkom statističke obrade rezultata mjerenja.

Rezultat statističke obrade obavezno obuhvaća dva podatka:



1. podatak o istinitoj vrijednosti i



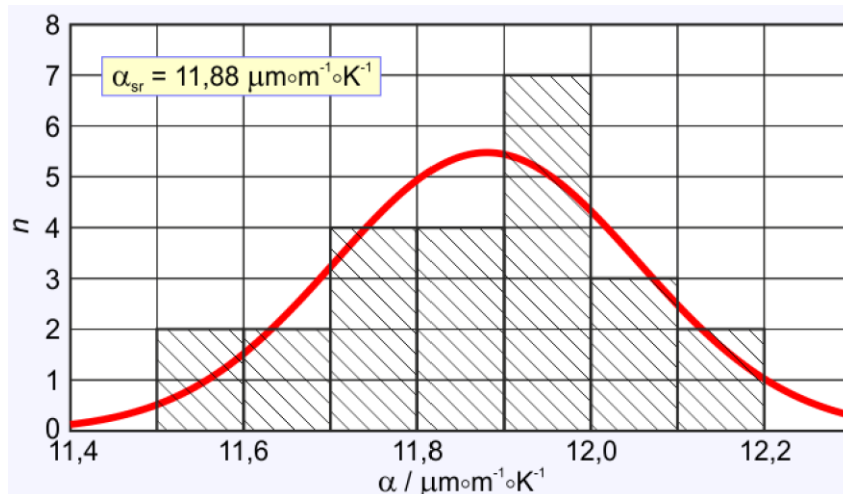
**Srednja vrijednost** mjerene veličine  $x_{sr}$  (najbliža istinitoj vrijednosti):

$$x_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

**Standardno odstupanje** (devijacija) mjerene veličine  $x$  (pokazatelj raspršenja rezultata mjerenja):

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{sr})^2}{n-1}}$$

Koeficijent toplinskog rastezanja konstrukcijskog čelika



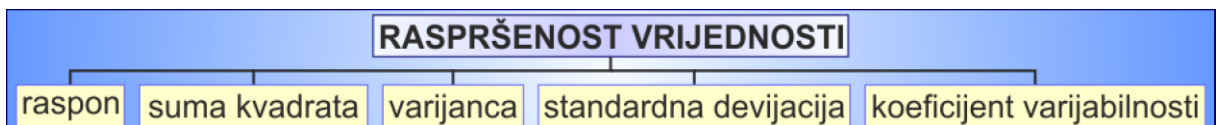
$$n = 24 \quad \sigma_\alpha = 0,18 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

**Korelacijska jednadžba** (korelacijska uzajamna ovisnost mjerenih veličina):

$$y_k = f(x)$$

$$z_k = f(x, y)$$

2. podatak o rasipanju rezultata mjerenja.



**Raspon varijacije:**

$$R_x = x_{\text{Max}} - x_{\text{min}}$$

**Suma kvadrata:**



$$SK_u = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

**Varijanca:**

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

**Standardna devijacija:**

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

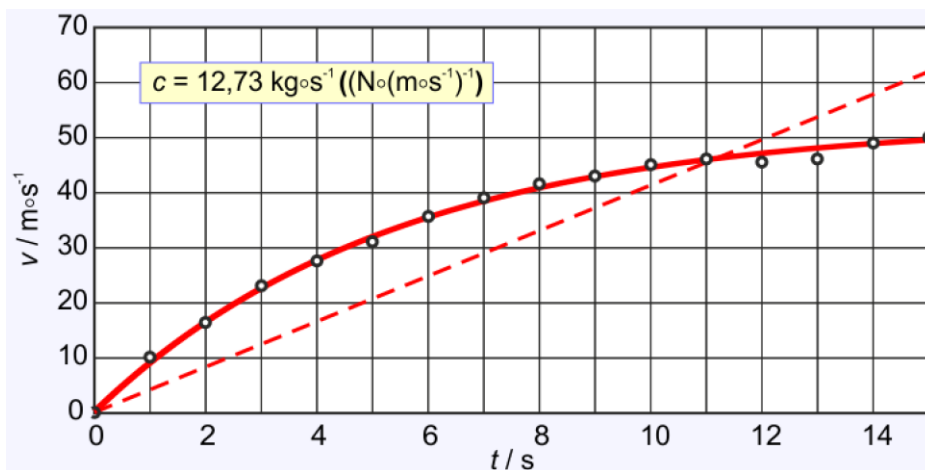
**Koeficijent varijabilnosti:**

$$V_u = \frac{s}{\bar{x}} \circ 100$$

**Koeficijent korelacija** (pokazatelj relativne raspršenosti rezultata mjerenja – raspršenja oko korelacijske krivulje,  $y_k$  u odnosu na raspršenja oko srednje vrijednosti  $y_{sr}$ ):

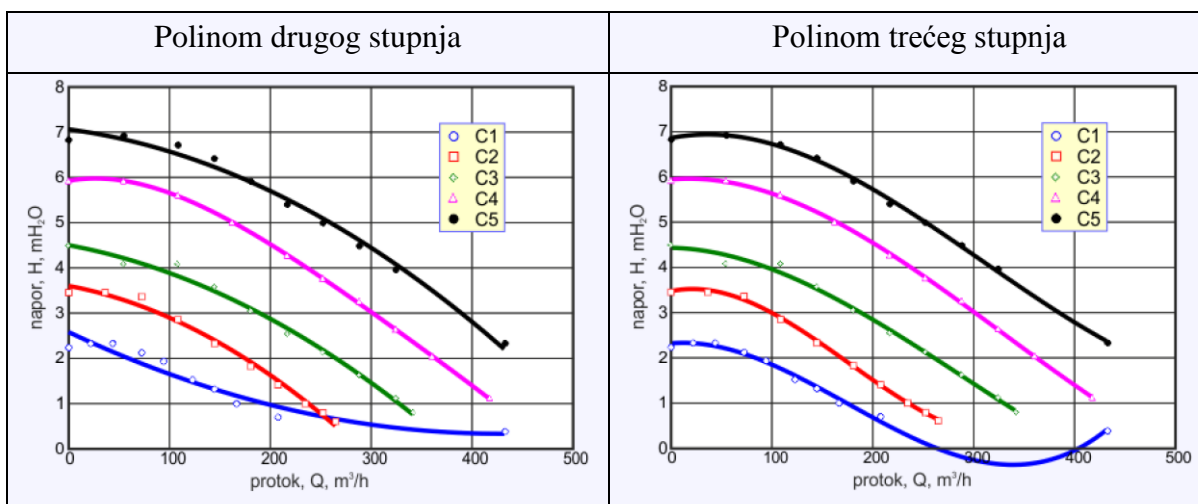
$$R = \sqrt{\frac{\sigma_y - \sigma_k}{\sigma_y}}$$

Ovisnost brzine pada o vremenu padanja:



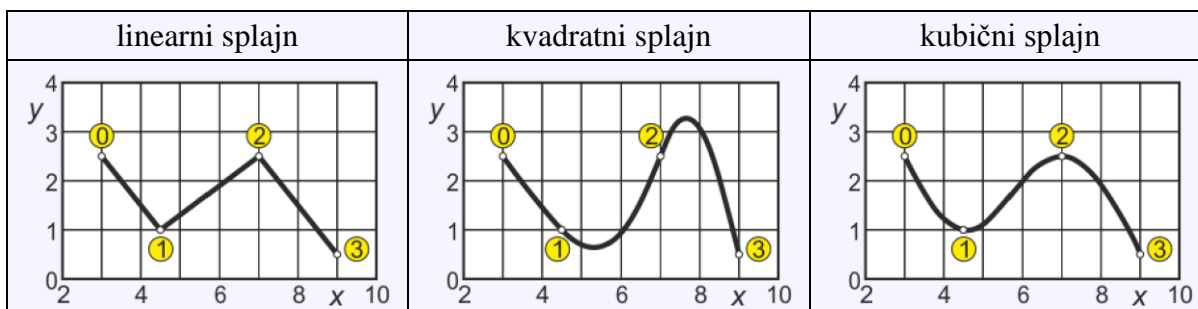
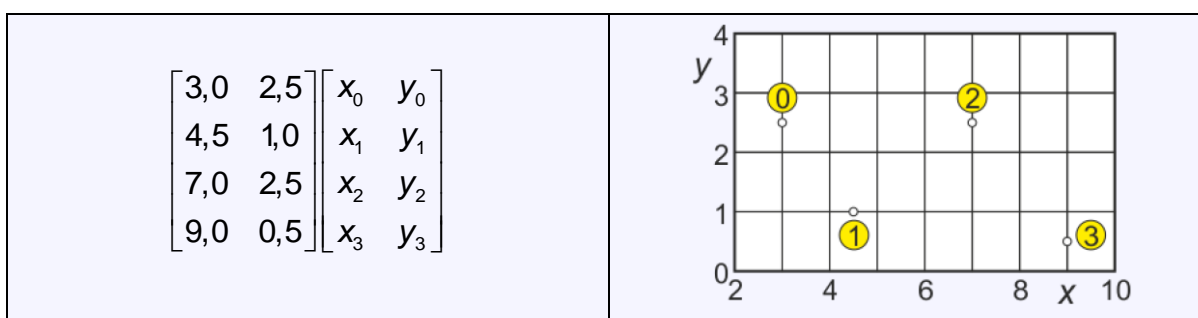
$$v = \frac{g \circ m}{c} \left[ 1 - e^{(-c/m) \circ t} \right] = \frac{9,8 \circ 68,1}{c} \left[ 1 - e^{(-c/68,1) \circ t} \right] \quad R = 0,99856$$

Danas se s lakoćom na temelju rezultata mjerenja određuju korelacijske jednadžbe ovisnosti (*MS Excel*), ali je za izbor tipa korelacijske ovisnosti još uvijek potrebno dosta vještine. Na primjeru obrade rezultata pokusa rada pet crpki očigledno se dobivaju bolji rezultati s polinomom trećeg stupnja nego s polinomom drugog stupnja. Ali, s polinomom trećeg stupnja kod crpke C1 je očigledna i pojava grube greške (pojava područja negativnog napora pri velikim protocima, što bi praktično značilo proizvodnju umjesto utroška energije).



Problem se može riješiti i korištenjem „splajna“:

Rezultati mjerenja (točnost rezultata je provjerena višekratnim ponavljanjem mjerenja):



Splajn krivulje prolaze kroz sve točke rezultata mjerenja, za razliku od statističke krivulja dobivenih metodom najmanjih kvadrata koje u pravilu prolaze pored točaka. Međutim, splajn jednadžbe su daleko kompliciranije od statističkih.

### 9.1.4 Mjerni sustavi

[Kutz 3 (2005), s. 42÷125, 199÷263],

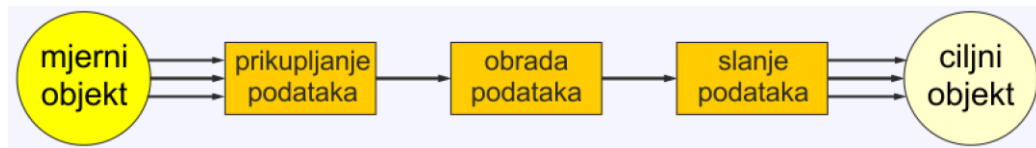
## Vrste mjernih sustava

### Strukture mjernih sustava

[Grote (2007), s. 1631÷1634]

Struktura mjernih sustava je obrađena u Czichos-u [(2008), s. H15÷H21].

[Regtien (2004), s. 15÷16]



**Slika 09.xx** Tri glavne funkcije mjernog sustava

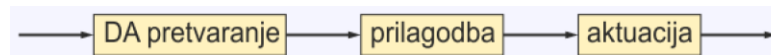
**Data acquisition:** to obtain information about the measurement object and convert it into an electrical signal. The multiple input in Figure 1.2 indicates the possibility for the simultaneous measurement of several parameters. The single output of the data acquisition element indicates that, in general, all data is transferred via a single connection to the data processing element.

**Data processing:** includes processing, selecting or otherwise manipulating measurement data in a prescribed manner. This task is performed by a microprocessor, a micro-controller or a computer.

**Data distribution:** to supply processed data to the target object. The multiple output indicates the possible presence of several target instruments such as a series of control valves in a process installation.



**Slika 09.xx** Tri glavne funkcije podsustava za prikupljanje podataka



**Slika 09.xx** Tri glavne funkcije podsustava za slanje podataka

[Morris (2001), s. 28]

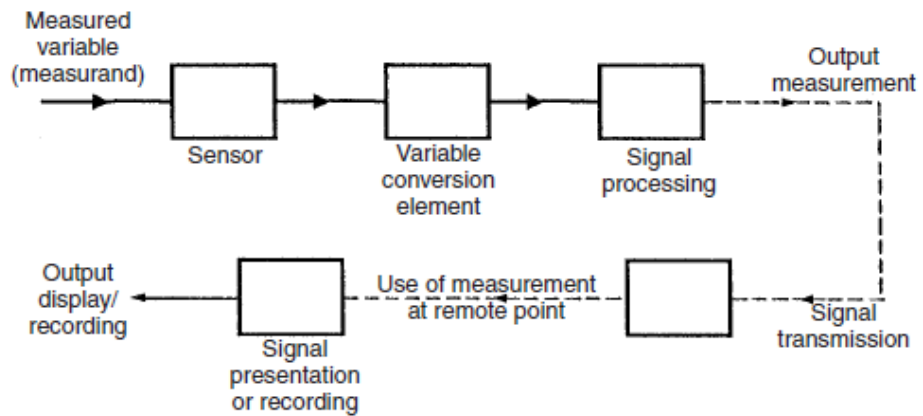


Fig. 1.2 Elements of a measuring instrument.

[Webster (1999), s. 27]

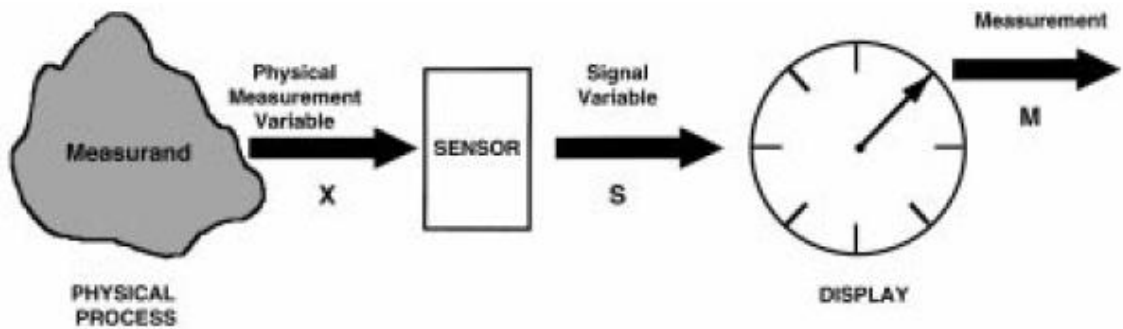


FIGURE I.1 Simple instrument model.

Slika 09.xx Shema jednostavnog instrumenta

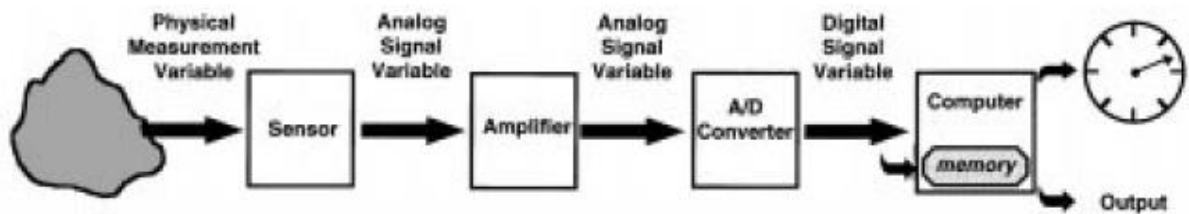


FIGURE I.2 Instrument model with amplifier, analog to digital converter, and computer output.

Slika 09.xx Shema sustava sa senzorem, pojačalom, A/D pretvaračem i računalnim izlazom

[Lerch (2010), s. 33]

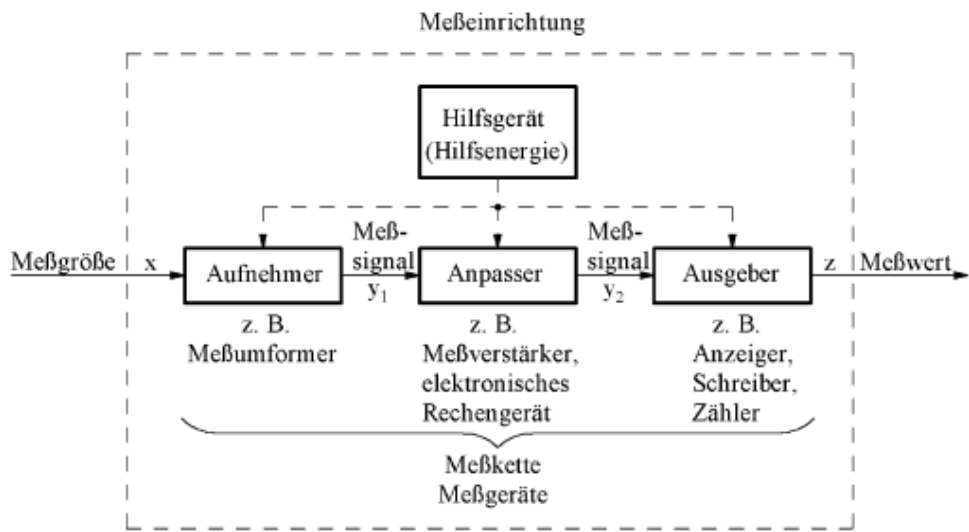


Abb. 1.1. Struktur einer elektrischen Meßeinrichtung nach VDI/VDE 2600

### *Nul instrumenti*

[Webster (1999), s. 35÷37]

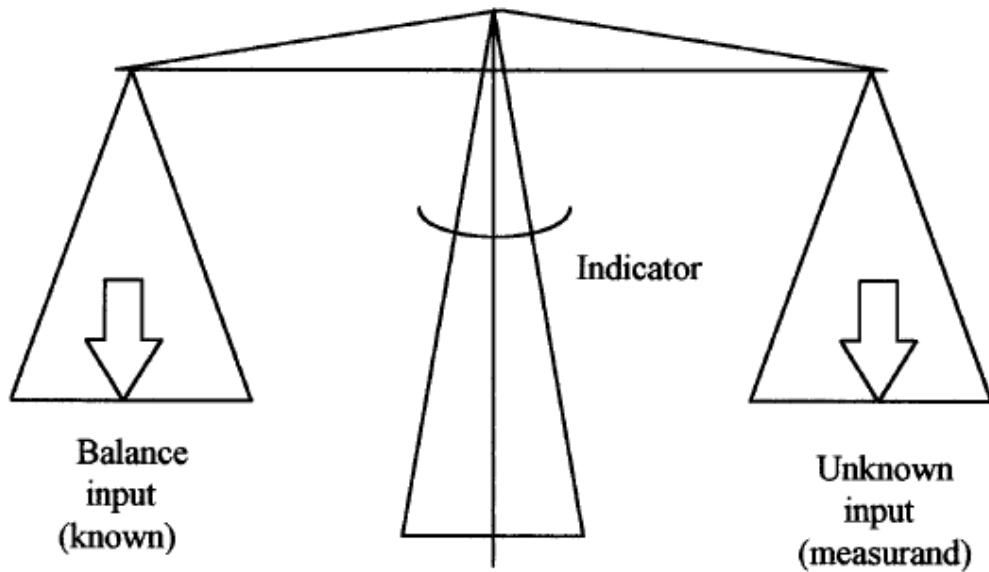


FIGURE 2.1 The measurand and the known quantities balance one another in a null instrument.

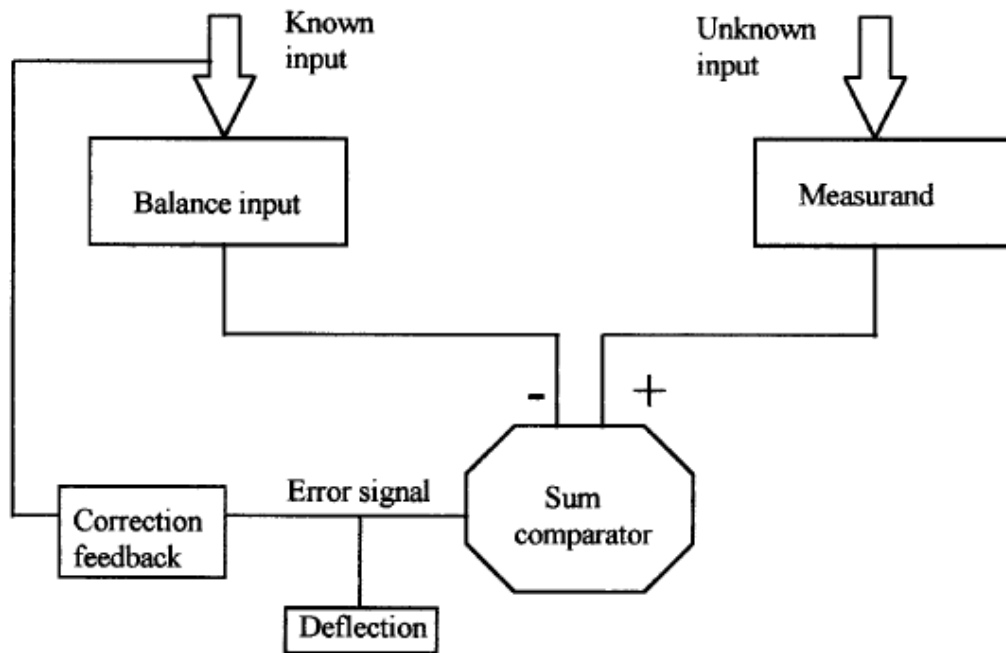


FIGURE 2.2 A null instrument requires input from two sources for comparison.

### Otklonski instrumenti

[Webster (1999), s. 36-38]

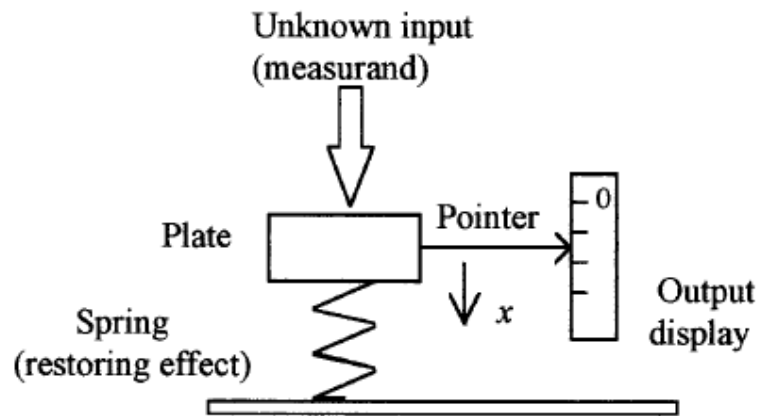


FIGURE 2.3 A deflection instrument requires input from only one source, but may introduce a loading error.

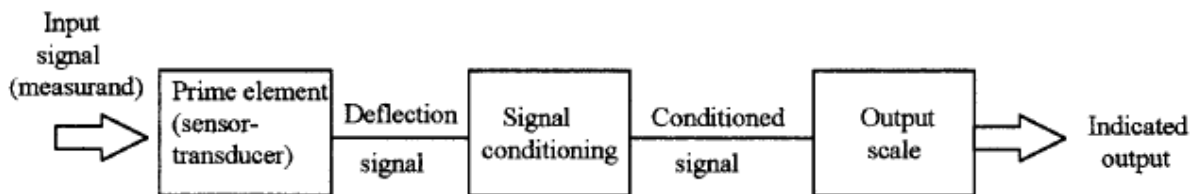


FIGURE 2.4 The logic flow chart for a deflection instrument is straightforward.

<http://instrumentationresourcebook.blogspot.com/2012/03/elements-of-measuring-instrument.html>

<http://lorien.ncl.ac.uk/ming/procmeas/measintr.htm>

<http://eu.wiley.com/legacy/wileychi/hbmsd/articles.html>

[Grote (2007), s. 1636÷1667], [Hering (2004), s. 171÷172, 215÷257], [Smith (2000), s. 121÷140, 207÷251],

## 9.2 Mjerni instrumenti

### 9.2.1 Osnove mjernih instrumenata

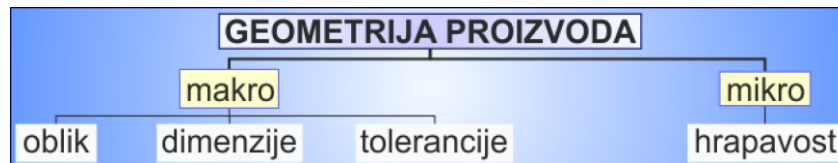
[Kutz 3 (2005), s. 13÷19], [Smith (2000), s. 13÷19, 156÷157],

Mjerne instrumente sažeto obrađuje Avallone [(2006),s. 1539÷1558].

### 9.2.2 Geometrijska mjerenja

[Grote (2009), s. 814÷839], [Carvill (2003), s. 278÷281], [Hering (2004), s. 168÷170, 175÷185], [Smith (2000), s. 140÷144],

Treba razlikovati makro i mikro geometrija elemenata.



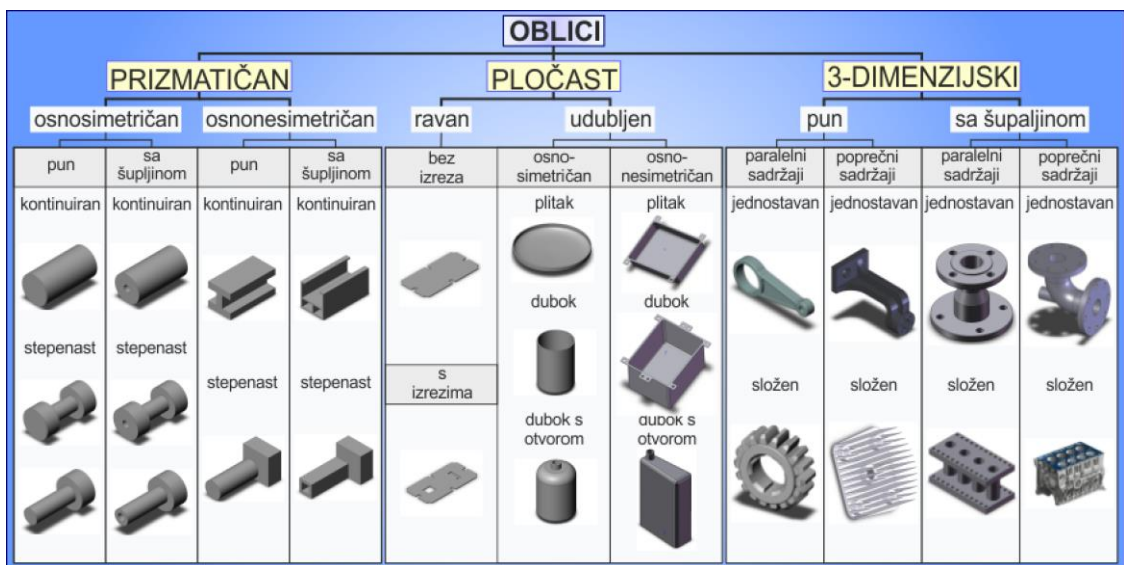
Svi potrebni geometrijski detalji za izradu elementa obuhvaćeni su tehničkim nacrtima.

Određivanje položaja u prostoru obrađuje Avallone [(2006),s. 1589÷1598].

## Oblik

Pogodna je klasifikacija oblika:

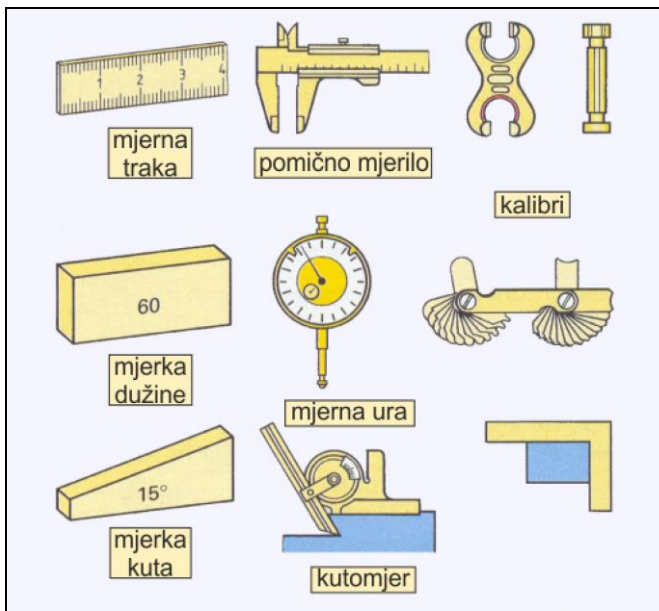




## Dimenzije

### Duljine

Za mjerenja dužina i kutova se koriste tradicionalna mjerila prikazana na S-1.13. Na S-1.14 je prikazan suvremeni sustav za složena precizna mjerenja malih do srednjih komada (zupčanci, ležajevi, rotori i kućišta rotora).



Slika 09.xx Tradicionalna mjerila dužina/kutova

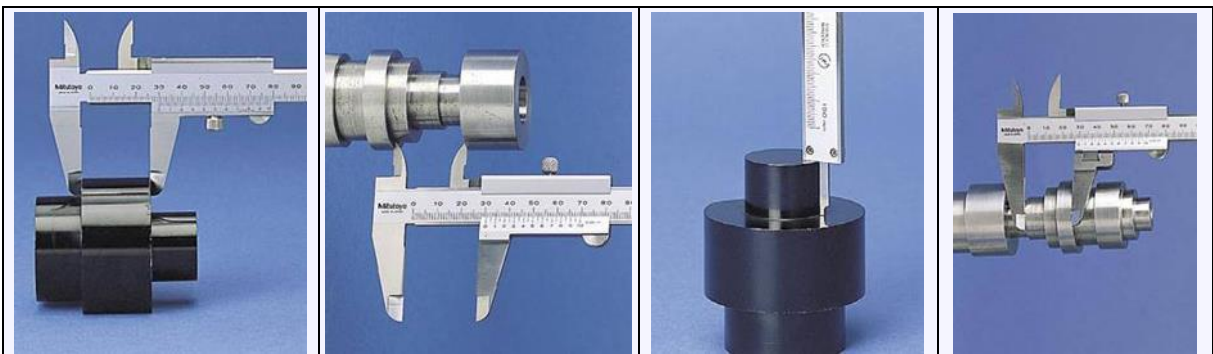
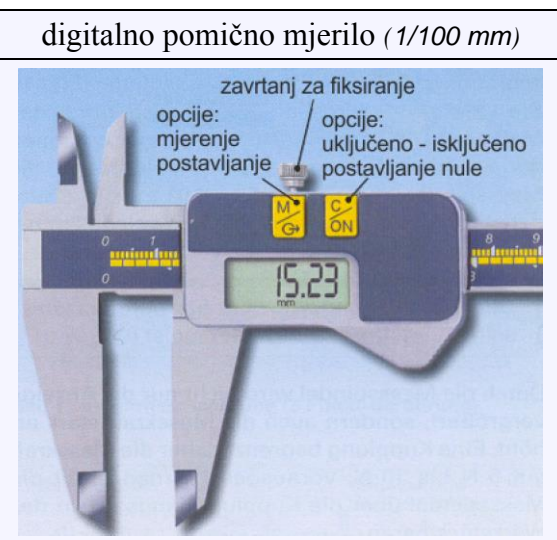
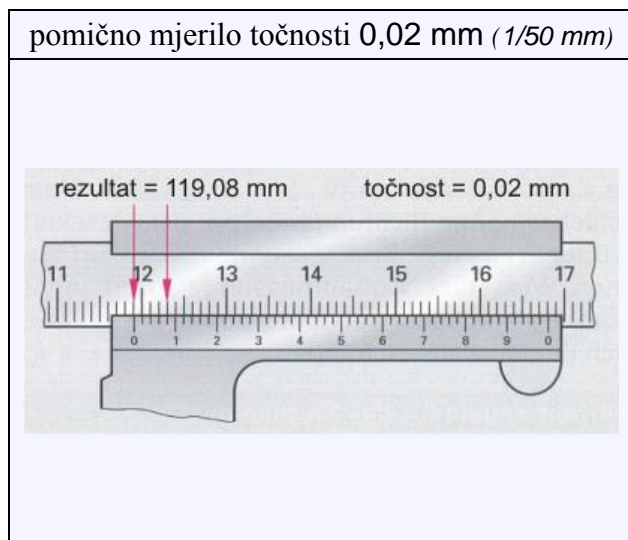
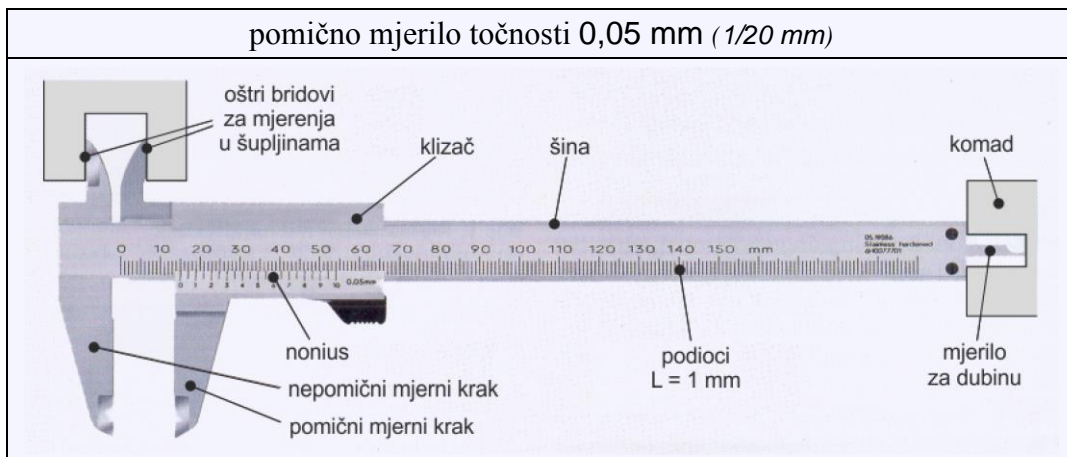


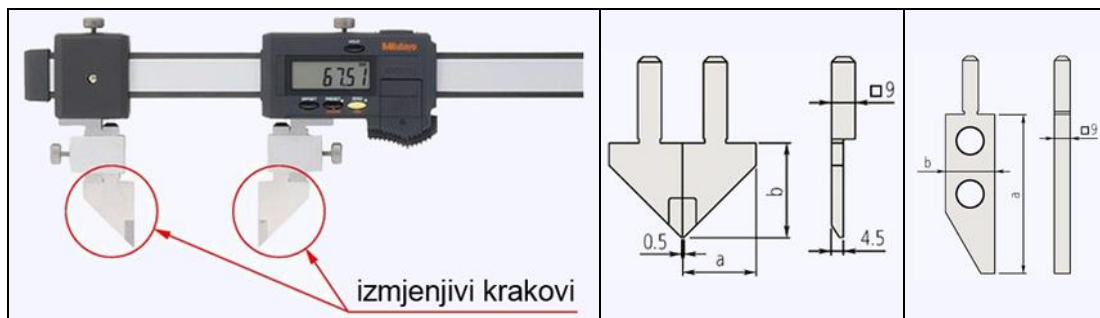
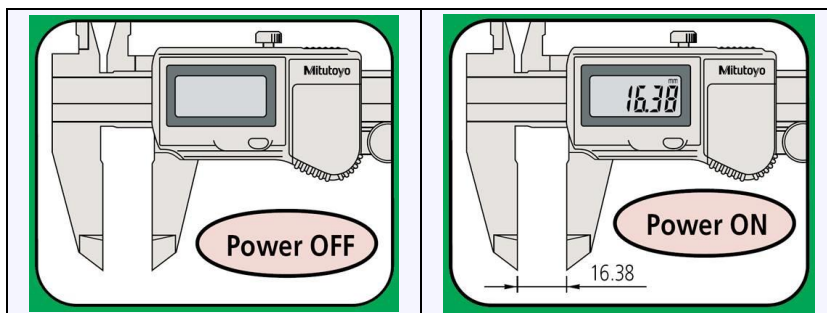
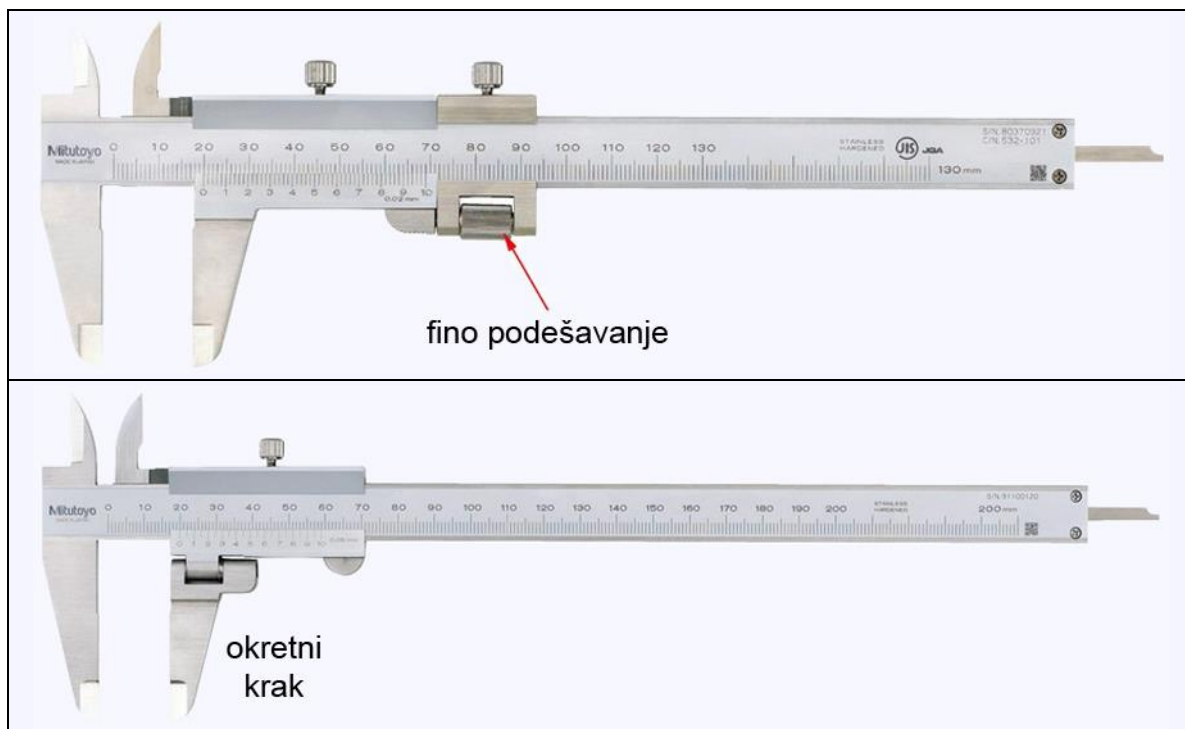
Slika 09.xx Suvremeni mjerni sustav

Mjernim trakama mjere se dužine s točnostima 1 mm.



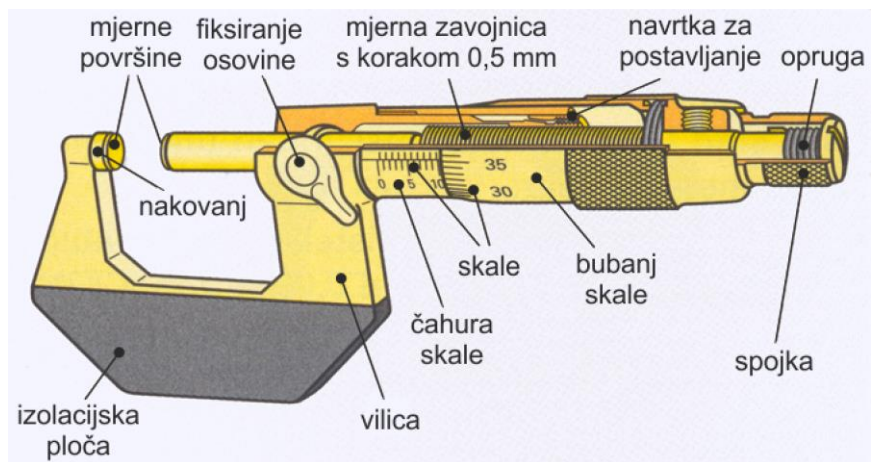
Pomičnim mjerilima mjere se dužine s točnostima 1/10, 1/20 ili 1/50 mm.



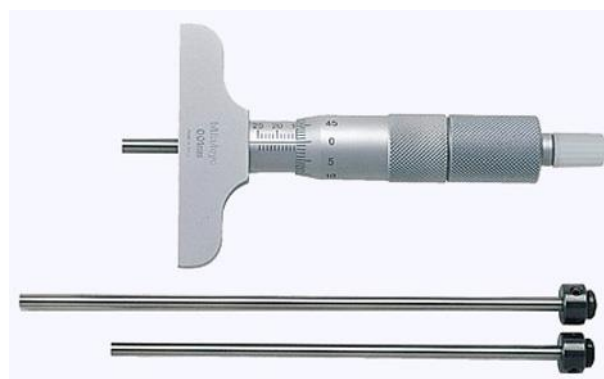


**Mikrometrima** se mjere dužine s točnošću 0,01 mm (1/100 mm).





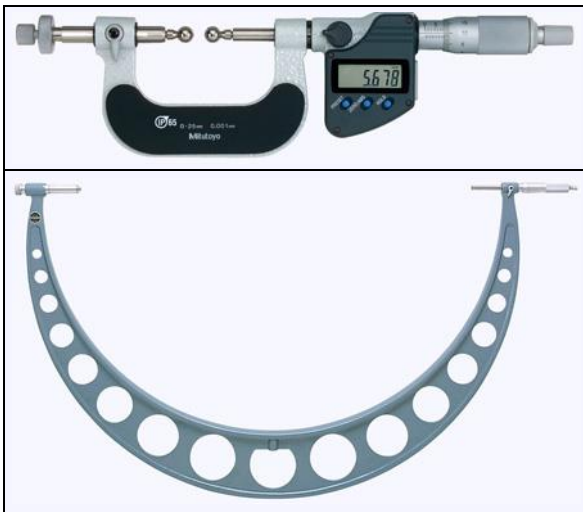
rezultati mjerenja mikrometrom		digitalni mikrometar (1/1000 mm)	
Pokazivanje na:		postavljanje na mm ili in	ZERO ABS
čahuri skale	10, 65, 38	MODE	
bubnju skale	0,0, 0,0, 0,5		
Rezultat u mm	10,00, 65,34, 38,95		



Slika 09.xx Mikrometar za mjerenje dubine

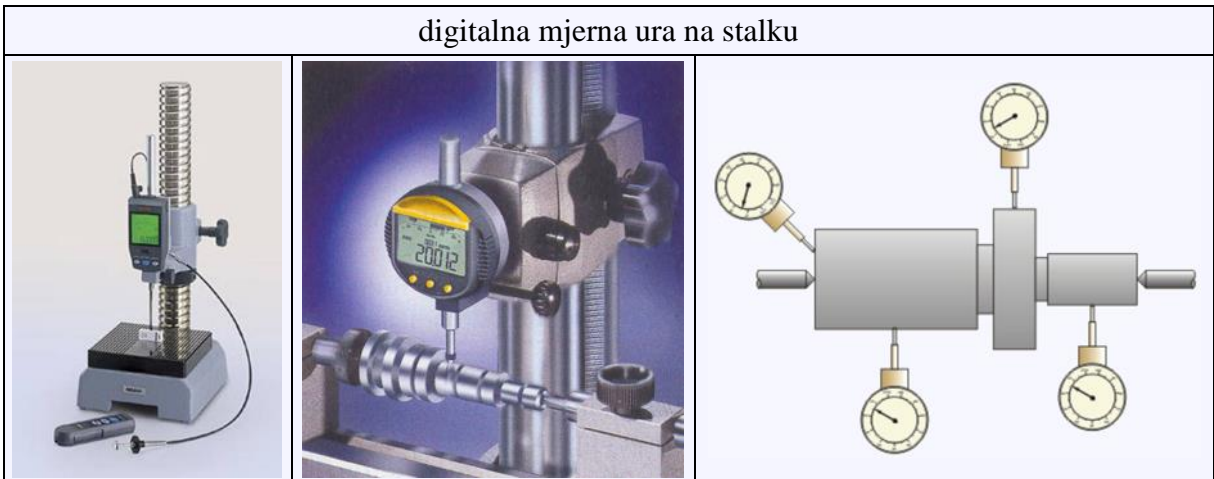
Mjerne površine mikrometra prilagođene su njegovoj namjeni.

debljina zida cijevi	H rupe	D provrta
dimenzije zupčanika		



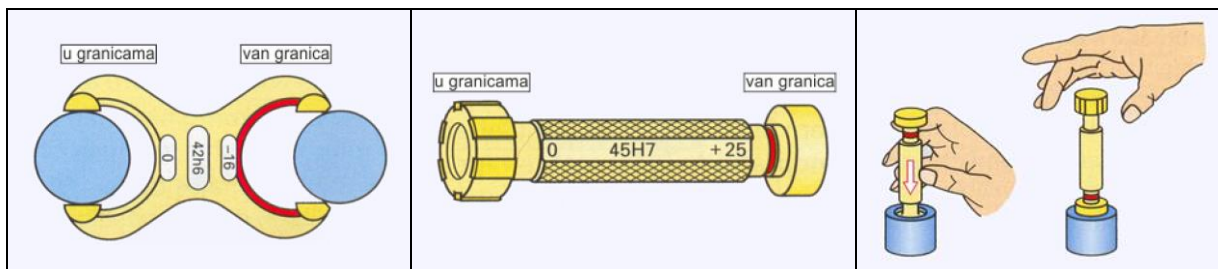
**Mjernim urama** mjere se dužine s točnošću 1/100 mm.

analogna mjerna ura točnosti 0,01 mm (1/100 mm)	digitalna mjerna ura točnosti 0,001 mm (1/1000 mm)



**Kalibri**

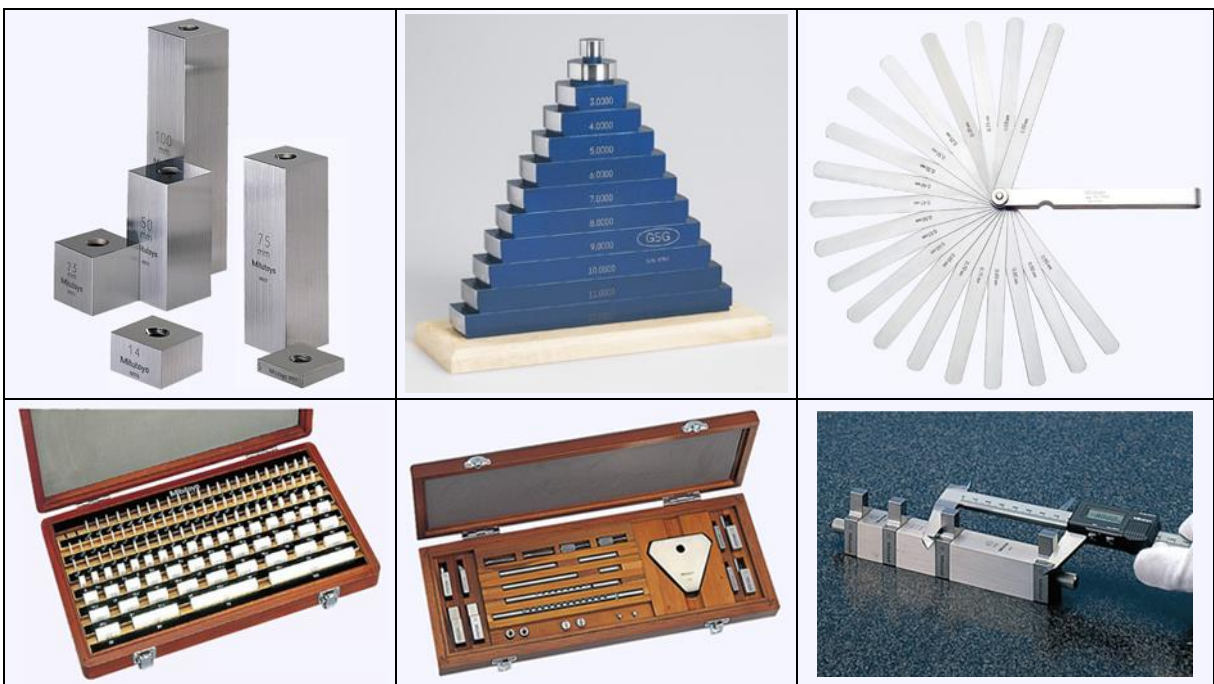
Za brzu kontrolu tolerancija koriste se kalibri:



Pri korištenju pneumatskih kalibara ne dolazi do dodira metalnih ploha.

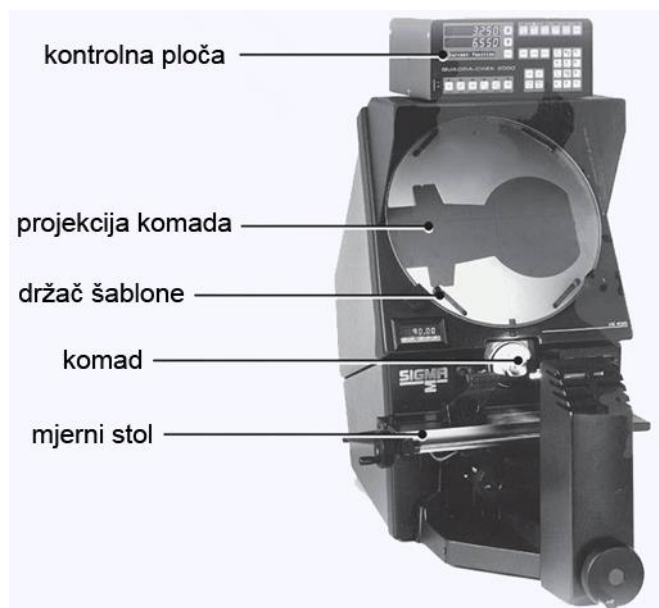
**Etaloni**

Za umjeravanje mjerila koriste se etaloni:



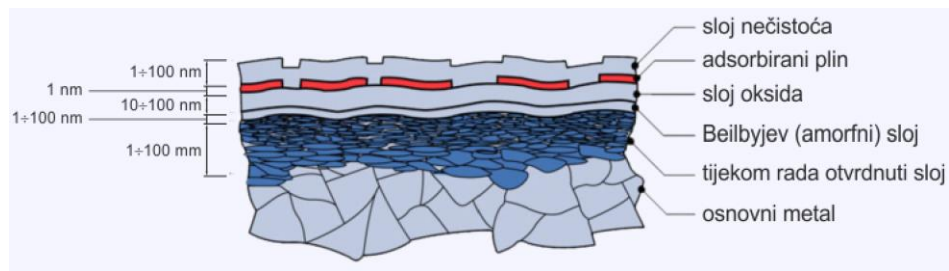


### Kontrolni sustavi

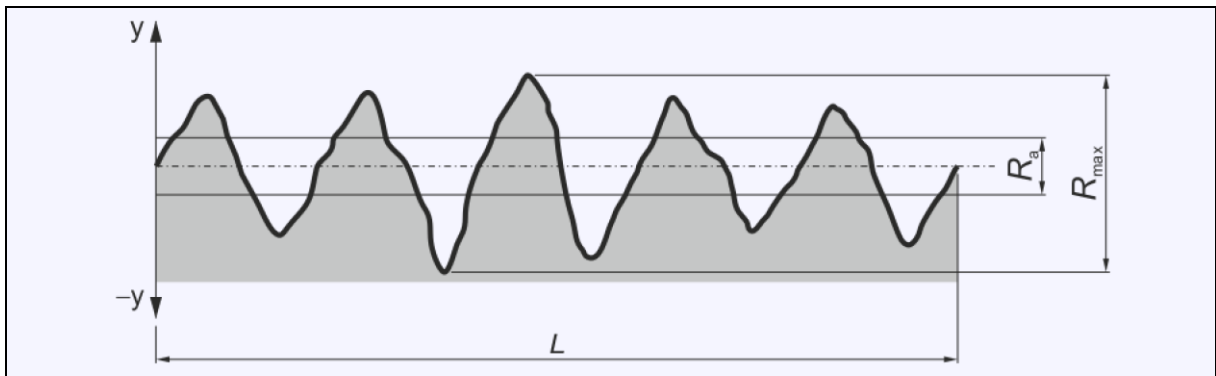








Manje ili veće hrapavosti površina posljedice su oblikovanja komada različitim postupcima obrade. Hrapavost se određuje za odabranu referentnu dužinu  $L$ .



gdje je:  $R_{\max}$  – razmak dvije najudaljenije točke od srednje linije profila površine,  
 $R_a$  – srednja vrijednost aritmetičkog odstupanja profila površine:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y| \circ dx$$

Jedan od osnovnih uvjeta visoke kvalitete proizvoda je točnost njihovih dimenzija. Klizni sustavi alatnih strojeva moraju imati osobito točne dimenzije kako bi se i pri obradama komada mogle postizati potrebne točnosti. Zbog toga se u proizvodnji kliznih staza i kliznih nosača moraju osobito pažljivo i točno izmjeriti dužine, širine, dubine i kutovi.

### 9.2.3 Mehanička mjerenja

#### Mehanika krutog tijela

[Smith (2000), s. 145÷146],

Vrijeme

[Hering (2004), s. 191÷192],

Masa

[Hering (2004), s. 173÷175],

## *Sila*

## *Čvrstoća*

[Carvill (2003), s. 282÷284, 296÷298]

## **Mehanika fluida**

Mjerenja mehanike fluida su sažeto obrađena u Alfireviću [(1996), s. 515÷525]

## *Volumen*

[Smith (2000), s. 144÷145],

## *Tlak*

[Carvill (2003), s. 290÷292], [Hering (2004), s. 186÷188], [Smith (2000), s. 146÷148],

Pregledno je mjerače tlaka obradio *Batikha* [(2007), s. 123÷136]. Tablična usporedba mjerače tlaka prikazana je na s. 126.

## *Razina*

Pregledno je mjerače razine obradio *Batikha* [(2007), s. 99÷121]. Tablična usporedba mjerače razine prikazana je na s. 101 i 102.

## *Protok*

[Carvill (2003), s. 292÷294], [Hering (2004), s. 188÷190], [Kutz 3 (2005), s. 184÷195], [Smith (2000), s. 148÷151],

Pregledno je mjerače protoka obradio *Batikha* [(2007), s. 73÷98]. Tablična usporedba mjerače protoka prikazana je na s. 80 i 81.

## *Brzina*

[Carvill (2003), s. 294÷296]

### **9.2.4 Toplinska mjerenja**

Toplinska mjerenja su sažeto obrađena u Alfireviću [(1996), s. 67]

## **Temperatura**

[Carvill (2003), s. 284÷289], [Hering (2004), s. 185÷186], [Kutz 3 (2005), s. 142÷184], [Smith (2000), s. 151÷156],

Pregledno je mjerače temperature obradio *Batikha* [(2007), s. 137÷150]. Tablična usporedba mjerače temperature prikazana je na s. 140.

## **Toplinsko širenje**

## **Toplinska vodljivost**

## **Specifična toplina**

### **9.2.5 Kemijska mjerenja**

Pregledno je analizatore kemijskih sastava obradio *Batikha* [(2007), s. 21÷72]. Tablična usporedba analizatora prikazana je na s. 37.

### 9.2.6 *Elektrotehnička mjerenja*

[*Hering* (2004), s. 193÷214],

Osnove elektrotehničkih mjerenja je pregledno obradio *Alfirević* [(1996), s. 489÷496].

#### **Napon**

#### **Struja**

#### **Energija**

#### **Električni otpor**

#### **Tenziometrija**

Tenziometriju je obradio *Alfirević* [(1996), s. 501÷503].

#### **Fotoelasticimetrija**

Fotoelasticimetriju je obradio *Alfirević* [(1996), s. 503÷510].

## Vibracije

Vibracije je obradio Alfirević [(1996), s. 510÷515].

### 9.3 Senzori

#### 9.3.1 Osnove senzora

Senzori su pregledno obrađeni u Czichos-u [(2008), s. H21÷H53].

#### 9.3.2 Geometrijski senzori

Senzor položaja leptira na usisu zraka motora je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 90, 91, 93, 94, 104, 320].

Senzor kuta koljenastog vratila motora je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 91, 94, 161].

Senzor položaja brjegastog vratila motora je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 91].

Senzor zaokretanja volana je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 305, 306, 307, 308].

Senzor položaja papučiće gasa motora je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 320, 321].

#### 9.3.3 Mehanički senzori

Senzor razine goriva u spremniku vozila je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 67].

Senzor protoka usisavanog zraka motora je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 91, 94, 97, 104].

Senzor brzine motora je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 94].

Senzor protoka goriva motora je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 192, 193].

Senzor ABS sustava je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 273, 274].

Senzor brzine vrtnje kotača vozila je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 306].

Senzor brzine vozila je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 308].

Senzor sustava ubrizgavanja goriva je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 364÷371].

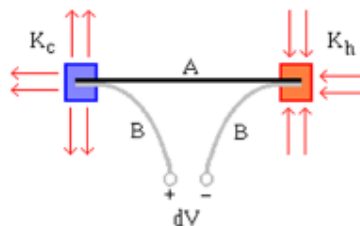
### 9.3.4 Toplinski senzori

Prema načinu postavljanja i prirodi razlikuju se:

Senzori temperature	
kontaktni	daljinski
termopari	
otpornički	
temistori	
diode	

Termistori (*eng. thermistor*  $\leftarrow$  *thermal resistor* – *toplinski otpornik*) elektronički elementi čiji se otpori značajno mijenjaju s promjenama temperature. Za red veličina su osjetljiviji od otporničkih i veoma su stabilni te omogućavaju određivanja temperature s greškom manjom od 10 mK.

#### Termoparovi



Tip	Korišteni materijali	Temperaturni opseg, °C
B	platina 30% rodij // platina 6% rodij	1370 ÷ 1700
C	volfram 5% renij // volfram 26% renij	1650 ÷ 2315
E	chromel // constantan	95 ÷ 900
J	željezo // constantan	95 ÷ 760
K	chromel // alumel	95 ÷ 1260
N	nicrosil // nisol	650 ÷ 1260
R	platina 13% rodij // platina	870 ÷ 1450
S	platina 10% rodij // platina	980 ÷ 1450
T	bakar // constantan	- 200 ÷ 350

Senzor temperature zraka na usisu motora je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 90].

Senzor temperature vode zahlađenje motora je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 91, 94, 95, 143].



### **9.3.5 *Kemijski senzori***

Senzor sadržaja kisika u ispušnim plinovima vozila je prikazan u Bonnick-u [(2011), s. 78, 91, 92, 93, 98, 175, 318].

### **9.3.6 *Električni senzori***

## **9.4 Primjena mjernih sustava**

### **9.4.1 *Oblikovanje***

Struktura mjernih sustava je teorijski obrađena u Czichos-u [(2008), s. H53-H95].

### **9.4.2 *Izbor komponenti mjernih sustava***

### **9.4.3 *Montaža mjernih sustava***

### **9.4.4 *Održavanje mjernih sustava***

Održavanje senzora je opisano u Bonnick-u [(2011), s. 424-432].

# Dodatak

## Literatura

- 9.1 Osnove mjerenja** – Battikha2007/Ch1-1÷2,  
Ober2004/2539÷2587, Shigley1996/107÷161, Ferger2010, Sauter2010, Gao2010,  
9.1.1 Mjerenje veličine  
9.1.2 Mjerenje, pokusi i eksperimenti – Demtröder2008/18÷40,  
9.1.3 Mjerni sustavi – Baker2000, Ferger2010,  
9.1.4 Praćenje –
- 9.2 Komponente mjernih sustava** – Battikha2007/Ch2(označavanje),  
Carvill2003/112÷156,  
9.2.1 Analizatori Battikha2007/Ch3,  
9.2.2 Senzori – Fraden2010, Frank2000, Gaura2006, Nyce2004, **mehanički**, Bau2004,  
9.2.2 Mjerila – Battikha2007/Ch4÷Ch7(protok, razina, tlak, temperatura),
- 9.3 Usvajanje mjernih sustava** – Battikha2007/Ch1-5÷10,  
10.3.1 Ugradnja i povezivanje komponenata mjernih sustava – Battikha2007/Ch15,  
10.3.2 Puštanje u rad mjernih sustava – Battikha2007/Ch17,  
10.3.3 Održavanje mjernih sustava – Battikha2007/Ch16,  
10.3.4 Odlaganje mjernih sustava –
- 9.3 Primjena mjerila**  
**9.5 Pogon i održavanje mjerila**  
**9.5 Primjeri mjerila** – Sobey2009, Sobey2006, ReifS2010,  
Dodaci – Haberhauer2011/621÷626,  
**LITERATURA** Alfirević1996/483÷529(mjeriteljstvo/potvrđivanje, rezultati mjerenja, elektrotehnička mjerenja, tenzometrija, fotoelasticimetrija, mjerenje veličina: vibracije, fluidi, toplina), Avallone2006/1539÷1558(mjerni instrumenti),1589÷1598(poziicioniranje), Czichos2008/H1÷H96(osnove, senzori, sustavi, mjerna tehnika: analogna i digitalna), Bonnick2011(vozila: primjeri senzora, mjerenja), Grote2007/1631÷1667(mjerna tehnika i senzori), Grote2009/808÷839(mjerenje i kontrola kvalitete), Carvill2003/278÷298(inženjerska mjerenja), DIN2008/975÷980 (mjerna tehnika – glosar), Hering2004/154÷257(osnove, glosar, mjerenje), Kutz2005/13÷263(osnove,mjerenja), Smith2000/118÷295(mikroprocesori, instrumenti),1152÷1172(jedinice, simboli, konstante),  
Bachman2007(mjerenje osnovnih veličina)2, Baker2000(protok)3, Battikha20074, Beeby2004(MEMS)3, Boyes20034, Childs2001(temperatura)4, Czichos2006(materijali)4, Czichos2010(tribometrija)4, Dapkunas2005(površine)3, Davis2002(statistika)3, Demtröder2008(eksperimenti– mehanika, toplina)5, Dorf2007(po dijelovima)3, Dunn2005(procesi)5, Erdmann1/2/3/2011(eksperimentalna fizika)3, Eren2006(bežični senzori i instrumenti)4, Ferger2010(mjerenje i USB)3, Fraden2010(suvremeni senzori)5, Frank2000(inteligentni senzori)4, Gao2010(nanometriologija)4, Godin2005(mjerenje i statistika)2, Hebra2010(fizika mjerenja)5, Jackson2004(novi senzori)3, James2000(prikupljanje podataka s PCom)3, LearningExpress2004(test – pitanja i odgovori)4, Lerch2010(elektrotehnika)3, Liptak2003(procesi)5, Marek2003(senzori vozila)4, Meixner1995(mikro i nano senzori)4, Morris2001(načela mjerenja i instrumenata)5, Mühl2001(elektrotehnika)3, Nawrocki2005(mjerni sustavi i senzori)4, Parthier2008(osnove, mjerenja, senzori, automatski mjerni sustavi)5, Pawlak2007(senzori i aktuatori mehatronike)3, Petruzzeliss2006(elektronički senzori – projekti)4, Placko2007(osnove instrumenata i mjerenja)3, Polak1999(inženjerska mjerenja)4, Regtien2004(znanost mjerenja za inženjere)4, Reif2010(senzori u vozilima)5, Reif2011(Bosch-ova autoelektrika)5, Ripka2007(priručnik suvremenih senzora)3, Salkind2007(enciklopedija mjerenja i statistike)3, Sauter2010(mjerenje, upravljanje, regulacija s USBom)3, Scholz1990(toplinski senzori)3, Scott2008(industrijski procesni senzori)3, Sinclair2001(senzori i pretvarači)4, Soloman2010(senzori u proizvodnji)4, Steyer2000(mjerenje i testiranje)2, Strothman2006(mjerenje – jednadžbe i tablice)4, ten Hompel2008(sustavi za identifikaciju i automatizaciju)3, Thomas2006(uvod u električna mjerenja)3, Tompkins1998(povezivanje senzora s IBM-PCom)3, Tönschoff2001(senzori u proizvodnji)4, Tumanski2006(načela mjerenja u elektrotehnici)4, Wagner2005(optički senzori)3, Webster1999(priručnik mjerenja, instrumenata i senzora)5, Wilson2005(priručnik tehnologije senzora)5, Yamasaki2001(inteligentni senzori)4, Youden1997(eksperimentiranje i mjerenje)3, Yurish2004(inteligentni senzori i MEMS)3.
1. Battikha N. E.: The Condensed Handbook of Measurement and Control, 3rd Edition; The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2007.
  2. Demtröder W.: Experimentalphysik 1 – Mechanik und Wärme, 5. Auflage; Springer-Lehrbuch, 2008.
  3. Dunn W.C.: Introduction to Instrumentation Sensors and Process Control; Artech House, 2005.
  4. Fraden J.: Handbook of Modern Sensors – Physics, Designs and Applications, 4<sup>th</sup> Edition; Springer, 2010.
  5. Hebra A. J.: The Physics of Metrology – All about Instruments – From Trundle Wheels to Atomic Clocks; Springer, 2010.

6. Lipták B. G: Instrument Engineers' Handbook – Vol 1 Process Measurement and Analysis, 4th Edition; CRC, 1995.
7. Morris A. S: Measurement and Instrumentation Principles, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann, 2001.
8. Parthier R.: Messtechnik – Grundlagen und Anwendungen der elektrischen Messtechnik für alle technischen Fachrichtungen und Wirtschaftsingenieure, 4th Edition; Vieweg & Sohn, 2008.
9. Reif K.: Sensoren im Kraftfahrzeug – Bosch Fachinformation Automobil; Vieweg-Teubner, 2010.
10. Webster J. G.: The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook on CD-ROM; CRC 1999.

**IZBOR ZNAČAJNIH VELIČINA:**

**fizika:** Alfirević1996/2,106, Battikha2007/appA, Böge2011/B1÷B20, Czichos2008/B1÷B289, Kraut1988/35÷46; **kemija:** Alfirević1996/123÷145, Böge2011/B21÷B20, Czichos2008/C1÷C114, Kraut1988/46÷57; **materijali:** Avallone2006/367÷375, Böge2011/E1÷E85, Czichos2008/D1÷D110, **Timings2005/548÷559;** **mehanika:** Alfirević1996/197÷249, Avallone2006/107÷134,166÷184, Berger2008, Böge2011/C1÷C80, BögeA2011, BögeF2011, BögeL2011, BögeT2011, Brandt2005, Czichos2008/E1÷E70, Dankert2011/1÷166,457÷746, Demtröder2008/41÷168,353÷420, Dorf2005/Ch1÷Ch3,Ch12÷Ch18, Erdmann12011, Erdmann22011, Erdmann32011, Grote2009/58÷94, Kraut1988/58÷64,71÷75, Kreith2005/23÷152, Margithu2001/2÷119, Singh2007/104÷189,242÷264, Smith2000/14÷29, Timings2005/29÷122, Ulbrich2006/10÷107,190÷356; **čvrstoća:** Alfirević1996/249÷340, Avallone2006/274÷364, Böge2011/D1÷D81, BögeA2011, BögeF2011, BögeL2011, BögeT2011, Brown2005/21÷336, Czichos2008/E71÷E146, Dankert2011/167÷456, Dorf2005/Ch4÷Ch11, Kraut1988/65÷70, Leckie2009, Margithu2001/120÷189, Singh2007/265÷447,494÷502, Smith2000/14÷15, Ulbrich2006/108÷189; **mehanika fluida:** Alfirević1996/341÷369, Avallone2006/134÷166, Böge2011/C81÷C132, BögeA2011, BögeF2011, BögeL2011, BögeT2011, Czichos2008/E146÷E225, Demtröder2008/169÷262, Dorf2005/Ch35÷Ch43, Kraut1988/75÷87, Kreith2005/238÷471, Margithu2001/556÷607, Smith2000/29÷46; **termodinamika:** Alfirević1996/369÷442, Avallone2006/185÷273, Böge2011/F1÷F39, Czichos2008/F1÷95, Demtröder2008/283÷352, Dorf2005/Ch45÷57, Grote2009/245÷316, Kraut1988/87÷136, Kreith2005/153÷237,472÷828, Margithu2001/443÷555, Singh2007/1÷103,474÷493, Smith2000/46÷59; **elektrotehnika:** Alfirević1996/442÷483, Avallone2006/1447÷1537, Böge2007/518÷585, Czichos2008/G1÷G180, DIN2008/736÷931, Grote2009/1490÷1579, Hering2004/585÷845, Kraut1988/136÷152, Kreith2005/830÷1053, Smith2000/60÷116; **optika, akustika, atomska i nuklearna fizika:** Alfirević1996/107÷123, Kraut1988/153÷154, Thomas2007, Webster2009, Youden1997, **geometrija:** Oberg2004/692÷745,1893÷1918, Dapkunas2005, Timings2005/666÷683, **gustoća:** Ashby2007/48÷49, **mehanika:** Avallone2006/330÷344, Dorf2005/Ch19, **čvrstoća:** Ashby2007/55,112÷116,165÷166, **mehanika fluida:** Dorf2005/Ch44, **termodinamika:** Ashby2007/246÷249,259÷260,484, Childs2001, Grote2007/176÷226, Hering2004/329÷339, **elektrotehnika:** Ashby2007/346÷351, Böge2011/Q1÷R48, Hering2004/258÷304, **fizikalna kemija:** Ashby2007/388÷390, **materijali:** Ashby2002/95÷97,146, Ashby2009/14÷20,130÷133,166÷169, Ashby2005/39÷56, Czichos2006/124÷920,1101÷1153, Grote2009/130÷163, Oberg2004/547÷553, Kraut1988/165÷178, Smith2000/510÷551, Spotts1961/44,268,

*Internet*

## Podloge

### Glosar

[DIN (2008), s. 975÷980], [Hering (2004), s. 156÷163],

### Rječnik

hrvatski	engleski	njemački
mjerenje	measurement	Messung
ispitivanje	testing	Prüfung

### Oznake

### Formule

### Norme

### Podaci

[Smith (2000), s. 1154÷1172],

## Razno

### *Teme*

1. **Elementi mjernih sustava**
  1. Veličine sustava – stanja, količine i promjene
  2. Mjerenje veličina i mjerne pogreške
  3. Obrada i prikaz rezultata mjerenja
  4. Komponente sustava za mjerenje i praćenje
  5. Geometrijske veličine
  6. Mjerenje duljina i kutova
  7. Mjerne trake za duljinu i povlačno mjerilo
  8. Mikrometri
  9. Senzori daljina
  10. Mehaničke veličine
  11. Mjerenje vremena, brzina i ubrzanja
  12. Mjerenje masa i sila
  13. Mjerenje tlakova
  14. Senzori tlakova
  15. Toplinske veličine
  16. Mjerenje temperatura
  17. Senzori temperatura
  18. Kemijske veličine
  19. Veličine materijala
  20. Mjerenje čvrstoće materijala
  21. Mjerenje tvrdoće materijala
  22. Određivanje dinamičke čvrstoće materijala
  23. Mjerenje električnog napona, otpora i struje
  24. Korištenje računala u mjerenjima i praćenjima
  25. Ugradnja i povezivanje komponenti mjernih sustava
  26. Puštanje u rad mjernih sustava
  27. Pogon i održavanje mjernih sustava
  28. Odlaganje mjernih sustava
  29. Mjerilo potrošnje vode
  30. Mjerilo potrošnje plina

### **Teme:**

31. Veličine sustava – stanja, količine i promjene
32. Mjerenje veličina i pokusi
33. Mjerne pogreške
34. Obrada i prikaz rezultata mjerenja
35. Elementi i sustav za mjerenje i praćenje
36. Senzori i računala
37. Mjerenje geometrijskih veličina
38. Mjerenje stanja i količina
39. Fizičke i kemijske mjerne veličine
40. Mehaničke i toplinske mjerne veličine
41. Mjerne veličine materijala

42. Elektrotehničke mjerne veličine
43. Sustavi za mjerenje
44. Sustavi za praćenje
45. Prikupljanje i obrada podataka
46. Statistička obrada rezultata mjerenja
47. Prikaz rezultata mjerenja
48. Mjerne trake za duljinu
49. Povlačno mjerilo
50. Mikrometar
51. Etaloni
52. Senzori daljine
53. Mjerenje mase
54. Mjerenje tlaka
55. Senzori tlaka
56. Mjerila temperature
57. Senzori temperature
58. Analizatori
59. Senzori kisika
60. Alarmi za nedopuštno visoku koncentraciju plina u zraku
61. Mjerenje čvrstoće materijala
62. Mjerenje tvrdoće materijala
63. Određivanje dinamičke čvrstoće materijala
64. Mjerni aparati
65. Ugradnja i povezivanje mjernih sustava
66. Atestiranje i puštanje u rad mjernih sustava
67. Održavanje mjernih sustava
68. Mjerenje akceleracije
69. Mjerilo potrošnje vode
70. Mjerenje trenutne potrošnje goriva
71. Mjerenje sumarne potrošnje goriva

*Izvodi*

## Provjera znanja

### Ishodi učenja:

Usvojiti veličine sustava – stanja, količine i procesi (definicije i primjeri:

1. sustava, 2. veličina: stanja, količina i promjena).

- (e) **Usvojiti temelje mjerenja veličina stanja, količina i promjena (definicija mjerenja, vrste, strukture i primjeri mjerenja).**
  - (f) **Umjeti odrediti uzrok mjerne pogreške (na temelju rezultata mjerenja odrediti uzrok – grube, sustavne i/ili slučajne pogreške).**  
Usvojiti temelje obrade i prikaza rezultata mjerenja (statistička obrada, tablice i dijagrami).
  - (g) **Umjeti skicirati blok shemu mjerenja s legendom (vrste mjernih elemenata i sustava; primjer blok sheme mjerenja).**
  - (h) **Umjeti na temelju zahtjeva odabrati opremu za mjerenja geometrijskih veličina (duljine i kutovi).**
  - (i) **Umjeti odabrati opremu za mjerenje veličina kinematike (vremena, brzine i ubrzanja).**
  - (j) **Umjeti odabrati opremu za mjerenje veličina statike i dinamike (mase, sile, rad i snaga).**  
Umjeti odabrati opremu za mjerenja veličina mehanike fluida (tlakovi, razine, brzine i protoci)  
Umjeti odabrati opremu za mjerenja toplinskih veličina (temperature, topline, specifične i latentne topine te reakcijske entalpije).  
Umjeti odrediti zahtjev za mjerenje veličina materijala (sastavi, čvrstoće, tvrdoće).
  - (k) **Umjeti izmjeriti električni napon, otpor i struju.**  
Usvojiti temelje ugradje i povezivanja elemenata mjernih sustava (primjer korištenja uputa za montažu).  
Usvojiti temelje pogona i održavanja mjernih sustava (primjer korištenja pogonskih uputa).
  - (l) **Umjeti opisati mjerenja sumarne potrošnje vode (opis slike vodomjera, skica i opis funkcioniranja).**  
Umjeti opisati mjerilo potrošnje plina (opis slike, skica i opis funkcioniranja).  
Umjeti opisati alarm za nedopuštno visoku koncentraciju plina u zraku (opis slike, skica i opis funkcioniranja).
- **Uvjet za konačne ocjene E (uz pomoć ispitivača) i D**
  - **Uvjet za konačnu ocjenu C**
  - Uvjet za konačnu ocjenu B
  - Uvjet za konačnu ocjenu A: diskusija o gradivo po detaljima tema

*Pitanja*

*Zadaci*





## Literatura

1. Bachman V.: Sizing Up Measurement – Activities for Grades K-2 Classrooms; Math Solutions, 2007.
2. Baker R. C.: Flow Measurement Handbook – Industrial Designs, Operating Principles, Performance, and Applications; Cambridge University Press, 2000.
3. Battikha N. E.: The Condensed Handbook of Measurement and Control, 3rd Edition; The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2007.
4. Boyes W.: Instrumentation Reference Book, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann, 2002.
5. Brandt S., Dahmen H. D.: Mechanik - Eine Einführung in Experiment und Theorie; Springer-Lehrbuch, 2005.
6. Beeby S., Ensell G., Kraft M., White N.: MEMS Mechanical Sensors; Artech House, 2004.
7. Childs P. R. N.: Practical Temperature Measurement; Butterworth-Heinemann, 2001.
8. Czichos H., Saito T., Smith L.: Springer Handbook of Materials Measurement Methods; Springer, 2006.
9. Dapkunas S. J.: Surface Engineering Measurement Standards for Inorganic Materials; National Institute of Standard and Technology, 2005.
10. Davis C. S.: Statistical Methods for the Analysis of Repeated Measurements; Springer 2002.
11. Demtröder W.: Experimentalphysik 1 – Mechanik und Wärme, 4. Auflage; Springer-Lehrbuch, 2006.
12. Demtröder W.: Experimentalphysik 1 – Mechanik und Wärme, 5. Auflage; Springer-Lehrbuch, 2008.
13. DIN – Deutsches Institut für Normung: *Klein Einführung in die DIN-Normen*, 14. Auflage; B.G.Teubner – Beuth, 2008.
14. Erdmann M.: Experimentalphysik 1 – Kraft, Energie, Bewegung - Physik Denken; Springer-Lehrbuch, 3642130801 2010.
15. Erdmann M.: Experimentalphysik 2 – Kollision, Gravitation, Bezugssysteme - Physik Denken; Springer-Lehrbuch, 2010.
16. Erdmann M.: Experimentalphysik 3: Schwingungen, Wellen, Körperdrehung – Physik Denken; Springer, 2010.

17. Gao W.: Precision Nanometrology – Sensors and Measuring Systems for Nanomanufacturing; Springer, 2010.
18. Godin B.: Measurement and Statistics on Science and Technology - 1920 to the Present; Routledge, 2005.
19. Hebra A. J.: The Physics of Metrology – All about Instruments – From Trundle Wheels to Atomic Clocks; Springer, 2010.
20. Hering E., Schröder B.: *Springer Ingenieurtabellen*; Springer, 2004
21. James K.: PC Interfacing and Data Acquisition – Techniques for Measurement, Instrumentation and Control; Newnes, 2000.
22. LearningExpress: 501 Measurement and Conversion Questions; LearningExpress, 2004.
23. Lerch R.: Elektrische Messtechnik – Analoge, digitale und computergestützte Verfahren, 3. Auflage; Springer, 2006.
24. Lipták B. G: Instrument Engineers' Handbook – Vol 1 Process Measurement and Analysis, 4th Edition; CRC, 1995.
25. Marek J., Trah H.-P., Suzuki Y., Yokomory I.: Sensors for Automotive Technology, Sensors Applications Volume 4; Wiley – VCH, 2003.
26. Morris A. S: Measurement and Instrumentation Principles, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann, 2001.
27. Mühl T.: Einführung in die elektrische Messtechnik – Grundlagen, Messverfahren, Geräte; Teubner, 2001.
28. Nawrocki W.: Measurement Systems And Sensors; Artech House, 2005.
29. Oberg E., Jones F.D., Horton H.L., Ryffel H.H.: *Machinery's Handbook 28<sup>th</sup> Edition*; Industrial Press, 2008
30. Parthier R.: Messtechnik - Grundlagen und Anwendungen der elektrischen Messtechnik für alle technischen Fachrichtungen und Wirtschaftsingenieure, 4th Edition; Vieweg & Sohn, 2008.
31. Placko D.: Fundamentals of Instrumentation and Measurement; ISTE, 2007.
32. Polak T. A., Pande C.: Engineering Measurements – Methods and Intrinsic Errors; Professional Engineering Publishing Limited, 1999.
33. Regtien P. P. L., van der Heijden F., Korsten M. J., Otthius W.: Measurement Science for Engineers; Elsevier Science & Technology, 2004.
34. Reif K.: Sensoren im Kraftfahrzeug – Bosch Fachinformation Automobil; Vieweg-Teubner, 2010.
35. Salkind N. J., Rasmussen K.: Encyclopedia of Measurement and Statistics, 2 Volume Set; Sage, 2007.
36. Shigley J.E., Mischke C.R.: *Standard handbook of machine design, 2<sup>nd</sup> Edition*; McGraw-Hill Professional, 1996.

37. Strothman J.: ISA Handbook of Measurement Equations and Tables, 2nd Edition; The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006.
38. Tumanski S.: Principles of Electrical Measurement; Taylor & Francis, 2006.
39. Webster J. G.: The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook on CD-ROM; CRC 1999.
40. Youden W. J.: Experimentation and Measurement (1962); National Institute of Standard and Technology, 1997.