

Međunarodna interkomparacija mjerenja izvršenih sa digitalnog multimetra HP3458A

Srđan Damjanović

Fakultet poslovne ekonomije Bijeljina, Univerzitet u
Istočnom Sarajevu, Republika Srpska, BiH
srdjan.damjanovic@fpe-unssa.rs.ba

Predrag Katanić

Fakultet poslovne ekonomije Bijeljina, Univerzitet u
Istočnom Sarajevu, Republika Srpska, BiH
predrag@telrad.net

Biljana Petrić

Orao a.d. Bijeljina, Republika Srpska, BiH
biljana.petric@orao.aero

Sadržaj — U radu je predstavljeno međunarodno međulaboratorijsko poređenje mjerenja DC napona u devet mjernih tačaka, AC napona u devet mjernih tačaka, DC struje u šest mjernih tačaka, AC struje u četiri mjerne tačke i otpora u šest mjernih tačaka sa digitalnim multimetrom HP3458A, koji je korišćen kao putujući etalon. Pilot laboratorija i organizator ovog međulaboratorijskog poređenja bila je VSL B.V. laboratorija iz Holandije. U ovom međulaboratorijskom poređenju učestvovalo je 28 laboratorija iz Belgije, Bosne i Hercegovine, Francuske, Njemačke, Italije, Litvanije, Luksemburga, Holandije, Norveške, Portugala, Švedske, i Švajcarske.

Metrološka laboratorija Orao a.d. Bijeljina bila je jedina metrološka laboratorija iz Bosne i Hercegovine, koja je učestvovala u ovom međulaboratorijskom poređenju. Kao etalon za generisanje DC napona, AC napona, DC struje, AC struje i otpora korišćen je univerzalni kalibrator Fluke 5520, a za mjerenje smo koristili naš digitalni multimetar HP3458A. Da bi se olakšalo očitavanje i zapisivanje mjernih rezultata direktno na računar, napravljen je program u programskom jeziku VEEPro za automatsko mjerenje sa digitalnim multimetrom HP3458A. Metrološka laboratorija Orao a.d. Bijeljina je za sve mjerne tačke u ovom međunarodnom međulaboratorijskom poređenju potvrdila svoje mjerne metode i proračune mjerne nesigurnosti za etaloniranje mjerača DC napona, AC napona, DC struje, AC struje i otpora.

Ključne riječi - međupoređenje; napon; struja; otpor; mjerna nesigurnost;

I. UVOD

Metrološka laboratorija Orao a.d. iz Bijeljine je akreditovana metrološka laboratorija od strane BATA (Institut za akreditovanje Bosne i Hercegovine) prema međunarodnom standardu BAS EN ISO/IEC 17025/2017 u pogledu osposobljenosti za obavljanje etaloniranja mjerne opreme u oblastima: električnih veličina, vremena i frekvencije, dimenzionih veličina, mehaničkih veličina, fluidnih veličina, temperature, vlažnosti i termofizičkih osobina. Obavlja etaloniranje mjernih instrumenata i opreme u Republici Srpskoj, Federaciji BiH, Srbiji, Crnoj Gori, Hrvatskoj i Makedoniji. Posjeduje etalone za 25 fizičkih veličina.

Laboratorija ima napisane procedure za kontrolu kvaliteta, za stalni monitoring svih preduzetih etaloniranja (tačka 7.7.1 standarda BAS EN ISO/IEC 17025/2017). U skladu sa zahtjevima, koji su navedeni u ovim procedurama, laboratorija je obavezna da potvrđujemo svoje mjerne mogućnosti redovnim učešćem u međulaboratorijskim poređenjima. Učešćem u međulaboratorijskim poređenjima laboratorija potvrđuje svoje akreditovane mjerne metode i proračun mjerne nesigurnosti.

Ovo međupoređenje je organizovala, sprovela i obradila rezultate VSL B.V. laboratorija iz Holandije, koja je nacionalna laboratorija u Holandiji, a u skladu sa zahtjevima standarda ISO/IEC 17043. U ovom međulaboratorijskom poređenju učestvovalo je 28 laboratorija iz:

- Belgije - 1 laboratorija,
- Bosne i Hercegovine - 1 laboratorija,
- Francuske - 5 laboratorija,
- Njemačke - 5 laboratorija,
- Italije - 2 laboratorije,
- Litvanije - 1 laboratorija,
- Luksemburga - 1 laboratorija,
- Holandije - 5 laboratorija,
- Norveške - 1 laboratorija,
- Portugala - 3 laboratorije,
- Švedske - 2 laboratorije, i
- Švajcarske - 1 laboratorija.

Metrološka laboratorija Orao a.d. Bijeljina bila je jedina metrološka laboratorija iz Bosne i Hercegovine, koja je učestvovala u ovom međulaboratorijskom poređenju.

Kod ovog međupoređenja se primjenjivao kružni model kretanja istog putujućeg etalona. Međupoređenje je trajalo od maja 2017. do novembra 2018. godine, a obrada rezultata je završena 2019. godine. Laboratorija Orao a.d. imala je deset radnih dana na raspolaganju za sva predviđena mjerenja u

decembru 2018. godine. Na slici 1. prikazan je digitalni multimetar HP3458A, koji se koristio kao putujući etalon u ovom međunarodnom međupoređenju.



Slika 1. Digitalni multimetar HP3458A.

Prema dostavljenom protokolu, definisanom od strane pilot laboratorije, međupoređenje je vršeno prema tehničkom protokolu u 34 mjerne tačke, koje su prikazane na slici 2. DC napon je mjereno u devet mjernih tačaka na četiri mjerna opsega. AC napon je mjereno u devet mjernih tačaka na pet mjernih opsega. DC struja je mjerena u šest mjernih tačaka na tri mjerna opsega. AC struje je mjerena u četiri mjerne tačke na dva mjerna opsega. Otpor je mjereno u šest mjernih tačaka na pet mjernih opsega. Za svaku mjernu tačku su definisana precizna podešavanja, koja je bilo potrebno izvršiti na putujućem etalonu.

II. MJERNA METODA

U laboratoriji Orao a.d. Bijeljina sva mjerenja za ovo međunarodno međupoređenje su vršena u faradejevom kavezu, kako bi se eliminisao uticaj elektromagnetnih smetnji. U prostoriji su bili obezbjeđeni referentni uslovi:

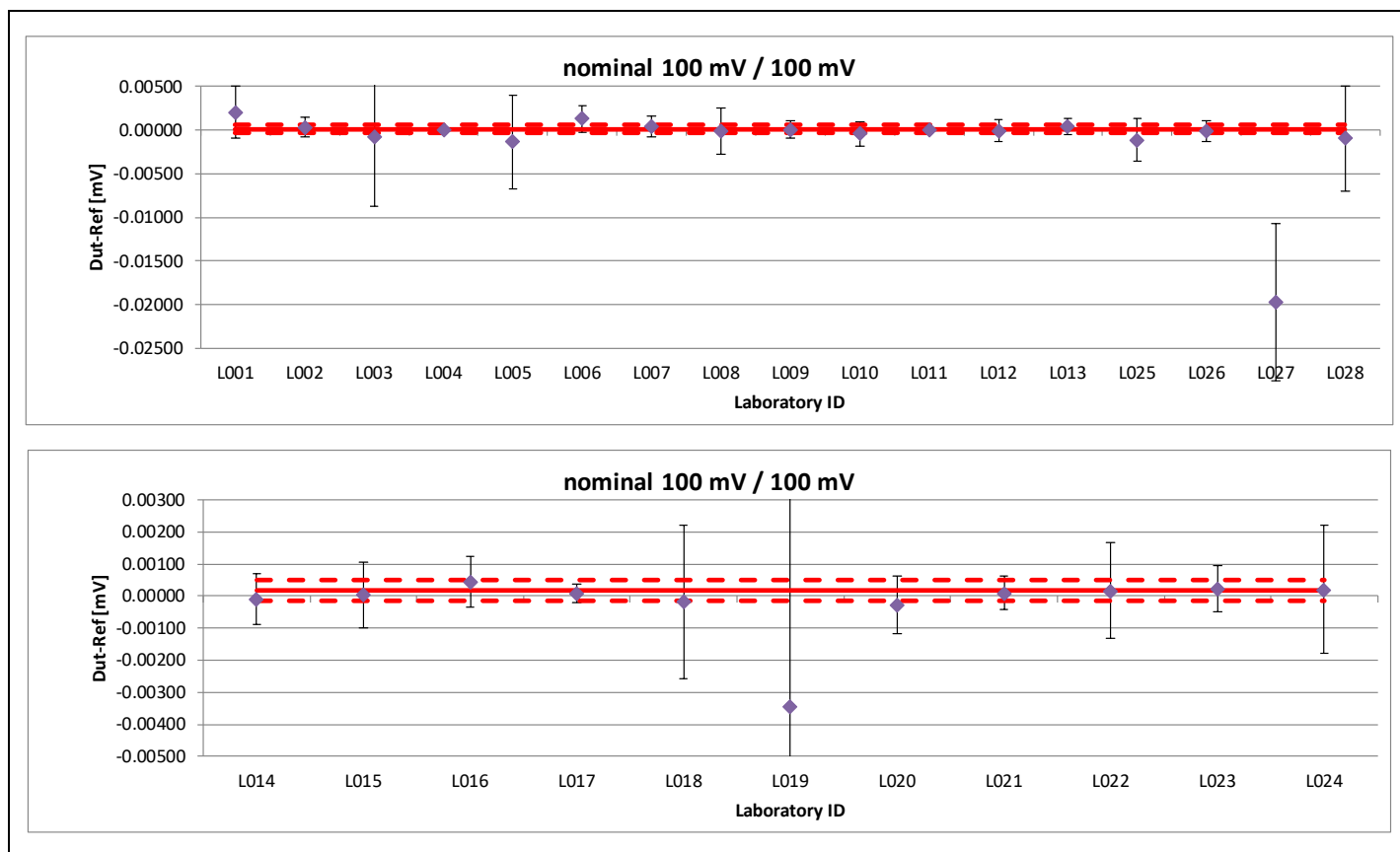
- temperatura u prostoriji: $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$,
- relativna vlažnost vazduha u prostoriji: $(60 \pm 15) \%$.

Putujući etalon i referentni etaloni su bili u ovim referentnim uslovima uključeni na napajanje četiri sata prije početka mjerenja.

Kod ovog međupoređenja laboratorija Orao a.d. Bijeljina koristila je metodu direktnog poređenja. Ova mjerna metoda nosi naziv "Uputstvo za etaloniranje digitalnih multimetara, broj 052/90-E-002". Pomoću etalona univerzalnog kalibratora Fluke 5520A, generisani su napon, struja i otpor, a mjerenje je vršeno sa putujućim etalom HP3458A. Prilikom mjerenja otpora do $10 \text{ k}\Omega$ koristila se četverožična metoda mjerenja otpora, a prilikom mjerenja otpora od $10 \text{ M}\Omega$ i $1 \text{ G}\Omega$ koristila se dvožična metoda mjerenja otpora.

Sequence	Range	Unit	Settings	(Dut-Ref) ICRV	ICRV uncertainty ($k=2$)	Applied Value	Measured Value	Dut-Ref	Dut-Ref	Absolute expanded uncertainty ($k=2$)	E_n
1	10	mV	DCV	0.00014	0.00049	10.00000	10.00065	0.00065	0.00065	0.00076	0.56
2	100	mV	DCV	0.00013	0.00049	100.00000	99.99986	-0.00014	-0.00014	0.00119	-0.21
3	-100	mV	DCV	-0.00003	0.00055	-100.00000	-99.99874	0.00126	0.00126	0.00119	0.98
4	1	V	DCV	0.0000001	0.0000017	1.0000000	0.9999951	-0.0000049	0.00000	0.0000065	-0.75
5	-1	V	DCV	-0.0000005	0.0000067	-1.0000000	-0.9999942	0.0000058	0.00001	0.0000065	0.67
6	10	V	DCV	0.0000006	0.000011	10.000000	9.999972	-0.000028	-0.00003	0.000061	-0.55
7	-10	V	DCV	-0.0000008	0.000013	-10.000000	-9.999970	0.000030	0.00003	0.000061	0.60
8	1000	V	DCV	-0.0031	0.0044	1 000.0000	999.9904	-0.0096	-0.00959	0.0089	-0.65
9	-1000	V	DCV	0.0025	0.0024	-1 000.0000	-999.9894	0.0106	0.01058	0.0089	0.88
10	100	μA	DCI	0.0008	0.0025	100.0000	99.9982	-0.0018	-0.00182	0.0033	-0.63
11	-100	μA	DCI	0.0002	0.0008	-100.0000	-99.9996	0.0004	0.00040	0.0033	0.06
12	10	mA	DCI	-0.00003	0.00008	10.00000	9.99976	-0.00024	-0.00024	0.00030	-0.68
13	-10	mA	DCI	0.00002	0.00008	-10.00000	-9.99998	0.00002	0.00002	0.00030	0.00
14	1	A	DCI	-0.00002	0.00007	1.00000	0.99999	-0.00001	-0.00001	0.00026	0.04
15	-1	A	DCI	0.00000	0.00006	-1.00000	-1.00003	-0.00003	-0.00003	0.00026	-0.12
16	1	Ω	R	-0.000002	0.000018	1.000000	0.999990	-0.000010	-0.00001	0.000077	-0.10
17	10	Ω	R	-0.000009	0.000154	10.000000	10.000080	0.000080	0.00008	0.000230	0.32
18	100	Ω	R	0.00016	0.00020	100.00000	100.00038	0.00038	0.00038	0.00197	0.11
19	10	k Ω	R	-0.000007	0.000037	10.000000	10.000036	0.000036	0.00004	0.000123	0.33
20	10	M Ω	R	-0.000286	0.001346	10.000000	9.999954	-0.000046	-0.00005	0.000695	0.16
21	1	G Ω	R	0.00193	0.00030	1.000000	1.000890	0.000890	0.00089	0.005800	-0.18
22	100	mV	ACV, 40 Hz	-0.003	0.017	100.000	99.997	-0.003	-0.00260	0.017	0.02
23	600	V	ACV, 40 Hz	-0.02	0.05	600.00	600.06	0.06	0.05600	0.24	0.32
24	10	mV	ACV, 1 kHz	0.000	0.004	10.000	10.000	0.000	0.00017	0.005	0.03
25	1	V	ACV, 1 kHz	0.00000	0.00007	1.00000	0.99991	-0.00009	-0.00009	0.00014	-0.56
26	10	V	ACV, 1 kHz	0.0001	0.0005	10.0000	9.9992	-0.0008	-0.00079	0.0013	-0.62
27	500	V	ACV, 1 kHz	-0.02	0.05	500.00	500.06	0.06	0.06100	0.20	0.39
28	100	V	ACV, 20 kHz	0.001	0.007	100.000	100.008	0.008	0.00760	0.036	0.18
29	100	V	ACV, 50 kHz	-0.002	0.009	100.000	100.009	0.009	0.00900	0.059	0.18
30	100	V	ACV, 100 kHz	-0.031	0.026	100.000	99.994	-0.006	-0.00630	0.158	0.15
31	100	mA	ACI, 50 Hz	-0.001	0.007	100.000	99.999	-0.001	-0.00090	0.071	0.00
32	1	A	ACI, 50 Hz	-0.00011	0.00527	1.00000	0.99980	-0.00020	-0.00020	0.00071	-0.02
33	100	mA	ACI, 1 kHz	0.008	0.007	100.000	100.007	0.007	0.00710	0.071	-0.01
34	1	A	ACI, 1 kHz	0.00005	0.00011	1.00000	0.99986	-0.00014	-0.00014	0.00071	-0.27

Slika 2. Obradeni rezultati mjerenja laboratorije Orao a.d. Bijeljina



Slika 3. Obradeni rezultati mjerenja jednosmjernog napona 100 mV u svim laboratorijama

Da bi se olakšalo i ubrzalo mjerenje sa digitalnim multimetrom HP3458A napisan je program u programskom jeziku VEEPro. Pomoću računara se upravlja kompletnim procesom mjerenja, a sve izmjerene vrijednosti se automatski snimaju u Excel dokument, kako bi se naknadno nakon završenog mjerenja lakše obrađivali. Da bi se smanjila tip A komponenta mjerne nesigurnosti, za svaku mjernu tačku urađeno je 12 serija od po 10 mjerenja i izračunata srednja vrijednost. Za rezultat mjerenja je uzeta srednja vrijednost serije mjerenja. Na slici 2. prikazani su obrađeni rezultati za sve mjerne tačke.

Na slici 2. u koloni *Sequence* prikazani su redni brojevi mjernih tačaka. U koloni *Range* prikazani su mjerni opsezi, a u koloni *Settings* podešavanja na putujućim etalonom HP3458A. U koloni *Applied Value* prikazane su etalonske vrijednosti postavljene na kalibratoru Fluke 5520A, a u koloni *Measured Value* su prikazane vrijednosti, koje su izmjerene sa putujućim etalonom HP3458A u laboratoriji Orao a.d. U koloni *Dut-Ref* prikazane su greške mjerenja, koje predstavljaju razliku između izmjerene i tačne vrijednosti (vrijednosti izmjerene u pilot laboratoriji). U koloni *Absolute expanded uncertainty (k=2)* proširena mjerna nesigurnost sa koeficijentom proširenja $k = 2$ laboratorije Orao a.d. za svaku mjernu tačku. U koloni *ICRV uncertainty (k=2)* prikazane su proširene mjerne nesigurnost sa

koeficijentom proširenja $k = 2$ pilot laboratorije za svaku mjernu tačku. Može se primjetiti da pilot laboratorija ima značajno manju mjernu nesigurnost u odnosu na laboratoriju Orao a.d. u svakoj mjernoj tački. U koloni *En* prikazan je *En* broj laboratorije Orao a.d. za svaku mjernu tačku, a koji se koristi za ocjenu uspješnosti međupoređenja. Pošto je za svaku mjernu tačku *En* broj manji od jedan može se reći da je laboratorija Orao a.d. izuzetno zadovoljna ostvarenim rezultatima u ovom međunarodnom međupoređenju.

Na slici 3. prikazani su uporedni rezultati mjerenja jednosmjernog napona 100 mV u svih 28 laboratorija sa oznakama L001 do L028. Rezultati laboratorije Orao a.d. su označeni sa L026. Rezultati prikazani na slici 3. predstavljaju odstupanje izmjerenih vrijednosti u odnosu na nominalnu vrijednost 100 mV, sa pridruženom proširenom mjernom nesigurnošću svake laboratorije. Crtkanim linijama su predstavljene granice mjerne nesigurnosti pilot laboratorije. Može se uočiti da rezultat mjerenja laboratorije sa oznakom L027 znatno odstupa od rezultata mjerenja pilot laboratorije, čak kada se u ubzir uzme i pripadajuća proširena mjerna nesigurnost.

Zbog obimnosti, u ovom radu nisu prikazani svi obrađeni rezultati mjerenja.

III. PRORAČUN MJERNE NESIGURNOSTI

Sve laboratorije učesnice međupoređenja su bile dužne da za svoje rezultate mjerenja izračunaju i proširenu mjernu nesigurnost sa koeficijentom proširenja $k = 2$. Kada je koeficijent proširenja $k = 2$ tada se može očekivati da 95% prikazanih mjernih rezultata nalaziti u granicama

izmjerena vrijednost \pm proširena mjerna nesigurnost. (1)

U naredno dijelu teksta prikazani su modeli procjene mjerne nesigurnosti, koji su korišćeni prilikom ove interkomparacije. Ukratko su opisane sve komponente u prikazanim modelima.

Postupak proračuna mjerne nesigurnosti koji je korišćen prilikom mjerenja jednosmjernog i naizmjeničnog napona sa digitalnim multimetrom HP3458A, opisan je u internom dokumentu Orao a.d. "Procjena mjerne nesigurnosti pri generisanju jednosmjernog i naizmjeničnog napona, prilikom etaloniranja voltmetara jednosmjernog i naizmjeničnog napona" broj 052/79-E-010. Jednačina modela koja se koristi prilikom ove procjene mjerne nesigurnosti prikazana je sljedećim izrazom

$$Ex = Vx - Vs + \Delta Vxr - Ct * \Delta Ts - \Delta Vse - \Delta Vsk \quad (2)$$

gje je:

Ex [V] - Greška pokazivanja etaloniranog instrumenta.

Vx [V] - Pokazivanje instrumenta koji se etalonira. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip A, koja se određuje isključivo metodom statističke obrade rezultata, a računa se kao standardno odstupanje srednje vrijednosti za deset mjerenja.

Vs [V] - Električni napon generisan na etalonskom instrumentu. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu metroloških karakteristika datih u dokumentaciji proizvođača korišćenog etalonskog kalibratora.

ΔVxr [V] - Korekcija zbog ograničene rezolucije etaloniranog instrumenta. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu polovine zadnjeg digita instrumenta koji se etalonira.

Ct [°C/V] - Koeficijent temperaturne stabilnosti etalonskog instrumenta. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu dokumentacije proizvođača etalonskog instrumenta.

ΔTs [°C] - Izmjerena vrijednost odstupanja temperature ambijenta od referentne temperature (23 ± 5) °C u prostoriji u kojoj se vrši mjerenje napona.

ΔVse [V] - Korekcija zbog odstupanja od specifikacije proizvođača, prilikom etaloniranja etalonskog instrumenta. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu rezultata etaloniranja i pripadajućih mjernih nesigurnosti prilikom etaloniranja etalonskog kalibratora.

ΔVsk [V] - Korekcija pokazivanja instrumenta zbog termoelektromotornih sila kablova, uzima se u obzir samo prilikom mjerenja jednosmjernih napona.

Postupak proračuna mjerne nesigurnosti koji je korišćen prilikom mjerenja jednosmjernog i naizmjenične struje sa digitalnim multimetrom HP3458A, opisan je u internom dokumentu Orao a.d. "Procjena mjerne nesigurnosti pri generisanju jednosmjernog i naizmjenične struje, prilikom etaloniranja ampermetara jednosmjernog i naizmjenične struje" broj 052/79-E-013. Jednačina modela koja se koristi prilikom ove procjene mjerne nesigurnosti prikazana je sljedećim izrazom

$$Ex = Ax - As + \Delta Axr - Ct * \Delta Ts - \Delta Ase \quad (3)$$

gje je:

Ex [A] - Greška pokazivanja etaloniranog instrumenta.

Ax [A] - Pokazivanje instrumenta koji se etalonira. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip A, koja se određuje isključivo metodom statističke obrade rezultata, a računa se kao standardno odstupanje srednje vrijednosti za deset mjerenja.

As [A] - Električna struja generisana na etalonskom instrumentu. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu metroloških karakteristika datih u dokumentaciji proizvođača korišćenog etalonskog kalibratora.

ΔAxr [A] - Korekcija zbog ograničene rezolucije etaloniranog instrumenta. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu polovine zadnjeg digita instrumenta koji se etalonira.

Ct [°C/A] - Koeficijent temperaturne stabilnosti etalonskog instrumenta. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu dokumentacije proizvođača etalonskog instrumenta.

ΔTs [°C] - Izmjerena vrijednost odstupanja temperature ambijenta od referentne temperature (23 ± 5) °C u prostoriji u kojoj se vrši mjerenje struje.

ΔAse [A] - Korekcija zbog odstupanja od specifikacije proizvođača, prilikom etaloniranja etalonskog instrumenta. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu rezultata etaloniranja i pripadajućih mjernih nesigurnosti prilikom etaloniranja etalonskog kalibratora.

Postupak proračuna mjerne nesigurnosti koji je korišćen prilikom mjerenja električne otpornosti sa digitalnim multimetrom HP3458A, opisan je u internom dokumentu Orao a.d. "Procjena mjerne nesigurnosti pri generisanju otpornosti, prilikom etaloniranja mjerača otpornosti" broj 052/79-E-019. Jednačina modela koja se koristi prilikom ove procjene mjerne nesigurnosti prikazana je sljedećim izrazom

$$Ex = Rx - Rs + \Delta Rxr - Ct * \Delta Ts - \Delta Rse - \Delta Rsk - \Delta Rss - \Delta Rsc \quad (4)$$

gje je:

E_x [Ω] - Greška pokazivanja etaloniranog instrumenta.

R_x [Ω] - Pokazivanje instrumenta koji se etalonira. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip A, koja se određuje isključivo metodom statističke obrade rezultata, a računa se kao standardno odstupanje srednje vrijednosti za deset mjerenja.

R_s [Ω] - Električna otpornost generisana na etalonskom instrumentu. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu metroloških karakteristika datih u dokumentaciji proizvođača korišćenog etalonskog kalibratora, prilikom četverožičnog generisanja otpora.

ΔR_{xr} [Ω] - Korekcija zbog ograničene rezolucije etaloniranog instrumenta. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu polovine zadnjeg digita instrumenta koji se etalonira.

C_t [$^{\circ}\text{C}/\Omega$] - Koeficijent temperaturne stabilnosti etalonskog instrumenta. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu dokumentacije proizvođača etalonskog instrumenta.

ΔT_s [$^{\circ}\text{C}$] - Izmjerena vrijednost odstupanja temperature ambijenta od referentne temperature (23 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ u prostoriji u kojoj se vrši mjerenje napona.

ΔR_{se} [Ω] - Korekcija zbog odstupanja od specifikacije proizvođača, prilikom etaloniranja etalonskog instrumenta. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu rezultata etaloniranja i pripadajućih mjernih nesigurnosti prilikom etaloniranja etalonskog kalibratora.

ΔR_{sk} [Ω] - Korekcija pokazivanja instrumenta zbog uticaja otpora kablova, koji se koriste prilikom mjerenja otpora.

ΔR_{ss} [Ω] - Korekcija pokazivanja instrumenta zbog uticaja stabilnosti etalona, prilikom generisanja otpornosti.

ΔR_{sc} [Ω] - Korekcija zbog sljedljivosti rezultata do međunarodnog etalona. Ova komponenta mjerne nesigurnosti predstavlja mjernu nesigurnost tip B, koja se određuje na osnovu proširene mjerne nesigurnosti prilikom etaloniranja etalona za generisanje otpornosti.

IV. ANALIZA REZULTATA MEĐUPOREĐENJA

Analiza rezultata međupoređenja najčešće se vrši preko E_n broja. Negovo izračunavanje se vrši sljedećom formulom

$$E_n = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad (5)$$

gdje je:

- x_{lab} svaki rezultat mjerenja laboratorije koja je učestvovala u međupoređenju,

- x_{ref} referentni rezultat mjerenja iz pilot laboratorije,

- U_{lab} proširena mjerna nesigurnost ($k = 2$) za svaki merni rezultat laboratorije koja je učestvovala u međupoređenju,

- U_{ref} referentna proširena mjerna nesigurnost ($k = 2$) mjerenja iz pilot laboratorije.

Ocjena uspjehnosti međupoređenja zasnovan na E_n broju se utvrđuje na osnovu sljedeća dva izraza

$$|E_n| \leq 1 \quad \text{rezultati su zadovoljavajući} \quad (6)$$

$$|E_n| \geq 1 \quad \text{rezultati nisu zadovoljavajući} \quad (7)$$

Na slici 2. prikazani su rezultati međupoređenja metrološke laboratorije Orao a.d. iskazani preko E_n broja. Može se vidjeti da su svi rezultati mjerenja imali E_n broj manji ili jednaki jedan.

Analizirajući izvještaj pilot laboratorije u kome su prikazani mjerni rezultati svih 28 laboratorija učesnica interkomparacije uočava se da nisu sve laboratorije imale na svim mjernim tačkama zadovoljavajući E_n broj.

Prilikom mjerenja DC napona tri laboratorije nisu imale zadovoljavajuće rezultate na mjernoj tački 10 mV, jedna laboratorija na mjernoj tački 100 mV i jedna laboratorija na mjernoj tački -10 V.

Prilikom mjerenja DC struje jedna laboratorija nije imala zadovoljavajuće rezultate na mjernoj tački 10 mA i -10mA.

Prilikom mjerenja otpora tri laboratorije nisu imale zadovoljavajuće rezultate na mjernoj tački 1 Ω , četiri laboratorije nisu imale zadovoljavajuće rezultate na mjernoj tački 10 Ω , tri laboratorije nisu imale zadovoljavajuće rezultate na mjernoj tački 100 Ω , četiri laboratorije nisu imale zadovoljavajuće rezultate na mjernoj tački 10 k Ω , pet laboratorija nisu imale zadovoljavajuće rezultate na mjernoj tački 10 M Ω i šest laboratorija nisu imale zadovoljavajuće rezultate na mjernoj tački 1 G Ω .

Prilikom mjerenja AC napona jedna laboratorija nije imala zadovoljavajuće rezultate na mjernoj tački 100 V (50 Hz), jedna laboratorija nije imala zadovoljavajuće rezultate na mjernoj tački 1 V (1 kHz) i jedna laboratorija nije imala zadovoljavajuće rezultate na mjernoj tački 100 mV (40 Hz).

Prilikom mjerenja AC struje jedna laboratorija nije imala zadovoljavajući rezultat na mjernoj tački 10 A (1 kHz).

Kada su obrađeni rezultati međupoređenja dostavljeni u laboratoriju Orao a.d., uočeno je da su mjerne nesigurnosti laboratoriju Orao a.d. nekoliko puta veće u odnosu na neke laboratorija, ali i da su nekoliko puta manje u odnosu na neke druge laboratorije učesnice međupoređenja. Mjerne nesigurnosti laboratorije Orao a.d. su veće u poređenju sa laboratorijama koje su nacionalne laboratorije i čija mjerna oprema ima bolje metrološke karakteristike, u odnosu na opremu sa kojom raspolaže laboratorija Orao a.d., koja spada u grupu industrijskih laboratorija.

Metrološka laboratorija Orao a.d. je zadovoljna dobijenim rezultatima međupoređenja. Za laboratoriju Orao a.d. ovo je veliki uspjeh, jer je kao industrijska laboratorija imala priliku da učestvujemo u međulaboratorijskom poređenju, gdje su učesnice bile i neke nacionalne laboratorije. Kroz ovo

međupoređenje laboratoriju Orao a.d. je uspjela da potvrdi svoju mjernu metodu i postupak proračuna mjerne nesigurnosti. Učešćem u ovom međupoređenju stečeno je jedno novo iskustvo i dodatno znanje prilikom etaloniranja digitalnih multimetara. Ovo nas je podstaklo na razmišljanje kako da poboljšamo našu postojeću mjernu metodu za etaloniranje digitalnih multimetara, ali i ostalih mjernih metoda u našoj laboratoriji.

Smatramo da bi država trebala da prepozna značaj industrijske metrologije za razvoj industrijske proizvodnje. Možemo reći da je privreda jedne zemlje razvijena u onom obimu, koliko je razvijena metrologija u toj zemlji. Danas su industrijski najrazvijenije zemlje koje imaju najrazvijeniji metrološki sistem. Zato smatramo da bi naša država trebala u budućnosti da pomaže industrijskim laboratorijama, koje učestvuju u međunarodnim interkomparacijama, jer su one složene i skupe.

V. ZAKLJUČAK

Ova međunarodna interkomparacija mjerenja sa digitalnim multimetrom HP3458A je bila vrlo obimna jer su vršena mjerenja iz pet različitih oblasti sa ukupno 34 mjerne tačke. U ovoj međunarodnoj interkomparaciji pored laboratorije Orao a.d. učestvovalo je 28 laboratorija iz raznih evropskih zemalja. Na osnovu obrađenih rezultata mjerenja sa digitalnim multimetrom HP3458A možemo reći da su u potpunosti potvrđene mjerne metode laboratorije Orao a.d. za etaloniranje jednosmjernih i naizmjeničnih voltmetara, jednosmjernih i naizmjeničnih ampermetara i mjerača otpornosti. O okviru ovih mjernih metoda uspješno su potvrđeni modeli i postupci procjene mjerne nesigurnosti. Potrebno je istaći da se ovdje radilo o vrlo složenim mjerenjima, jer se može reći da je digitalni multimetar HP3458A vjerovatno jedan od najboljih mjernih instrumenata u svijetu za mjerenje jednosmjernog i naizmjeničnog napona, jednosmjerne i naizmjenične struje i otpornosti

Sve laboratorije koje su akreditovane prema međunarodnom standardu BAS EN ISO/IEC 17025 za etaloniranje mjerne opreme, moraju obavezno da potvrđuju svoje mjerne mogućnosti učešćem u međupoređenju za svaku mjernu metodu, za koju su akreditovane. Jedino se kroz međupoređenja preko ostvarenog En broja može potvrditi procjena mjerne nesigurnosti, koja se pridružuje svakom mjernom rezultatu. Kroz međupoređenja se potvrđuju i najbolje mjerne mogućnosti laboratorije.

Učešćem u ovoj interkomparaciji stečena su neka nova znanja pri mjerenju sa digitalnim multimetrom HP3458A, iako se sa ovim instrumentom radilo dugi niz godina. Uočeni su neke novi faktori, koji utiču na rezultate mjerenja, a na koje do sada nije uopšte obraćana pažnja. Posebno su poboljšana znanja vezano za mjerenja naizmjeničnog napona. Pošto je urađeno dvanaest serija od po deset mjerenja za svaku mjernu tačku, uočeno je i kako na mjerne rezultate utiče vrijeme rada sa mjernim instrumentom.

Interkomparacije su odlična prilika da se poboljšaju mjerne metode i postupci proračuna mjerne nesigurnosti, koji su predmet interkomparacije. Međutim stečeno iskustvo i znanje se može vrlo lako primjeniti za preispitivanje i izmjenu drugih mjernih metoda i postupaka procjene mjerne nesigurnosti. Poslije svake interkomparacije uočene su i dodavane u model po neka nova komponenta mjerne nesigurnosti.

LITERATURA

- [1] Guide to the Expression of the Uncertainty in Measurement, ISO, 1993.
- [2] Biljana Petrić, Srđan Damjanović, "Uputstvo za etaloniranje digitalnih multimetara, broj 052/90-E-002," *Orao a.d.*, 2006.
- [3] Srđan Damjanović, Biljana Petrić, "Međulaboratorijsko poređenje mjerenja DC struje između Czech Metrology Institute i Orla," *Zbornik radova sa Kongresa metrologa Srbije 2013*, Borsko jezero 2013.
- [4] S. Damjanović, B. Petrić, P. Katanić, "Međulaboratorijsko poređenje mjerenja temperature sa dva otporna termometra," *Zbornik radova sa Simpozijuma INFOTEH 2014*, PRS-1, str. 533-538, Jahorina 2014.

ABSTRACT

This paper presents an International inter-laboratory comparison of the DC voltage measurements from nine measurement points of AC voltages at nine measuring points; DC currents at six measuring points; AC currents at four measuring points and resistances at six measuring points with a digital multimeter HP3458A, which was used as traveling standard. The pilot laboratory and organizer of this inter-laboratory comparison was VSL B.V. Laboratory from Netherlands. In this inter-laboratory comparison 28 laboratories took participation from the following countries: Belgium, Bosnia and Herzegovina, France, Germany, Italy, Lithuania, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Sweden and Switzerland.

Orao Metrological Laboratory a.d. Bijeljina was the only metrology laboratory in Bosnia and Herzegovina to participate in this interlaboratory comparison. As a standard for generating DC voltage, AC voltage, DC current, AC current and resistance, we used the universal Fluke 5520 calibrator and our HP3458A digital multimeter to measure that. In order to facilitate the reading and writing of measurement results directly to the computer, the VEEPro programming language for automatic measurement with the HP3458A digital multimeter was created. Our laboratory have validated all measuring points as well as confirmed measurement methods and calculations of measurement uncertainty for calibration of DC voltage, AC voltage, DC current, AC current and resistance meters in this International inter-laboratory comparison.

International Inter-laboratory Comparisons of measurements made with a digital multimeter HP3458A

Key words – inter-laboratory; voltage; current; resistance; measurement uncertainty;

Srdjan Damjanovic, Biljana Petric, Predrag Katanic