

1. Uvod u mjernu tehniku

Rezultati različitih istraživanja omogućili su razvitak i napredak svih područja znanosti, industrije i općenito načina života čovječanstva. Temelj tog uspona su zaključci znanstvenika proizašli iz mjernih rezultata dobivenih tijekom istraživanja. Nadalje, i u primjeni tehničkih dostignuća važno je pratiti stanja različitih pojava, što se opet zasniva na mjerjenjima različitih fizikalnih veličina.

U fizikalnim pojavama koje su nastale u prirodi ili su prouzročene ljudskim djelovanjem, svojstva tvari opisana su različitim osobinama: duljinom, brzinom, temperaturom, masom, količinom elektriciteta, električnim naponom i dr. Svaka od tih osobina može biti više ili manje izražena i često ih je potrebno međusobno usporediti. Da bi se to moglo provesti i dobivena saznanja primijeniti u nekoj djelatnosti, potrebno je odrediti vrijednosti tih osobina. Zato možemo reći da je **fizikalna veličina** ona osobina tvari kojoj se eksperimentalno, tj. mjeranjem ili dogовором može odrediti vrijednost.

Iz povijesti...

Mjerena su vezana uz čovjekov rad, pa povijest mjerena započinje s poviješću ljudskoga roda. Zanimljivo je da postoje očuvani dokazi o visokoj razini mjerena u području riječa Eufrata i Tigrisa. Najstariji tragovi vode 6000 godina unatrag. Babilonci su bili prvi u povijesti čovječanstva s jedinstvenim sustavom mjera, te su čak imali posebne pramjere. Arheološka iskapanja omogućila su da se dođe do duljine pramjere izrađene prije oko 4000 godina. To je bakreni štap duljine 110,35 cm i mase 41,5 kg s ucrtanim zarezima.

Keopsova piramida građena je prije više od 4500 godina. Izvedena je sa stranicama kvadratne baze 230 m i visine 148 m. Najveće visinsko odstupanje između sjeverne i zapadne stranice iznosi 12 mm uzduž čitavog opsega od 920 m. Istočna i zapadna stranica razlikuju se u duljini 34 mm i imaju srednju vrijednost 230,374 m, a sjeverna i južna stranica razlikuju se za 201 mm uz srednju vrijednost 230,354 m! Ni do danas nije razjašnjeno kako su za ono vrijeme postignuti tako izuzetni rezultati, tim više što iz tog vremena nisu poznati nikakvi merni uređaji, ni instrumenti.

1.1. Definicije osnovnih pojmove o mjerenu

U mjerenoj se tehnici upotrebljava niz pojmove kojima se opisuju različite pojave, sredstva i postupci s kojima se susrećemo pri mjerenu. Važniji pojmovi su u nastavku navedeni i ukratko objašnjeni.

Mjerena veličina je fizikalna veličina kojoj mjerenu određujemo vrijednost.

Mjerene je skup djelovanja radi određivanja vrijednosti fizikalne veličine.

Električna mjerena su mjerena fizikalnih veličina koje nastaju uslijed djelovanja elektromagnetskih pojava. Te veličine su: jakost električne struje, količina elektriciteta, električni napon, električni otpor, električna snaga, električna energija, električni kapacitet, induktivitet i dr.

Mjerni instrument je naprava ili uređaj kojim se provodi postupak mjerena fizikalne veličine.

Električni mjerni instrument je naprava ili uređaj kojim se provodi postupak mjerena električne veličine.

Primjer:

Električni se otpor na otporniku može izmjeriti neposredno, primjenom omometra kad otpornik nije spojen u strujni krug ili posredno, mjerenu struje kroz otpornik ampermetrom i pada napona na krajevima otpornika voltmetrom, te proračunom prema Ohmovom zakonu gdje je $R = U/I$.

U mjerenoj tehnici služimo se **mjerilima** i **mjerama**.

Mjerilo je naprava ili instrument kojim provodimo mjerenu (npr. vaga i omometar).

Mjera je element koji utjelovljuje neku mjeru veličinu (npr. uteg).

Da bi mjerenu električnih veličina bilo uspješno, potrebno je poznavati načelo rada i karakteristike mjerne instrumenata i mjerne metode koje je potrebno provesti tijekom mjerennog postupka.

Neke neelektrične veličine mjeri se tako da se najprije pretvore u električne. To se izvodi mjernim pretvornicima neelektričnih veličina u električne. Svaka neelektrična veličina koja se mjeri na taj način posebnim se pretvornikom pretvori u istosmjerni napon, te se dalje mjeri preciznim istosmjernim voltmetrom. Taj voltmeter može biti poseban dio mjerennog kruga ili je ugrađen u mjeru instrument koji mjeri neelektričnu veličinu.

Ovisno o odabranoj mjernoj metodi, u mjernom se postupku do mjernog rezultata može doći tako da ga jednostavno očitamo s instrumenta ili da ga izračunamo iz drugih izmjerениh veličina.

Mjerna jedinica je dogovorena jedinična količina fizikalne veličine s kojom se uspoređuje mjerna veličina kako bi se saznala njezina vrijednost. Možemo je definirati kao dogovorom prihvaćenu posebnu veličinu koja služi za kvantitativno iskazivanje veličina iste dimenzije.

Mjerna metoda je način kojim se u postupku mjerjenja dolazi do vrijednosti mjerne veličine. Možemo je definirati kao logički općenito opisan slijed djelovanja, koji se rabi za provedbu mjerjenja.

Mjerne metode, a time i **mjerni postupci** mogu biti **neposredni** (izravni, direktni) i **posredni** (neizravni, indirektni).

U **neposrednom** mjernom postupku **mjerni se rezultat dobiva očitavanjem** pokazivanja instrumenta kojim se provodi mjerjenje.

U **posrednom** mjernom postupku **mjerni se rezultat dobiva računom** iz dviju ili više izmjerениh veličina.

Mjerni rezultat je brojčana vrijednost koja opisuje koliko je puta mjerena veličina veća ili manja od mjerne jedinice.

Mjerni rezultat = brojčani iznos . mjerna jedinica.

Oznake mjernih, tj. fizikalnih veličina i mernih jedinica sastoje se od kombinacija slova i simbola koji često potječu od početnih slova njihovih naziva, te su utvrđene normama. Može se dogoditi da neka fizikalna veličina ima istu oznaku kao naziv neke mjerne jedinice koja najčešće nema nikakvu vezu s navedenom fizikalnom veličinom (pogledati primjere sa strane). Oznaka mjerne jedinice mora biti razmaknuta za mjesto jednog znaka od njezine brojčane vrijednosti (primjer: 4 A, 2 m, 13,2 V).

Primjeri istih oznaka fizikalnih veličina i mernih jedinica:

- F – oznaka za fizikalnu jedinicu sila
- F – oznaka za farad, mernu jedinicu kapaciteta
- W – oznaka za fizikalnu jedinicu energije, rad
- W – oznaka za vat, mernu jedinicu snage

Iz povijesti...

Dogovor o metru

Sredinom 19. stoljeća, posebno tijekom Prve svjetske izložbe u Londonu 1851. godine, pokazala se potreba za univerzalnim desetičnim metričkim sustavom. 1875. godine u Parizu održana je konferencija na kojoj je 17 vlasti potpisalo sporazum, tzv.

Dogovor o metru. Potpisnici su osnovali i nastavili financirati znanstvenu ustanovu Međunarodni ured za utege i mjeru (francuski *Bureau International des Poids et Mesures, BIPM*) u Sèvresu kraj Pariza sa zadaćom osiguranja jedinstvenosti mjerjenja širom svijeta te sljedivosti prema Međunarodnom sustavu jedinica (SI). Danas *Dogovor o metru* ima 51 država članica.

Iz povijesti...**Blaise Pascal**

Francuski fizičar (1623.–1662.), izumio je prvi računski stroj u povijesti, koji je mogao obavljati četiri osnovne računske operacije, bavio se i teorijom vjerojatnosti. Objavio je niz radova o prenošenju tlaka kroz tekućine.

**Isaac Newton**

Engleski fizičar (1642.–1727.), najpoznatiji je po svojoj teoriji djelovanja gravitacije. Pronašao je formula koja je opisivala kolikom se silom privlače neka dva tijela. Svoju matematičku teoriju objasnio je utjecajima Sunca, Mjeseca i Zemlje. Sva svoja velika otkrića smjestio je unutar 18 mjeseci, između 1665. i 1667. godine, ali svoj rad na teoriji djelovanja gravitacije nije objavio sve do 1687. godine. Knjiga se zvala *The Principia* i mnogi je smatraju najvećom znanstvenom knjigom ikada napisanom.

1.2. Mjerne jedinice

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 niz HRN ISO 31), sve slijedom međunarodnih dogovora temeljenih na **Dogovoru o metru** iz 1875. god. Zakonite se jedinice razvrstavaju u sljedeće skupine:

1.

Jedinice Međunarodnog sustava, tzv. jedinice SI:

- osnovne;
- izvedene bez posebnih naziva i znakova;
- izvedene s posebnim nazivima i znakovima;
- iznimno dopuštene jedinice izvan SI.

2.

Decimalne jedinice (tvore se pomoću decimalnih predmetaka)

- od jedinica SI, izuzev Celzijeva stupnja i kilograma (vidi točku 1.);
- od sljedećih iznimno dopuštenih jedinica izvan SI: litra, teks, bar, elektronvolt i var (vidi točku 2.).

3.

Složene izvedene jedinice.

- od izvedenih i osnovnih SI jedinica (npr. V/m, $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ i dr.)

Popisi su jedinica prilagođeni posljednjem (sedmom) izdanju *Le Système international d' unités* (SI). *Organization intergouvernementale de la Convention du Metre – Bureau international des poids et mesures*, Sevres 1998., prema kojem će se usklađivati norme i državni zakoni o mjernim jedinicama, pa tako i hrvatski **Zakon o mjernim jedinicama**. Takve su jedinice popraćene bilješkama ispod tablica.

1.2.1. Osnovne fizikalne jedinice SI

Međunarodni sustav jedinica čini sedam osnovnih fizikalnih jedinica.

To su:

metar, kilogram, sekunda, amper, kelvin, mol, kandela.

Definicija osnovnih jedinica SI:

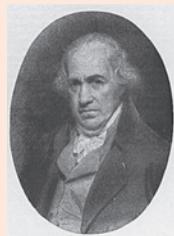
- 1.** Jedinica duljine metar (**m**) je dužina puta koju u vakumu prijeđe svjetlost u trajanju $1/299\ 792\ 458$ sekunde. Definicija je usvojena na 17. Općoj konferenciji za utege i mjere 1983. godine.
- 2.** Jedinica mase kilogram (**kg**) je masa međunarodne pramjere mase, koja je izrađena u obliku valjka iz slitine platine i iridijskog željeza i koji je odredila 1. generalna konferencija za utege i mjere godine 1889. u Parizu. Pramjera se čuva u Međunarodnom uredru za utege u Sevresu kod Pariza.
- 3.** Jedinica vremena sekunda (**s**) je trajanje $9\ 192\ 631\ 770$ perioda zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfinih razina osnovnog stanja atoma cezija 133. Definicija je usvojena na 13. općoj konferenciji za utege i mjere 1967. godine.
- 4.** Jedinica jakosti električne struje amper (**A**) je jakost istosmjerne električne struje koja u vakumu između dvaju ravних i metar udaljenih beskonačno dugih usporednih vodiča zanećemo malog kružnog presjeka prouzroči silu od $2 \cdot 10^{-7}$ N po metru duljine vodiča.
- 5.** Jedinica termodinamičke temperature, kelvin (**K**) definira se kao $273,16$ -ti dio temperature trojne točke vode.
- 6.** Jedinica količine tvari, mol (**mol**) predstavlja količinu tvari onog sustava koji sadrži broj jedinki koliko se nalazi atoma u 12 grama ugljika C₁₂ (taj broj jedinki jednak je **Avogadrovom broju** N_A = $6,022 \cdot 10^{23}$).

Iz povijesti...



Charles Augustin Coulomb

Francuski fizičar (1736.–1806.), za vrijeme Napoleonove vlasti generalni inspektor obrazovanja. Bavio se istraživanjem na polju statičkog elektriciteta, trenja i torzije.



James Watt

Škotski fizičar (1736.–1819.), slavan je po usavršavanju parnog stroja. Nakon utvrđivanja i uzimanja u obzir svojstava pare, Watt je dizajnirao posebnu odvojenu komoru za parni stroj koja je sprečavala ogromne gubitke pare u cilindru i unaprjedio zračne uvjete.

Iz povijesti...

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta

Talijanski fizičar (1745.–1827.) izumio je galvanski članak, prvu električnu bateriju. 1775. g. izumio je elektrofor, uređaj koji se trljanjem napunio i mogao je prenositi električni naboj na druge objekte. Kada je objavljen Luigi Galvaniev pokus sa životinjskom strujom, Volta je počeo s pokusima koji su ga doveli do spoznaje da životinjsko tkivo nije potrebno za vođenje elektriciteta. Dokaz te teorije bila je baterija, koju je izumio 1800. g.



André-Marie Ampère

Francuski fizičar (1775.–1863.) koji je otkrio da vodič protjecan istosmjernom strujom oko sebe stvara magnetsko polje, te da se paralelni vodiči, kroz koje protiču dvije struje istog smjera privlače, dok se isti prilikom protoka struje suprotog smjera odbijaju, silom razmjernom jačini struje i obrnutu razmjerom razmaku između žica. Proučavao je također načelo mjerjenja jakosti struje, a na temelju njegovih istraživanja kasnije je razvijen instrument sa zakretnom svitkom.

7.

Jedinica svjetlosne jakosti, kandela (**cd**), predstavlja onu svjetlosnu jakost zračenja izvora jednobojnog svjetla frekvencije $540 \cdot 10^{12}$ Hz koja u danom smjeru iznosi $1/683$ W/sr (vata po steradijanu – steradijan je jedinica za ugao, tj. prostorni kut).

Osnovne jedinice SI prikazane su u tablici:

Naziv fizikalne veličine	Simbol fizikalne veličine	Naziv mjerne jedinice	Znak mjerne jedinice
duljina	<i>l</i>	metar	m
masa	<i>m</i>	kilogram ¹⁾	kg
vrijeme	<i>t</i>	sekunda	s
jakost električne struje	<i>I</i>	amper	A
termodinamička temperatura	<i>T</i>	kelvin	K
množina (količina) tvari	<i>n</i>	mol	mol
svjetlosna jakost	<i>I</i>	kandela	cd

¹⁾ Decimalne jedinice za masu ne tvore se od kilograma, nego od grama.

1.2.2. Izvedene jedinice SI

Izvedene SI jedinice nastale su množenjem i dijeljenjem osnovnih SI jedinica. Neke od njih izražavaju se samo kao količnik ili umnožak osnovnih SI jedinica, a neke su dobine posebne nazive i zovemo ih **imenovane izvedene SI jedinice**.

Neke od izvedenih SI jedinica bez posebnih naziva i znakova prikazane su u tablici

Naziv fizikalne veličine	Simbol fizikalne veličine	Naziv mjerne jedinice	Znak mjerne jedinice
plošina, oplošje	P, O	četvorni metar	m^2
obujam	V	kubni metar	m^3
valni broj	λ	recipročni metar	$1/m, m^{-1}$
brzina	v	metar u sekundi	m/s
ubrzanje	a	metar u sekundi na kvadrat	m/s^2
obujamni protok	Q_v	kubni metar u sekundi	m^3/s
gustoća	ρ	kilogram po kubnom metru	kg/m^3
energijski tijek	ψ	džul po četvornom metru	J/m^2
specifična energija	e	džul po kilogramu	J/kg
specifični toplinski kapacitet	c	džul po kilogramkelvinu	$J/(kgK)$
svjetljivost	L	kandela po četvornom metru	cd/m^2
množinska koncentracija	c	mol po kubnom metru	mol/m^3

Mjerne jedinice koje su do bile posebne nazive, imenovane su uglavnom prema prezimenima znanstvenika koji su proučavali fizikalne pojave, povezali ih s fizikalnim veličinama koje predstavljaju, te ih definirali, tj. odredili im jediničnu vrijednost. U fizici i elektrotehnici često se primjenjuju: **J, N, W, T** i dr.

Iz povijesti...



Georg Simon Ohm

Njemački fizičar (1787.–1854.) velik dio života radio je kao učitelj matematike i fizike, a tek 1849. je postao sveučilišni profesor u Münchenu, što je značilo priznavanje njegova znanstvenog rada na području elektriciteta. Otkrio je da je jačina struje kroz jednu metalnu žicu razmjerna priključenom naponu i obrnuto razmjerna unutrašnjem otporu žice. Spomenuta je relacija objavljena je 1826. g. i od tada ostaje poznata kao **Omovo zakon**. Jedan ohm je opor bakrene žice poprečnog presjeka 1 mm^2 i duljine oko 60 m.



Michael Faraday

Engleski znanstvenik (fizičar i kemičar) (1791.–1867.) koji je zaslužan za mnoga otkrića na području elektromagnetizma i elektrokemije. Na osnovu dotadašnjih saznanja bio je duboko uvjeren u jedinstvenu prirodu električnih i magnetnih pojava. Pokazao je da se u zavojnici inducira struja kada joj se približava ili udaljava druga zavojnica protjecana strujom. Konstruirao je električni dinamo, preteču modernog generatora. Bavio se i kemijom, a tu je otkrio nove tvari, oksidacijske brojeve i način kako plinove pretvoriti u tekućinu. Proučavao je elektrolizu. Dokazao je vezu između magnetizma i svjetlosti.

Iz povijesti...**Joseph Henry**

Američki fizičar (1797.–1878.), profesor na Princetonu (od 1832). bavio se elektricitetom. Konstruirao je jake magnete, otkrio pojavu samoindukcije (1830, samo godinu prije M. Faradeya), konstruirao elektromotor (1829), telegraf (1831) i otkrio da se električna struja na jednom određenom odstojanju može inducirati (uz pomoć npr. radio valova). Nikad nije patentirao svoje izume.

**Wilhelm Eduard
Weber**

Njemački fizičar (1804.–1891.), bavio se elektricitetom i magnetizmom. U suradnji s matematičarom Karлом Gaussom izradio je osjetljive magnetometre za mjerjenje magnetskih polja, instrumente za mjerjenje istosmjerne i izmjenične struje, te električni telegraf.

Evo nekih njihovih definicija:

Jedinica sile, **njutn** (*newton*) (N), složena je od osnovnih jedinica **m**, **kg** i **s**. Definirana je silom koja masi 1 kg daje ubrzanje 1 m/s^2 . Ime je dobila po engleskom znanstveniku sir Isaacu Newtonu (1642.–1727.).

Jedinica energije, odnosno rada, **džul** (*joule*) (J), složena od osnovnih jedinica **m**, **kg** i **s**, predstavlja rad koji obavi hvatište jedinične sile 1 N pri pomaku za duljinu od 1 m u smjeru te sile. Ime je dobila po engleskom fizičaru Jamesu Prescottu Jouleu (1818.–1889.).

Jedinica snage, **vat** (*watt*) (W), složena je od osnovnih jedinica **m**, **kg** i **s**. Ime je dobila u čast škotskog inženjera Jamesa Watta (1736.–1819.).

Jedinica tlaka, **paskal** (*pascal*) (Pa), složena je od osnovnih jedinica **m**, **kg** i **s**. Definirana je tlakom što ga proizvodi jednoliko raspoređena sila 1 N koja okomito tlači ravnu plohu površine 1 m^2 . Ime je dobila po francuskom matematičaru, fizičaru i filozofu Blaiseu Pascalu (1623.–1662.).

Jedinica električnog naboja, **kulon** (*coulomb*) (C), složena od osnovnih jedinica **A** i **s**, predstavlja količinu elektriciteta koja pri stalnoj električnoj struci od 1 A proteče tijekom 1 s. Ime je dobila po francuskom fizičaru Charles-Augustinu de Coulombu (1736.–1806.).

Jedinica električnog napona, odnosno razlike potencijala, **volt** (V), složena od osnovnih jedinica **A**, **m**, **kg** i **s**, potencijalna je razlika između dviju točaka žičanog vodiča kroz koji protječe istosmjerna struja jakosti 1 A ako se u žici između tih točaka troši snaga 1 W. Ime je dobila u čast talijanskog fizičara Alessandra Giuseppea Antonia Anastasia Volte (1745.–1827.).

Jedinica električnog otpora, **om** (*ohm*) (Ω), složena od osnovnih jedinica **A**, **m**, **kg** i **s**, je električni otpor između dviju točaka vodiča, kada razlika potencijala od 1 V potjera između njih struju od 1 A, uz uvjet da sam vodič nije nosilac nikakvog vlastitog napona (npr. termoelektričnog). Ime je dobila po njemačkom fizičaru Georgu Simonu Ohmu (1789.–1854.).

Jedinica **simens** (*siemens*) (S) izvedena je jedinica električne vodljivosti vodiča, složena od osnovnih jedinica **A**, **m**, **kg** i **s**. Predstavlja vodič u kojem struja od 1 A proizvodi potencijalnu električnu razliku

od 1 V. Ime je dobila po njemačkom znanstveniku Ernstu Werneru von Siemensu (1816.–1892.).

Jedinica električnog kapaciteta, **farad** (F), složena od osnovnih jedinica **A, m, kg i s**, predstavlja kapacitet električnog kondenzatora u kojem se između elektroda pojavi napon 1 V ako ga nabijemo jedinicom električnog naboja 1 C. Ime je dobila u čast britanskog znanstvenika Michaela Faradaya (1791.–1867.).

Jedinica magnetskog toka, **veber** (weber) (Wb), složena od osnovnih jedinica **A, m, kg i s** magnetski je tok koji u strujnom krugu s jednim zavojem inducira napon 1 V, ako ga u 1 s linearno snizimo na nulu. Ime je dobila u čast njemačkog znanstvenika Wilhelma Eduarda Webara (1804.–1891.).

Jedinica induktiviteta, **henri** (henry) (H), složena od osnovnih jedinica **A, m, kg i s**, predstavlja induktivitet zatvorenog strujnog kruga u kojem se inducira napon od 1 V ako se električna struja u njemu linearno promjeni za 1 A u 1 s. Ime je dobila u čast američkog fizičara Josepha Henryja (1797.–1878.).

Jedinica gustoće magnetskog toka, **tesla** (T), složena od osnovnih jedinica **A, m, kg i s** definirana je kao magnetski tijek od 1 Wb po četvornom metru. Nazvana je u čast hrvatskog znanstvenika Nikole Tesle (1857.–1943.).

Jedinica frekvencije, **herc** (hertz) (Hz), definirana je brojem perioda u 1 s. Ime je dobila u čast njemačkog znanstvenika Heinricha Rudolfa Hertza (1857.–1894.).

Lumen (lm) je izvedena SI jedinica svjetlosnog toka. Definiran je svjetlosnim tokom što ga u ugao (prostorni kut) jednog steradijana odašilje točasti izvor svjetlosti kojem je svjetlosna jakost u svim smjerovima 1 cd.

Luks (lx) je izvedena SI jedinica osvjetljenja. Definiran je kao osvjetljenje plohe kojoj na svaki četvorni metar površine dolazi jednoliko raspoređen svjetlosni tok 1 lm.

U tablici je prikazan pregled navedenih imenovanih izvedenih SI jedinica i njihova veza s osnovnim jedinicama:

Iz povijesti...



Ernst Werner von Siemens

Njemački inženjer elektrotehnike (1816.–1892.), koji odigrao je važnu ulogu u usavršavanju telegrafske industrije. Telegraf s kazaljkom usavršio je 1847., a 1849. godine podigao je prvu dulju telegrafsku liniju u Evropi. 1866. godine izumio je samouzbudni generator istosmjerne struje. Još 1847., s partnerom Johannom Georgom Halskeom osnovao je poduzeće Siemens-Halske koje se razvilo u veliki svjetski elektrotehnički koncern.



James Prescott Joule

Engleski fizičar (1818.–1889.) koji je utemeljio Prvi zakon termodinamike - Zakon o očuvanju energije. Zaključio je da su različiti oblici energije (mehanička, električka, toplina) u biti isti i samo mijenjaju oblike iz jednog u drugi. 1843. godine objavio je svoju jedinicu za količinu rada potrebnog za proizvodnju jedinice topline, nazvanu mehaničkim ekvivalentom topline. Koristio je četiri točne metode za određivanje te veličine. Koristeći razne materijale, utvrdio je da je toplina oblik energije povezan s materijalom koji je grijan. 1852. su Joule i William Thompson (kasnije Lord Kelvin) otkrili da se izoliranom plinu s povećavanjem volumena smanjuje temperatura. Taj efekt je u toku 19. stoljeća zauzeo važno mjesto u rashladnoj industriji.

UVOD U MJERNU TEHNIKU

Naziv fizičke veličine	Simbol fizičke veličine	Naziv mjerne jedinice	Znak mjerne jedinice	Izvod osnovnih fizičkih veličina SI	Izvod složene mjerne jedinice iz osnovnih SI jedinica
sila	F	njutn (newton)	N	$F = m \cdot a$	$N = kg \cdot \frac{m}{s^2} = \frac{kg \cdot m}{s^2}$
energija, rad, toplina	W	džul (joule)	J	$W = F \cdot s$	$J = N \cdot m = \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot m = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
snaga	P	vat (watt)	W	$P = \frac{W}{t}$	$W = \frac{J}{s} = \frac{\frac{kg \cdot m^2}{s^2}}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3}$
tlak	p	paskal (pascal)	Pa	$p = \frac{F}{S}$	$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{\frac{kg \cdot m}{s^2}}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}$
električni naboj	Q	kulon (coulomb)	C	$Q = I \cdot t$	$C = A \cdot s = As$
električni napon	U	volt	V	$U = \frac{P}{I}$	$V = \frac{W}{A} = \frac{\frac{kg \cdot m^2}{s^3}}{A} = \frac{kg \cdot m^2}{A \cdot s^3}$
električni otpor	R	om (ohm)	Ω	$R = \frac{U}{I}$	$\Omega = \frac{V}{A} = \frac{\frac{kg \cdot m^2}{A \cdot s^3}}{A} = \frac{kg \cdot m^2}{A^2 \cdot s^3}$
električna vodljivost	G	simens (siemens)	S	$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}$	$S = \frac{A}{V} = \frac{A}{\frac{kg \cdot m^2}{A \cdot s^3}} = \frac{A^2 \cdot s^3}{kg \cdot m^2}$
električni kapacitet	C	farad	F	$C = \frac{Q}{U}$	$F = \frac{C}{V} = \frac{A \cdot s}{\frac{kg \cdot m^2}{A \cdot s^3}} = \frac{A^2 \cdot s^4}{kg \cdot m^2}$
magnetski tok	Φ	veber (weber)	Wb	$\phi = U \cdot t$	$Wb = V \cdot s = \frac{kg \cdot m^2}{A \cdot s^3} \cdot s = \frac{kg \cdot m^2}{A \cdot s^2}$
induktivitet	L	henri (henry)	H	$L = \frac{\phi}{I}$	$H = \frac{Wb}{A} = \frac{\frac{kg \cdot m^2}{A \cdot s^2}}{A} = \frac{kg \cdot m^2}{A^2 \cdot s^2}$
magnetska indukcija	B	tesla	T	$B = \frac{\phi}{S}$	$T = \frac{Wb}{m^2} = \frac{\frac{kg \cdot m^2}{A \cdot s^2}}{m^2} = \frac{kg}{A \cdot s^2}$
frekvencija	f	herc (hertz)	Hz	$f = \frac{1}{T}$	$Hz = \frac{1}{s}$
svjetlosni tok	Φ	lumen	lm	$\Phi = J \cdot \phi$	$lm = cd \cdot sr$
osvjetljenje	E	luks	lx	$E = \frac{\Phi}{S}$	$lx = \frac{lm}{m^2} = \frac{cd \cdot sr}{m^2}$

1.2.3. Iznimno dopuštene jedinice izvan SI

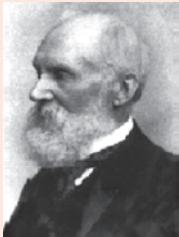
U mjernej tehnici dopuštene su neke jedinice s posebnim nazivima i znakovima koje se ne nalaze unutar SI, ali su vrlo česte u uporabi i udomaćile su se u svakodnevnom životu. Neke od njih prikazane su u tablici:

Naziv	Znak	Veza s jedinicama SI	Veličina	Uporaba za
sekunda	1"		kut	
minuta	1'			
stupanj	1°			
morska milja		1 852 m	duljina	pomorski, riječni i zračni promet
astronomска jedinica	ua	$\approx 1,495\ 979 \cdot 10^{11}$ m		astronomiju
ar	a	100 m ²	ploščina	
hektar	ha	10 000 m ²		površinu zemljišta
litra	l, L	10^{-3} m ³ = dm ³	obujam	tekućine
atomska jedinica mase	u	$\approx 1,660\ 539 \cdot 10^{-27}$ kg	masa	fiziku i kemiju
karat		$2 \cdot 10^{-4}$ kg		masu dragulja
gram	g	10^{-3} kg		
tona	t	10^3 kg		
minuta	min	60 s	vrijeme	
sat	h	3 600 s		
dan	d	86 400 s		
čvor		$\approx 0,514$ m/s ¹⁾	brzina	pomorski i zračni promet
teks	tex	10^{-6} kg/m	duljinska masa	tekstilna vlakna i konac
bar	bar	10^5 Pa		
milimetar živina stupca	mmHg	133,322 Pa	tlak	izražavanje tlaka tjelesnih tekućina
elektronvolt	eV	$\approx 1,602\ 177 \cdot 10^{-19}$ J	energija	posebna područja
var	var	1 W	snaga	reaktivnu (jalovu) snagu izmjenične električne struje

¹⁾čvor predstavlja brzinu od jedne morske milje na sat

Decimalne jedinice tvore se samo od sljedećih iznimno dopuštenih jedinica:

litra, gram, teks, bar, elektronvolt i var.

Iz povijesti...**William Thomson**

Engleski fizičar (1824.–1907.), 1892. dobija plemićku titulu i ime **Lord Kelvin** od Larga (of Largs). Radio je kao profesor u Glasgowu, i bavio se termodynamikom. 1848. godine izumio je Kelvinovu ljestvicu, koja se od Celzijusove razlikuje u tome što počinje od "apsolutne nule", najniže moguće temperature (nemoguće ju je izmjeriti). Izumio je i mjerni most za mjerenje malih otpora (Thomsonov most).

**Heinrich Rudolf Hertz**

Njemački fizičar (1857.–1894.), prvi je 1888. dokazao postojanje elektromagnetskih radijacija napravivši aparaturu koja je proizvodila radio valove. Otkrio je i fotoelektrični efekt.

1.3. Predmeci za tvorbu decimalnih jedinica

Navedene jedinice često su za praktičnu primjenu prevelike ili premale. Tako se, npr., u praktičnom životu vrlo rijetko upotrebljava jedinica farad, jer je prevelika. Natpisni podaci na kondenzatorima često su u nanofaradima i pikofaradima. Pri prijenosu električne energije vat je premalena jedinica, pa govorimo o kilovatima i megavatima, a kod visokih napona spominju se kilovolti.

Za tvorbu većih ili manjih jedinica mjerne se jedinice množе decimalnim predmetkom. Predmeci koji su izraženi kao pozitivne potencije baze 10, uvećavaju mјernu jedinicu i predstavljaju decimalne množitelje navedene jedinice, oni koji su izraženi kao negativne potencije baze 10, umanjuju mјernu jedinicu i zapravo predstavljaju decimalne djelitelje te jedinice. Svi predmeci imaju svoje nazine i znakove, prema čemu su uvjek brzo prepoznatljivi.

Predmeci za tvorbu uvećanih decimalnih jedinica prikazani su u tablici:

Predmetak	Znak	Vrijednost
deka	da	10
hekto	h	10^2
kilo	k	10^3
mega	M	10^6
giga	G	10^9
tera	T	10^{12}
peta	P	10^{15}
eksa	E	10^{18}
zeta	Z	10^{21}
jota	Y	10^{24}

Predmeci za tvorbu umanjenih decimalnih jedinica prikazani su u tablici:

Predmetak	Znak	Vrijednost
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
mikro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
piko	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
ato	a	10^{-18}
zepto	z	10^{-21}
jokto	y	10^{-24}

Niže je navedeno par često primjenjivanih jedinica:

- $\text{k}\Omega, \text{M}\Omega$ – električni otpor
- $\mu\text{A}, \text{mA}$ – jakost električne struje
- mV, kV – električni napon
- itd...

1.4. Mjerne pogreške i iskazivanje mernog rezultata

Cilj mjerena je što točnije odrediti vrijednost veličine koju mjerimo. Izmjerena vrijednost praktički nikada nije prava vrijednost, kojoj u praksi težimo, već od nje odstupa u većoj ili manjoj mjeri. Iznos odstupanja ovisi o primjenjenoj mernoj metodi, o točnosti mjerne opreme koja nam je na raspolaganju i o stručnosti samog mjeritelja, tj. osobe koja provodi mjerjenje i obrađuje mjerne rezultate.

U mjeriteljstvu se pod **pravom vrijednošću** kod mjerila najčešće podrazumijeva dogovorna prava vrijednost. To je ona vrijednost mjerene veličine koja je dobivena najtočnijim dostupnim mernim postupkom ili računskim putem. Kod mjera se prava vrijednost utvrđuje mjerjenjem jer se često razlikuje od vrijednosti naznačene na samoj mjeri.

Izmjerena vrijednost je **vrijednost mjerene veličine koju smo dobili mjerenjem**. Izbor mjerne metode, mjerne opreme i pažljivost pri radu mjeritelja može je više ili manje približiti njezinoj pravoj vrijednosti.

Mjerna pogreška je **odstupanje izmjerенog rezultata od prave vrijednosti mjerene veličine**.

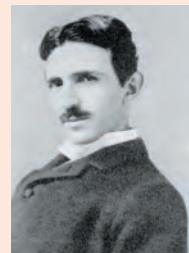
1.4.1. Grube, sustavne i slučajne mjerne pogreške

Prema uzroku nastajanja mjerne se pogreške mogu podijeliti na **grube, sustavne i slučajne**. Te pogreške dio su svakodnevnog posla mjeritelja i važno je znati ih prepoznati, izbjegći ili umanjiti njihov utjecaj na merni rezultat. One izravno utječu na kakvoću mernog rezultata, a time i na kakvoću one djelatnosti u kojoj taj rezultat treba biti ispravno protumačen i primijenjen.

Grube pogreške nastaju nepažnjom mjeritelja, primjenom neodgovarajuće mjerne opreme ili neprimjerene mjerne metode (uporaba neispravnog instrumenta, očitavanje na pogrešnoj ljestvici, pogrešno merno područje i sl.). One merni rezultat čine neispravnim, a nakon njihovog nastajanja mjerjenje treba ponoviti na ispravan način.

Sustavne pogreške nastaju zbog niza malih, predvidljivih promjena koje se događaju u mernom objektu, okolini ili mjeritelju, a poznate su i moguće je uzeti u obzir njihov utjecaj na merni rezultat. Uvijek su istog

Iz povijesti...



Nikola Tesla

Pronalazač, elektrotehničar i fizičar Nikola Tesla (1856.–1943.), rođen u Hrvatskoj, zaslужan je za uvođenje izmjenične struje u široku uporabu. Ostvario je mnogo pronalazaka i patenata. Već kao mlad znanstvenik izumio je rotaciono magnetsko polje i induksijski motor koji pokreću višefazne izmjenične struje, visokonaponski transformator za prijenos električne energije na daljinu, te niskonaponski transformator.

1884. godine odlazi u Sjedinjene Države, postaje američki državljanin i nastavlja s radom. Izumio je generator i transformator za struje visoke frekvencije, sustav za bežično upravljanje i davanje znakova na daljinu. Pronašao je novi sustav osvjetljenja (lučne žarulje), napravio niz izuma iz područja radio-tehnike (1943. godine priznat mu je i patent za radio), vakuumsku fotografsku cijev, bežičan prijenos električne energije, izložio ideju o međuplanetarnim telekomunikacijama s pomoću ultrakratkih valova, a zamislio je u cijelini radarski sustav. Objavljivao je radove iz fizike u kojima je iznosio originalne ideje koje su se kasnije ostvarile.

predznaka i poznatog iznosa. Njihovo se djelovanje smanjuje tako da se mernom rezultatu dodaje ispravak ili korekcija.

Ispravak I je po vrijednosti jednak poznatoj pogrešci, ali je suprotna predznaka:

$$I = -p_a \quad (1)$$

Ispravljeni rezultat X_i je zbroj izmjerene (očitane) vrijednosti X_{mj} i ispravka I :

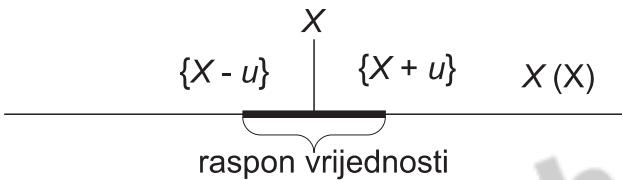
$$X_i = X_{mj} + I \quad (2)$$

Slučajne pogreške nastaju zbog niza malih, neizbjegnih i neobuhvatnih promjena u mernom objektu, okolini ili mjeritelju (promjena temperature u laboratoriju, utjecaj magnetskog polja ako se laboratorij nalazi u blizini tramvajske pruge i sl.). Zbog njih dolazi do rasipanja mernih rezultata pri uzastopno ponovljenim mjerjenjima. Mjerni rezultat čine nesigurnim.

Mjerna nesigurnost

Mjerna nesigurnost računa se primjenom statističkih metoda, a može se definirati kao procjena širine raspona oko izmjerene vrijednosti u kojem očekujemo da se s nekom vjerojatnošću nalazi prava vrijednost mjerene veličine. Ona brojčano iskazuje kakvoču mernog rezultata.

Mjerna se nesigurnost označava oznakom u i iskazuje se jedinicom mjerene veličine.



Što je mjerna nesigurnost manja, mjerni je rezultat veće kakvoće.

Da bi se smanjio utjecaj sustavnih i slučajnih pogrešaka na mjerne rezultate, na istom se uzorku pod jednakim uvjetima provodi više uzastopnih istovrsnih mjerjenja i određuje se aritmetička sredina. Na primjer, mjerjenje se može ponavljati ili s više različitih instrumenata u potpuno istim električkim uvjetima ili istim instrumentom na različitim naponima na istom mernom objektu. Rezultate svih mjerjenja zbrojimo i podijelimo brojem mjerjenja da bismo dobili **aritmetičku sredinu** kao konačnu

$$\text{vrijednost mjerena: } X_{\text{mj}} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} , \quad (3)$$

gdje je n broj provedenih mjerena, a $X_1 \dots X_n$ pojedinačni mjerni rezultati.

Primjer 1:

Otporniku nazivne vrijednosti $R_n = 100 \Omega \pm 10\%$ digitalnim je omotom pet puta uzastopce provjeravan otpor.

Dobiveni su sljedeći mjerni rezultati:

$$R_1 = 100,15 \Omega; R_2 = 100,22 \Omega; R_3 = 100,17 \Omega;$$

$$R_4 = 99,97 \Omega; R_5 = 100,11 \Omega;$$

Kolika je aritmetička sredina, odnosno konačna vrijednost mjerena?

Rješenje: Aritmetička sredina, odnosno konačna vrijednost mjerena iznosi:

$$\begin{aligned} R_{\text{mj}} &= \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5}{5} = \\ &= \frac{100,15 + 100,22 + 100,17 + 99,97 + 100,11}{5} = 100,124 \Omega \end{aligned}$$

1.4.2. Iskazivanje mjernog rezultata

Cjelovit mjerni rezultat sastoji se od izmjerene vrijednosti (najbolje procjene mjerene veličine) X , mjerne nesigurnosti u i mjerne jedinice X .

Primjenjuje se u raznim područjima ljudske djelatnosti: znanosti, zakonskom mjeriteljstvu, industriji, gospodarstvu, zdravstvu i trgovini. No da bi mjerni rezultat bio koristan i razumljiv onima koji ga trebaju dalje primijeniti, njegovo iskazivanje treba **prilagoditi namjeni**.

Mjerni se rezultat ne iskazuje jednako u znanstvenim radovima i izveštima svakodnevnih rutinskih mjerena. Zato se mjerni rezultati mogu iskazati u tri razine: **visoka razina** (V), **srednja razina** (S) i **niska razina** (N).

Visoka razina se primjenjuje u znanstvenim radovima, dokumentima vrhunskog mjeriteljstva i sl. Mjerni rezultat treba sadržavati sve važne podatke koji omogućuju uporabu, provjeru i ponovno postizanje navedenog rezultata i njegove mjerne nesigurnosti.

Primjer 2:

Ako je otporniku izmjerен otpor $R = 100 \Omega$ uz procijenjenu mjernu nesigurnost $u = 0,04 \Omega$, prava se vrijednost mjerne veličine nalazi u rasponu od $99,96 \Omega$ do $100,04 \Omega$.

Srednja razina se primjenjuje u stručnim radovima, izvješćima industrijskih laboratorijskih i sl. Mjerni rezultat treba sadržavati najbolju aproksimaciju mjerne veličine, tj. ispravljenu izmjerenu vrijednost X , zatim standardnu nesigurnost u i mjeru jedinicu X . **Izraz koji opisuje cijeloviti mjeri rezultat u tom slučaju izgleda ovako:**

$$X = \{X \pm u\} [X] \quad (1)$$

Mjerna se nesigurnost zaokružuje na dvije značajne znamenke, a mjeri rezultat na razini mjesne vrijednosti zadnje znamenke nesigurnosti.

Npr., ako je zadnja znamenka mjerne nesigurnosti na mjesnoj vrijednosti stotinke, tada će i brojčana vrijednost mjerog rezultata biti zaokružena na mjesnoj vrijednosti stotinke.

Niska razina se primjenjuje pri svakodnevnom rutinskom radu. Ako je poznata mjerena nesigurnost postupka, mjeri se rezultat iskazuje izmjereno vrijednošću i mjerom jedinicom. Pri tom, nesigurnost zaokruživanja smije biti jednaka ili manja od četvrtine procijenjene mjerne nesigurnosti postupka:

$$X = \{X\} [X] \quad (2)$$

Često se zbog nedostatka vremena u rutinskim, manje zahtjevnim pojedinačnim mjerjenjima ne procjenjuje mjerena nesigurnost postupka. Tada je potrebno voditi računa o ispravnom zaokruživanju mjerog rezultata.

Primjer 3:

U nekom mjerom krugu mjerena je jakost struje. Kao rezultat mjerog postupka dobivena je vrijednost jakosti struje $I = 2,326 \text{ A}$, uz procijenjenu mjeru nesigurnost $u = 0,0263 \text{ A}$.

Mjeri rezultat S razine može se prikazati kao: $I = 2,33 \pm 0,03 \text{ A}$.

Mjeri rezultat N razine prikazuje se (ovisno o odluci mjeritelja) određenim brojem značajnih znamenki, pa ako se prikazuje dvjema značajnim znamenkama on iznosi $I = 2,3 \text{ A}$, dok trima značajnim znamenkama, što je u ovom slučaju točnije, on iznosi $I = 2,33 \text{ A}$.

Ako se mjerni rezultat iskaže prevelikim brojem znamenaka, nepregledan je i ostavlja lažni dojam o velikoj točnosti rezultata, dok se zaoruživanjem na premali broj znamenaka gubi dio informacije o mjernoj veličini. Zato mjerni rezultat treba zaokružiti na upravo toliki broj znamenaka da je u iskazu sadržana i informacija o njegovoj nesigurnosti. Pritom treba paziti da se zaokruživanjem ne poveća mjerna nesigurnost rezultata.

U skladu s međunarodnom normom ISO 31-0: "Quantities and units - General principles" i hrvatskom normom HRN ISO 31-0:1996, "Veličine i jedinice – opća načela", u brojčanoj vrijednosti mjernog rezultata piše se decimalni zarez, a ne decimalna točka!

Ponovimo...

Prema pravilu o zaokruživanju posljednju zadržanu znamenku ne mijenjamo ako je prva ispuštena znamenka desno od nje manja od 5, a povećavamo za 1 ako je prva ispuštena znamenka desno od nje veća od 5 ili ako iza znamenke 5 postoje znamenke veće od 0.

1.4.3. Apsolutne i relativne mjerne pogreške

Prema načinu iskazivanja mjerne se pogreške dijele na:

apsolutne i relativne.

1.4.3.1 Apsolutna pogreška

Apsolutna pogreška je prouzročena nesavršenošću mjerne opreme, mjernog objekta ili odabrane mjerne metode, te pogreškama osobe koja obavlja mjerjenja, a predstavlja razliku između izmjerene vrijednosti i prave vrijednosti mjerene veličine.

Kod mjerila absolutna se pogreška računa prema izrazu:

$$p_a = X_{mj} - X_p, \quad (1)$$

X_{mj} je izmjerena vrijednost mjerne veličine postignuta kao mjerni rezultat neposrednog ili posrednog mjerjenja. Da bi se umanjio utjecaj i slučajnih pogrešaka, ovisno o zahtjevima za točnost mjerjenja, mjerni se postupak može ponoviti više puta u istim uvjetima, te iz niza mjernih rezultata računanjem aritmetičke sredine i statističkim metodama izračunati X_{mj} .

Prava vrijednost mjerne veličine, X_p postignuta je proračunom ili mjerljem preciznijim mjernim instrumentom ili točnijom metodom.

Apsolutna se pogreška iskazuje u fizikalnoj jedinici kojom izražavamo mjerni rezultat.

Kod mjera, absolutna se pogreška računa prema izrazu

$$p_a = X_{naz} - X_p \quad , \quad (2)$$

gdje je X_{naz} naznačena vrijednost navedena kao natpisni podatak na samoj mjeri, a X_p prava vrijednost mjere utvrđena neposrednim ili posrednim mjerenjem.

Da bi se otklonio utjecaj sustavnih i slučajnih pogrešaka, prava vrijednost mjere može se točnije utvrditi tako da se mjerni postupak ponovi više puta u istim uvjetima, te da se iz niza mjernih rezultata primjenom proračuna aritmetičke sredine i statističkih metoda izračuna X_p .

Absolutna pogreška može imati pozitivan ili negativan predznak!

Absolutna se pogreška iskazuje brojem i mjernom jedinicom!

1.4.3.2. Relativna pogreška

Relativna pogreška se određuje iz omjera absolutne pogreške i stvarne vrijednosti mjerene veličine. I kod mjerila i kod mjera, relativna se pogreška računa prema izrazu

$$p = \frac{p_a}{X_p} \quad (3)$$

pa izraz za proračun relativnih pogrešaka kod mjerila možemo pisati:

$$p = \frac{X_{mj} - X_p}{X_p} \quad , \quad (4)$$

gdje je X_{mj} izmjerena vrijednost mjerene veličine, a X_p prava vrijednost mjerene veličine.

Izraz za proračun relativnih pogrešaka kod mjera možemo pisati:

$$p = \frac{X_{naz} - X_p}{X_p} \quad , \quad (5)$$

gdje je X_{naz} naznačena vrijednost, a X_p prava vrijednost mjera.

Relativna pogreška može imati pozitivan ili negativan predznak!
Relativna se pogreška iskazuje brojem bez mjerne jedinice!

Postotna pogreška je relativna pogreška izražena u postocima. I kod mjerila i kod mjera, relativna se postotna pogreška računa prema izražaju:

$$p_{\%} = \frac{p_a}{X_p} \cdot 100\%, \quad (6)$$

pa kod mjerila izraz za proračun relativnih postotnih pogrešaka možemo pisati:

$$p_{\%} = \frac{X_{mj} - X_p}{X_p} \cdot 100\%, \quad (7)$$

gdje je X_{mj} izmjerena vrijednost mjerne veličine, a X_p prava vrijednost mjerne veličine.

Kod mjera izraz za proračun relativnih postotnih pogrešaka glasi:

$$p_{\%} = \frac{X_{naz} - X_p}{X_p} \cdot 100\%, \quad (8)$$

gdje je X_{naz} naznačena vrijednost, a X_p prava vrijednost mjere.

Postotna pogreška može imati pozitivan ili negativan predznak!

Postotna pogreška iskazuje se brojem i znakom %, bez mjerne jedinice!

Primjer 1.

Umjeravanjem voltmetra s deset puta točnjijim digitalnim multimetrom utvrđeno je da voltmetar na području 100 V pri naponu od 80 V pokazuje napon od 79 V. Kolike su apsolutna, relativna i postotna pogreška?

Rješenje:

Zadano:

$$U_{mj} = 79 \text{ V}$$

$$\underline{U_p = 80 \text{ V}}$$

$$p_a, p, p_{\%} = ?$$

$$p_a = U_{mj} - U_p = 79 - 80 = -1 \text{ V}$$

$$p = (U_{mj} - U_p) / U_p = (79 - 80) / 80 = -0,0125$$

$$p_{\%} = (U_{mj} - U_p) \cdot 100\% / U_p = (79 - 80) \cdot 100\% / 80 = -0,0125 \cdot 100\% = -1,25\%$$