

MUE 2024/25 – VJEŽBA 1.		Grupa:	L-A-08	Stranica:	1
Ime i prezime:	Anika Parat	Mat. broj:	0036558491	Datum:	14.10.2024.
Umjeravanje mjerila					

Ishodi vježbe:

Nakon obavljene vježbe studenti će znati:

- objasniti pojmove: umjeravanje, sljedivost i mjerni etalon
- izračunati pogrešku mjerila i pogrešku mjere
- ispraviti mjerni rezultat
- objasniti pojam granica pogrešaka mjerila
- procijeniti točnost mjerila na temelju njegovih specifikacija
- procijeniti ispravnost mjerila na temelju umjernih rezultata

UVOD

Umjeravanje mjerila je postupak kojim se uspostavlja kvantitativni odnos između vrijednosti veličine dobivene očitanjem mjerila (izmjerene vrijednosti) i referentne vrijednosti veličine ostvarene referentnim mjerilom (ili mjerom). Razliku između (izmjerene vrijednosti X) i referentne vrijednosti X_{ref} zovemo mjernom pogreškom E_X , ili, u praksi, pogreškom mjernog instrumenta:

$$E_X = X - X_{ref.}$$

Relativna pogreška mjerila bit će tada jednaka

$$e_X = (X - X_{ref})/X_{ref.}$$

a relativna postotna pogreška:

$$e_{X\%} = [(X - X_{ref})/X_{ref}] \cdot 100 \, \%.$$

Na temelju umjeravanjem utvrđenih pogrešaka izmjereni rezultat možemo ispraviti i tako povećati točnost mjerila, tj. bliskost rezultata s pravom vrijednošću veličine. Ispravak (korekcija) C_X je po vrijednosti jednak pogrešci E_X , no suprotnog je predznaka:

$$C_X = -E_X,$$

odnosno, za relativne veličine

$$c_X = -e_X \text{ i } c_{X\%} = -e_{X\%}.$$

Važno je istaknuti činjenicu da jednom ustanovljena pogreška mjerila nije nužno stalna veličina. Stoga se ispravak rezultata može primijeniti tek nakon što se stalnost pogreške utvrdi ponavljanjem umjeravanja mjerila u nekom vremenskom periodu. U svakodnevnim mjerenjima uglavnom se ispravljanje rezultata ne provodi, pa se periodičkim umjeravanjem mjerila samo potvrđuje njegova mjeriteljska ispravnost, tj. naznačena točnost.

Točnost mjerila procjenjuje sam proizvođač, vodeći računa o izvedbenim ograničenjima (razlučivost pokaznika, mogućnost filtriranja smetnji, kvaliteta i starenje elektroničkih komponenata, stabilnost napajanja i sl.) i utjecajnim veličinama koje djeluju na funkcionalnost i pokazivanje mjerila (temperatura okoliša, vanjsko magnetsko i električno polje, vibracije i sl.). Podatak o točnosti mjerila proizvođač navodi u specifikacijama u obliku **granica pogrešaka**, kao simetričan interval $G = \pm a$ unutar kojega se sigurno nalazi prava vrijednost mjerene veličine. Za analogne instrumente granice pogrešaka određene su umnoškom razreda točnosti (r.t.) s vrijednošću veličine koja odgovara gornjoj granici postavljenog mjernog opsega instrumenta (MO):

$$G = \pm \text{r.t.} \% \cdot \text{MO}.$$

Razred točnosti redovito je naznačen na skali instrumenta i pripada normiranom nizu (0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5). Tako, na primjer, instrument razreda točnosti 0,5 na mjernom opsegu 2 V neće griješiti više od $G = \pm(0,5 \cdot 2 \text{ V})/100 = \pm 10 \text{ mV}$. Za digitalne instrumente granice pogrešaka definiraju se zasebno za svaki tip instrumenta, mjerno područje, mjerni opseg, i dr. Na primjer, uz očitavanje (reading) 1,5468 V na mjernom opsegu (range) 2 V i razlučivanje od 4½ znamenaka (digits) to može biti definirano kao:

MUE 2024/25 – VJEŽBA 1.		Grupa:		Stranica:	2
Ime i prezime:		Mat. broj:		Datum:	
Umjeravanje mjerila					

$$G = \pm(0,01 \% \text{ of reading} + 0,05 \% \text{ of range}) \quad \text{očitana vrijednost}$$

$$G = \pm(0,0001 \cdot 1,5468 \text{ V} + 0,0005 \cdot 2 \text{ V}) = \pm 1,2 \text{ mV},$$

$$G = \pm(0,2 \% \text{ of reading} + 30 \text{ digits})$$

$$G = \pm(0,002 \cdot 1,5468 \text{ V} + 3 \text{ mV}) = \pm 6,1 \text{ mV}, \text{ ili}$$

$$G = \pm(0,15 \% \text{ of reading} + 2 \text{ mV})$$

$$G = \pm(0,0015 \cdot 1,5468 \text{ V} + 2 \text{ mV}) = \pm 4,3 \text{ mV}.$$

Mjerilo kojeg su umjeravanjem utvrđene pogreške unutar specificiranih granica pogrešaka smatramo umjerenim, odnosno ispravnim mjerilom. Naglasimo da, iako je mjerilo umjereno, ono i dalje ne pokazuje pravu vrijednost veličine (koja je po definiciji nepoznata!), no možemo sa sigurnošću tvrditi da se prava vrijednost nalazi u okolišu izmjerene vrijednosti unutar intervala omeđenog granicama pogrešaka mjerila. U tom smislu za svako neumjereno mjerilo, bez obzira na naznačenu točnost, broj znamenaka ili cijenu, ne možemo opravdano reći da je ispravno.

Referentnu vrijednost veličine pri umjeravanju mjerila ostvarujemo dovoljno dobrim približenjem pravoj vrijednosti za tu prigodu (pri umjeravanju voltmetra koristimo točniji voltmetar kao referentno mjerilo, ili pak točniji izvor napona kao referentnu mjeru). Svoju pak točnost referentno mjerilo (odnosno mjera) dokazuje umjeravanjem s još točnijim mjerilom, pa kažemo da se **uspostavom neprekinutog lanca (slijeda) umjeravanja osigurava sljedivost krajnjeg mjerila do najviše razine točnosti, ostvarene odgovarajućim mjernim etalonom.**

PRIPREMA ZA VJEŽBU

Riješite zadatke:

- Digitalni voltmetar umjeravamo s pomoću izvora referentnog napona (naponskim kalibratorom). Kolika je pogreška voltmetra ako pri naponu kalibratora od 10 V voltmetar mjeri 10,013 V? Pogrešku iskažite i u relativnom obliku.
- Ugodivi strujni izvor s digitalnim prikaznikom umjeravamo s pomoću referentnog digitalnog ampermetra. Kolika je pogreška strujnog izvora ako pri ugođenih 10,012 A na izvoru ampermetar pokazuje 10,067 A? Pogrešku iskažite i u relativnom obliku.
- Kolika je ispravljena vrijednost mjerenog otpora ako je na omometru očitano 10,15 kΩ, a pogreška omometra je poznata i iznosi -0,32 kΩ?
- Umjeravanjem vatmetra na mjernom području 100 W, u pet mjernih točaka u opsegu od 10 W do 90 W, dobivena je ista pogreška od 0,15 W. Obrazložite ispunjava li vatmetar kriterij ispravnog mjerila ako za to mjerno područje proizvođač u specifikacijama navodi granice pogrešaka $\pm(0,15 \% \text{ of reading} + 0,1 \% \text{ of range})$.
- Na analognom voltmetru razreda točnosti 1,5 očitano je napon 2 V na mjernom području od 10 V. Unutar kojeg raspona možemo sa sigurnošću očekivati pravu vrijednost napona?

① $U_{ref} = 10 \text{ V}$
 $U = 10,013 \text{ V}$
 pogreška = ? (E_u)
 relativna pogreška (e_u)
 $\Rightarrow E_u = X - X_{ref} = 0,013 \text{ V}$
 $e_u = \frac{X - X_{ref}}{X_{ref}} = 0,0013 \text{ V}$

② $I = 10,067 \text{ A}$
 $I_{ref} = 10,012 \text{ A}$
 $E_I, e_I = ?$
 $E_I = 0,055 \text{ A}$
 $e_I = 0,00549$

③ $X = 10,15 \text{ k}\Omega$
 $E_x = -0,32 \text{ k}\Omega$
 $X_{ref} = X - E_x$
 $X_{ref} = 10,47 \text{ }\Omega$

④ područje = 100 W
 $n=5 \rightarrow [10,90] \text{ W}$ $G_1 = 0,15 \text{ W}$
 $G_1 = \pm(0,15\% \cdot 10 + 0,1\% \cdot 100) = \pm 0,115 \text{ W}$
 $G_1 = \pm(0,15\% \cdot 90 + 0,1\% \cdot 100) = \pm 0,235 \text{ W}$

⑤ $n=1,5$ $G_1 = \pm r \pm \% M_0 = 1,5\% \cdot 10 = \pm 0,15 \text{ V}$
 $X = 2 \text{ V}$
 $MP = 10 \text{ V} = M_0 \rightarrow W = 2 \text{ V} \pm 0,15 \text{ V}$

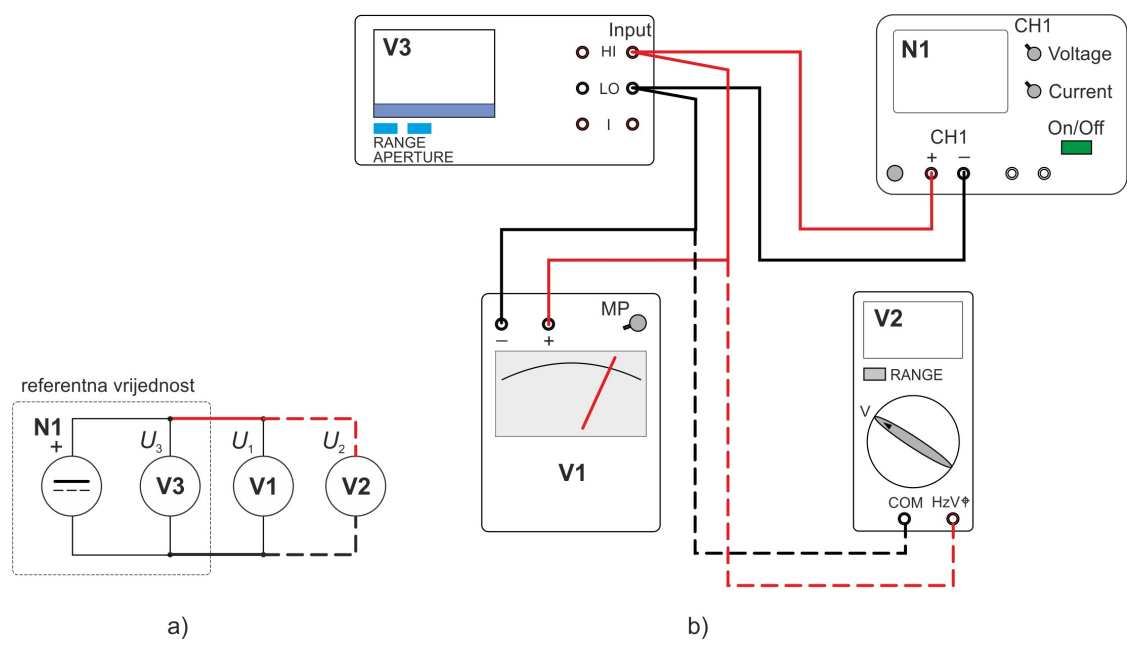
MUE 2024/25 – VJEŽBA 1.		Grupa:		Stranica:	3
Ime i prezime:		Mat. broj:		Datum:	
Umjeravanje mjerila					

OPIS VJEŽBE

U sklopu vježbe umjeravaju se dva voltmetra na području istosmjernog napona, jedan analogni s kazaljkom i drugi s digitalnim prikazom. Voltmetri se jedan po jedan priključuju na izvor ugodivog istosmjernog napona, u paralelu s još jednim, referentnim voltmetrom veće točnosti (užih granica pogrešaka). Umjeravanje se provodi na zadanim mjernim područjima voltmetara, u nekoliko ravnomjerno raspoređenih točaka duž umjeravanog opsega. Iz rezultata umjeravanja izrađuje se krivulja ispravaka (korekcijska krivulja) za umjeravano mjereno područje voltmetra.

Mjerni instrumenti i shema spoja

Oznaka	Uređaj	Opis
V1	Iskra BL0125	Analogni voltmetar, mjereno područje 6 V
V2	UNI-T UT60A	Digitalni voltmetar s 3½ znamenke, mjereno područje 40 V
V3	Keysight 34461A	Digitalni voltmetar s 6½ znamenaka, mjereno područje 10V, 100 V
N1	GwInstek GPE-2323	Ugodivi izvor istosmjernog napona



Slika 1. a) shema spoja za umjeravanje voltmetra; b) raspored instrumenata u mjernom sklopu

MUE 2024/25 – VJEŽBA 1.		Grupa:		Stranica:	4
Ime i prezime:		Mat. broj:		Datum:	
Umjeravanje mjerila					

RADNA UPUTA

1. Spojite mjerni sklop prema slici 1-b. Prilikom spajanja obratite pažnju na oznake izlaznih stezaljki izvora **N1** i ulaznih stezaljki voltmetara **V1** i **V3**!
2. Preklopkom **MP** postavite mjerno područje voltmetra **V1** na 6 V. Provjerite pokazuje li kazaljka 0 V i po potrebi ugodite nulti položaj (za ugađanje konzultirajte voditelja vježbi).
3. Uključite izvor **N1** i voltmetar **V3**.

Napomena: Izvor **N1** pri uključivanju inicijalno postavlja oba izlazna kanala **CH1** i **CH2** u neaktivno stanje (indikator **ON/OFF** ne svijetli).

4. Na izvoru **N1** s pomoću gumba **VOLTAGE** i **CURRENT** (uz kanal **CH1**) ugodite izlazni napon 1 V i strujno ograničenje 0,5 A.
5. Na voltmetru **V3** odaberite mjerno područje istosmjernog napona pritiskom na tipku **DCV**. Na izborniku pri dnu zaslona postavite sljedeće mjerne opcije:

RANGE: 10 V (mjerno područje voltmetra)

APERTURE: 10 PLC (vrijeme integracije napona je 10 *Power Line Cycles* ili $10 \cdot 20 \text{ ms} = 0,2 \text{ s}$)

Ostale postavke voltmetra su inicijalno ugođene i nisu od značaja za vježbu.

6. Aktivirajte izvor **N1** pritiskom na tipku **ON/OFF**. Nakon ovog koraka, referentni voltmetar **V3** te umjeravani analogni voltmetar **V1** pokazuju napon izvora od približno 1 V i umjeravanje može započeti.
7. Umjeravanje voltmetra **V1** na mjernom opsegu od 6 V obavlja se u 6 mjernih točaka nazivnih vrijednosti **1 V, 2 V, 3 V, 4 V, 5 V i 6 V**. Napone ugađajte gumbom **VOLTAGE** na izvoru **N1** te uz nazivni napon U_N zabilježite u tablici umjeravanja:
 - referentni napon U_3 očitao na voltmetru **V3**,
 - očitavanje U_1 umjeravanog voltmetra **V1**.

Pritom:

- a) referentnu vrijednosti napona ugodite na vrijednost blisku nazivnoj, recimo s odstupanjem do $\pm 0,2 \text{ V}$ (ne insistirajte na "okrugloj" brojci);
 - b) izbjegnite pogrešku očitavanja analognog voltmetra uslijed paralakse (očitavanja pod kutem); očitajte vrijednost na skali kad očima postavite kazaljku nad njen odraz u zrcalu;
 - c) očitavanje voltmetra **V1** procijenite na tri, a voltmetra **V3** zaokružite na tri decimalna mjesta.
8. Smanjite napon izvora **N1** na nulu gumbom **VOLTAGE** i deaktivirajte ga pritiskom na tipku **ON/OFF**.
 9. Isključite analogni voltmetar **V1** iz mjernog sklopa i uključite namjesto njega digitalni voltmetar **V2** (iscrtkane linije na slici 1). Preklopku postavite na područje mjerenja istosmjernog napona (**V**) i ugodite mjerno područje 40 V tipkom **RANGE**. Ispravno postavljeno mjerno područje imat će razlučivost napona 0,01 V (pokaznik $3\frac{1}{2}$ znamenaka, oblika 00.00).
 10. Na izborniku voltmetra **V3** odaberite mjerno područje 100 V (**RANGE: 100 V**).
 11. Umjeravanje voltmetra **V2** obavlja se u 7 mjernih točaka nazivnih vrijednosti **0 V, 5 V, 10 V, 15 V, 20 V, 25 V i 30 V**. Napone ugađajte gumbom **VOLTAGE** na izvoru **N1**. Uz nazivni napon U_N zabilježite u tablici umjeravanja:
 - referentni napon U_3 očitao na voltmetru **V3**,
 - očitavanje U_2 umjeravanog voltmetra **V2**.

MUE 2024/25 – VJEŽBA 1.		Grupa:		Stranica:	5
Ime i prezime:		Mat. broj:		Datum:	
Umjeravanje mjerila					

Pritom:

- a) mjerna točka 0 V odgovara pokazivanju voltmetra pri **kratkom spoju njegovih ulaznih stezaljki** (odspojite privremeno voltmetar **V2** iz mjernog kruga te mu jednim vodičem kratko spojite ulazne stezaljke);
 - b) referentne vrijednosti napona ugodite s odstupanjem od nazivne do $\pm 0,2$ V;
 - c) očitavanje voltmetra **V2** zapišite s dva decimalna mjesta, a očitavanje voltmetra **V3** zaokružite na tri decimalna mjesta.
12. Isključite izvor **N1**, voltmetre **V2** i **V3** i rasklopite mjerni spoj.
13. Na temelju mjernih rezultata izračunajte pogreške E_{U1} i E_{U2} i relativne postotne pogreške e_{U1} i e_{U2} voltmetara **V1** i **V2** u svakoj mjernoj točki i zabilježite ih u tablicu umjeravanja.
- Napomena: Mjerna pogreška jednaka je razlici izmjerene i referentne vrijednosti, ne obratno! U iskazu pogreške broj decimalnih mjesta neka bude jednak onome u izmjerenoj vrijednosti.
14. S pomoću izmjerenih pogrešaka nacrtajte krivulje ispravaka C_{U1} i C_{U2} za oba voltmetra. Točke povežite (interpolirajte) pravcem.
15. Odgovorite na pitanja:
- a) Odgovaraju li umjeravani instrumenti zahtjevima točnosti naznačenima u specifikacijama proizvođača?

Specifikacije voltmetara:

V1: r.t. = 0,5

V2: *DC voltage accuracy, range 40 V: (0,8 % of reading + 1 digit)*
 - b) Uz pretpostavku da ne postoje tvornički podatci, kako biste procijenili granice pogrešaka voltmetara oslanjajući se isključivo na rezultate umjeravanja.
 - c) Čime je ograničena točnost ispravljenog mjernog rezultata?
 - d) Razložite u kojem slučaju je opravdano s pomoću krivulje ispravaka korigirati pokazivanje instrumenta u mjernim točkama za koje ne postoje umjerni rezultati?

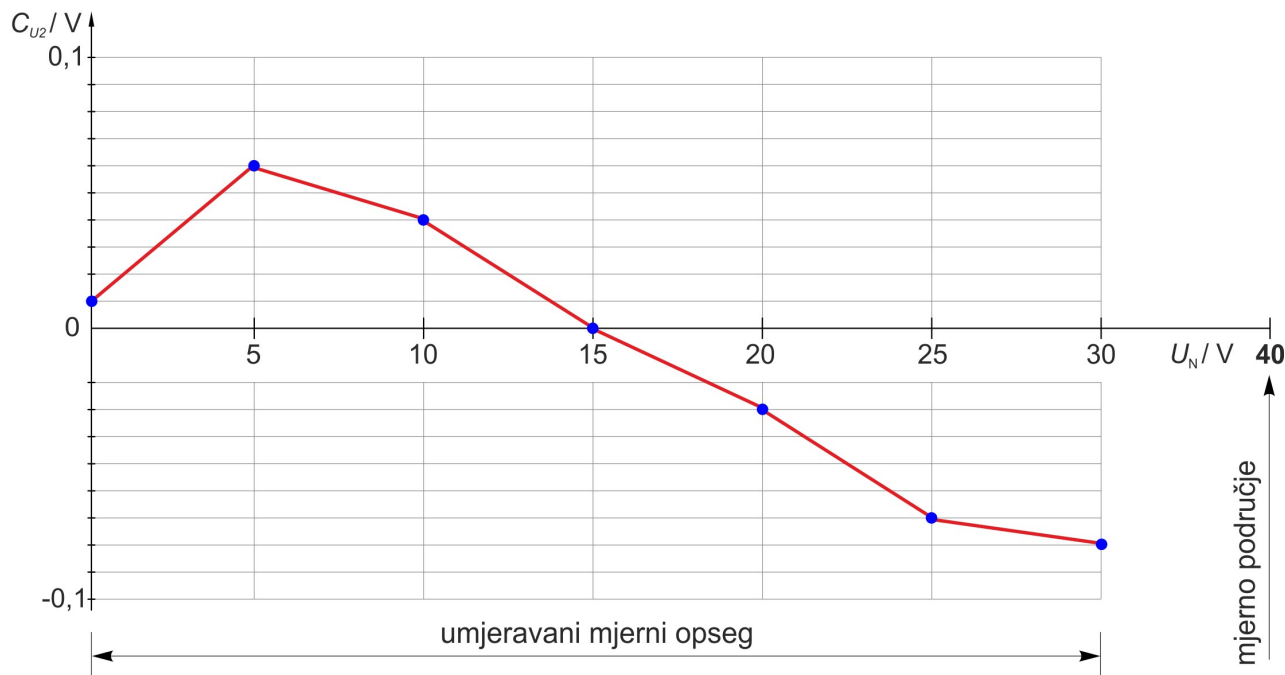
MUE 2024/25 – VJEŽBA 1.		Grupa:		Stranica:	6
Ime i prezime:		Mat. broj:		Datum:	
Umjeravanje mjerila					

Primjeri za ilustraciju rezultata vježbe:

1: Tablica umjeravanja voltmetra V2

Nazivni napon U_N / V	Referentni napon U_3 / V	Izmjerena vrijednost U_2 / V	Pogreška E_{U_2} / V	Relativna pogreška e_{U_2}
0, kratki spoj ulaznih stezaljki		-0,01	-0,01	–
5	5,000	4,94	-0,06	-1,2 %
10	10,011	9,97	-0,04	-0,4 %
15	15,204	15,20	0	0 %
20	20,122	20,15	0,03	0,1 %
25	25,167	25,24	0,07	0,3 %
30	29,886	29,97	0,08	0,3 %

2: Krivulja ispravaka voltmetra V2



MUE 2024/25 – VJEŽBA 1.		Grupa:		Stranica:	7
Ime i prezime:		Mat. broj:		Datum:	
Umjeravanje mjerila					

MUE 2024/25 – VJEŽBA 1.		Grupa:		Stranica:	8
Ime i prezime:		Mat. broj:		Datum:	
Umjeravanje mjerila					