

Međulaboratorijsko poređenje mjerenja temperature sa dva otporna termometra

Srđan Damjanović, Predrag Katanić

Fakultet poslovne ekonomije Bijeljina
Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Bijeljina, Republika Srpska, BiH
vsst@teol.net

Biljana Petrić

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

Sadržaj — U radu je opisano međulaboratorijsko poređenje mjerenja temperature sa dva 25 Ω platinska otporna termometra u 11 mjernih tačaka. Poređenje je rađeno između LMK laboratorije iz Slovenije, kao pilot laboratorije i laboratorija iz Albanije, Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Hrvatske, Makedonije, Srbije, Turske i Umnik Kosova. Metrološka laboratorija koja se nalazi u Orao a.d. Bijeljina je bila jedna od dvije laboratorije iz Bosne i Hercegovine, koja je učestvovala u ovom međulaboratorijskom poređenju. Orao laboratorija je kao etalon za mjerenje temperature koristila platinski otporni termometar Rosemount 162CE (Pt-25), a kao indikator otpora/temperature digitalni multimetar HP3458A. Cilj ovog poređenja je bilo potvrđivanje mjerne metode za etaloniranje otpornih termometara u Orao a.d., kao i proračuna mjerne nesigurnosti za ovu mjernu metodu. (Abstract)

Ključne riječi - poređenje; etaloniranje; mjerna nesigurnost; otporni termometar; (key words)

I. UVOD

Metrološka laboratorija Orao a.d. iz Bijeljine vrši etaloniranje mjerne opreme u Republici Srpskoj, Federaciji BiH, Srbiji, Crnoj Gori i Hrvatskoj. Posjeduje etalone za 25 fizičkih veličina. Akreditovana je laboratorija od strane BATA (Institut za akreditovanje BiH) prema standardu BAS EN ISO/IEC 17025/2006 u pogledu osposobljenosti za obavljanje etaloniranja u području: električnih veličina, vremena i frekvencije, dimenzionih veličina, mehaničkih veličina, fluidnih veličina, temperature, vlažnosti i termofizičkih osobina. Metrološka laboratorija ima procedure kontrole kvaliteta za monitoring preduzetih etaloniranja (tačka 5.9. standarda BAS EN ISO/IEC 17025/2006). Jedna od planiranih aktivnosti u ovim procedurama je učešće u programima međulaboratorijskog poređenja. Svaka laboratorija tek kroz međulaboratorijska poređenja može potvrditi rezultate mjerenja, koja su izvršena u laboratoriji, kao i mjerne nesigurnosti koje se pridružuju rezultatima mjerenja. Mjerne nesigurnosti mogu se najbolje potvrditi međupoređenjem između laboratorija, koje nemaju iste etalone i pomoćnu opremu, koju koriste u procesu etaloniranja. Takođe je poželjno da etaloni, koji se koriste u procesu međupoređenja, nisu etalonirani u istim laboratorijama. Učestvovanjem u međupoređenjima metrolozi uvijek stiču nova saznanja o mjernim metodama i proračunima mjerne nesigurnosti, koja poslije mogu da primjene i na druge mjerne metode.

Predmet ovog rada je međulaboratorijsko poređenje u oblasti mjerenja temperature. Ovo međupoređenje je održano u okviru IPA 2011 PT1 T projekta, koji je organizovala LMK laboratorija sa Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Ljubljani. LMK laboratorija je akreditovana kao provajder za testiranje/interkomparaciju u saradnji sa Dutch Accreditation Council (RvA). Glavni tehnički supervizor u ovom međulaboratorijskom poređenju je bio dr Jovan Bojkovski.

Primjenjivao se kružni model kretanja putujućeg etalona. Svaka laboratorija je imala na raspolaganju dvije sedmice da izvrši traženo mjerenje temperature. Kao putujući etaloni su se koristila dva standardna platinska otporna termometra Pt25, Fluke 370 i Tinsley 279428. Etalonirani otporni termometri imaju četiri izvoda, pa se vršilo četverožično mjerenje otpora. Za izmjerene vrijednosti otpora svakog putujućeg etalona bilo je potrebno izračunati koeficijente W , a , b i c za otporne termometre u skladu sa ITS 90 (*The International Temperature Scale of 1990*).

Međupoređenje je rađeno u jedanaest mjernih tačaka u temperaturnom opsegu od -80°C do 300°C (-80°C , -60°C , -50°C , -30°C , 0°C , 50°C , 100°C , 150°C , 200°C , 250°C i 300°C). Etaloniranje je rađeno pri porastu temperature, a poslije 300°C ponovljeno je mjerenje na 0°C . Prilikom iskazivanja rezultata etaloniranja laboratorije nisu bile dužne da postignu baš ove vrijednosti temperatura, već da za temperature bliske ovim mjernim tačkama odrede odstupanja etaloniranog mjerila od etalona u laboratoriji.

U ovom međupoređenju je pored LMK laboratorije iz Slovenije učestvovalo još deset laboratorija:

- Orao (BA2), Bijeljina, BiH.
- IMBiH, Laboratorija za temperature (BA1), Sarajevo, BiH.
- Direkcija za mere i dragocene metale (RS), Beograd, Srbija.
- Meteorological and Hydrological Service Calibration laboratory (HR-1), Zagreb, Hrvatska.
- Laboring d.o.o. za mjeriteljstvo i ispitivanje (HR-2), Zagreb, Hrvatska.
- Bureau of Metrology (MK), Skopje, Makedonija.
- TUBITAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) (TR), Gebze, Turska.

- Bureau of Metrology, Laboratory for temperature (ME), Podgorica, Crna Gora.
- GDMC-General Directorate of Metrology and Calibration (AL), Tirana, Albanija.
- Department of Metrology Temperature laboratory (KOS), Priština, Umnik Kosovo.

II. METODA MJERENJA I KORIŠĆENA OPREMA

Prilikom izvođenja etaloniranja putujućeg etalona u laboratoriji Orao a.d. u Bijeljini referentni uslovi su bili:

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

Putujući etaloni i referentni etalon su držani u referentnim uslovima 24 h prije početka mjerenja.

Korišćena je metoda direktnog poređenja mjerenja otpora putujućeg etalona sa našim digitalnim multimetrom, koji se preračunava u temperaturu i mjerenja temperature sa etalonskim otpornim termometrom u Orao laboratoriji. Ova metoda je dokumentovana pod nazivom "Uputstvo za etaloniranje otpornih termometara, broj 052/90-E-010". Orao laboratorija je kao etalone koristila platinski otporni termometar Rosemount 162CE (Pt-25) i digitalni multimetar HP3458A. Kao izvor temperature korišćena su temperaturna kalibraciona kupatila Rosemount 910 AC i Scandura EC-6. Za temperature od $-30 ^\circ\text{C}$ do $0 ^\circ\text{C}$ kao medijum za stabilizaciju temperature korišćen je alkohol, za temperature od $50 ^\circ\text{C}$ do $200 ^\circ\text{C}$ silikonsko ulje, a za temperature od $250 ^\circ\text{C}$ do $300 ^\circ\text{C}$ pijesak.

Vrh davača temperature koji se etaloniraju, kao etalonski davač temperature uranjaju se na dubinu koja je oko 15 prečnika termometra u radni fluid temperaturno kalibracionog kupatila. Vrhovi sva tri davača temperature se postavljaju što bliže jedan drugome, kako bi eliminisali uticaj prostorne neuniformnosti temperaturnog kalibracionog kupatila, na tačnost poređena temperatura i proračun mjerne nesigurnosti. Kada se u temperaturnom kalibracionom kupatilu dostigne željena temperaturna tačka, a prije svakog očitavanja izmjerene vrijednosti temperature (otpota na digitalnom multimetru), otporne termometre je potrebno držati najmanje 20 minuta na svakoj mjernoj tački. Ovo je potrebno uraditi, kako bi se davači što bolje stabilizovali na postignutu vrijednost temperature. Time se povećava tačnost mjerenja temperature i smanjuje mjerna nesigurnost. Prema našoj mjernoj metodi predviđeno je da se za svaku mjernu tačku radi po 10 mjerenja. Za rezultat etaloniranja se uzima srednja vrijednost 10 mjerenja. Da bi dodatno smanjili mjernu nesigurnost prilikom etaloniranja putujućeg etalona, za svaku mjernu tačku izvršeno je pet serija od po 10 mjerenja. Pri čemu su te serije ponavljane 5 dana. Za svaku seriju od po 10 mjerenja se prvo izračuna srednja vrijednost. Zatim se izračunava srednja vrijednost od 5 serija mjerenja i ta vrijednost se uzima za konačan rezultat mjerenja.

Obilpo! j{wsTfoji! nkfsfokb-! vsbEfob! kf! qspdkfob! nkfsf! oftjhvsoptuj! {b! twblv! nkfsf! ubDlv! v! tlmbev!

tb! eplvnfoupn! "Procjena mjerne nesigurnosti etaloniranja otpornih termometara od $-50 ^\circ\text{C}$ do $600 ^\circ\text{C}$, broj 052/72-E-039". Jednačina modela za procjenu mjerne nesigurnosti prikazana je sljedećim izrazom

$$Fy!>!Uy!.!Ut!.!Au!.!Dt!+ASte!,!Dy!+ASte \quad (1)$$

hkf!kf;!

$$Fy!^\circ\text{C}^! !HsfTlb!nkfsfokb!ufnqfsbuvsf/!$$

Tx! $^\circ\text{C}^! !$ Ufnqfsbuvsb! j{nkfsfob! sa! puqpsojn! ufsnfnfuspn! lpkj! tf! fubmpojsb!)nkfsfokfn! puqpsoptuj!tb!ejhjubmojn!nvmujnfnfuspn! IQ!3458A).!

Ut! $^\circ\text{C}^! !$ Ufnqfsbuvsb! j{nkfsfob! sa! fubmpotljn! puqpsojn! ufsnfnfuspn! Sptfnpvou! 273DF!)Qu.36*!)nkfsfokfn! puqpsoptuj!tb!ejhjubmojn!nvmujnfnfuspn! IQ!3458A).!

ΔTh $^\circ\text{C}^! -$ Lpsfldjkb! ufnqfsbuvsf! {cph! ofsbwopnkfsf! sbtqpekfmf! ufnqfsbuvsf! v! ufnqfsbuvsopn!j{wpsv/!

Cs $^\circ\text{C}/\Omega^! -$ Osjetljivost etalonskog otpornog termometra (promjena temperature pri promjeni otpora).

Cx $^\circ\text{C}/\Omega^! -$ Osjetljivost etaloniranog otpornog termometra (promjena temperature pri promjeni otpora).!

$\Delta Rsd!$ $^\circ\Omega^! !$ Lpsfldjkb! hsfTlf! qsjlb!b! sf{vmubub! {cph! phsbojDf! sf{pmvdjkb! ejhjubmoph! nvmujnfnfuspn! IQ! 3458A, prilikom mjerenja otpornosti na otpornom termometru.!

[b! twblv! nkfsf! ubDlv! v! lpkpk! kf! sbEfop! fubmpojsbokf! puqpsoph! ufsnfnfuspn! lwboujgjlpwbof! tv! twf! lpnqpfouf! nkfsf! oftjhvsoptuj!j!{qsfeipeof! kfeobDjof! npefmb!)2*/! [bujn! kf! obqsbwmkfo! cveffu! twji! lpnqpfouf! nkfsf! oftjhvsoptu/! Ob! lsbkv! kf! j{sbDvobub! qspTjsfob! nkfsf! oftjhvsoptu-! lpkb! kf! ebub! tb! lpfjgdjkb! qspTjsfokb! l! >! 3/! [b! lpfjgdjkb! qspTjsfokb! l! >! 3! pDflvkfn! eb! Cf! tf! :6&! twji! jtlb{boji! sf{vmubub! nkfsfokb! obmb{juj! v! hsbojdbnb!

$$j\{nkfsfob!wsjkfeoptu!\pm qspTjsfob!nkfsob! oftjhvsoptu/ \quad (2)!$$

III. REZULTATI MEĐULABORATORIJSKIH POREĐENJA

U pilot laboratoriji (LMK Slovenija) su prvo izvršena mjerenja temperature sa putujućim etalomom, prije cirkularnog slanja u ostale laboratorije učesnice međupoređenja. Između mjerenja u pojedinim laboratorijama, pilot laboratorija je još dva puta uradila kontrolno mjerenje, kao i na kraju kada su izvršena mjerenja sa putujućim etalomom u svim laboratorijama učesnicama međupoređenja. Kao referentna vrijednost

temperature izmjerena na putujućem etalonu uzeta je srednja vrijednost ova četiri mjerenja u pilot laboratoriji.

Sve laboratorije učesnice međupoređenja dobile su zadatak, da u jedanaest temperaturnih tačaka pomoću istog mjerača otpornosti izmjere otpor na dva otporna davača temperature. Pilot laboratorija je za svaki otporni davač temperature dala odgovarajuće koeficijente za pretvaranje otpora u temperaturu. Zadatak svih laboratorija učesnica međupoređenja je bio da za svih jedanaest mjernih tačaka izračunaju odstupanje pokazivanja putujućeg etalona, od pokazivanja etalona svake laboratorije. Laboratorije učesnice u međupoređenju nisu znale rezultate pilot laboratorije, kao ni rezultate ostalih laboratorija sve dok kompletan kružni ciklus međupoređenja nije završen. Pojedine laboratorije nisu dale rezultate za sve mjerne tačke. Orlova laboratorija (BA2) nije dala rezultate za tri mjerne tačke -80 °C, -60 °C i -50 °C. Razlog za to leži u činjenici da naše temperaturno kupatilo, koristi gas freon kao rashladni medijum i može da postigne minimalnu temperaturu od -30 °C.

Sve laboratorije su bile dužne da za svaku izmjerenu mjernu tačku izračunaju koeficijent W prema jednačini (3) koja je opisana u međunarodnoj temperaturnoj skali ITS-90. U ovoj jednačini t_x predstavlja temperaturu u stepenu celzijusa na kojoj se vrši proračun koeficijenta W . Izraz $R(0,01\text{ °C})$ predstavlja otpor otpornog termometra u omima na temperaturi trojne

tačke vode. Laboratorije koje nemaju trojnu tačku vode, kao što je Orlova laboratorija, već temperaturu 0 °C postižu pomoću leda, za računanje navedene vrijednosti moraju koristiti formulu (4). U ovoj formuli t_{leda} predstavlja temperaturu, koja je postignuta na tački leda, a Sr koeficijent temperaturne osjetljivosti otpornog termometra, koji se računa po formuli (5).

$$W(t_x\text{ °C}) = \frac{R(t_x\text{ °C})}{R(0,01\text{ °C})} \quad (3)$$

$$R(0,01\text{ °C}) = R(leda) + (0,01\text{ °C} - t_{leda}) * Sr \quad (4)$$

$$Sr = \frac{R(t1) - R(t2)}{t1 - t2} \quad (5)$$

U tabelama I, II i III dati su rezultati međupoređenja za otporni termometar *Tinsly*, a u tabelama IV, V i VI za otporni termometar *Fluke*.

TABELA I. REZULTATI MEĐUPOREĐENJA OTPORNOG TERMOMETRA TINSLY U LABORATORIJAMA IZ SRBIJE, TURSKE I MAKEDONIJE

tem.	LMK		DMDM- RS			UME-TR			BOM- MK		
	W	u(°C)	W	u(°C)	En	W	u(°C)	En	W	u(°C)	En
-80	0.6768138	0.006	0.6768362	0.01	0.31	0.676751	0.007	-0.96			
-60	0.7584307	0.006	0.7584402	0.01	0.18	0.7584181	0.007	-0.30	0.7584351	0.011	0.08
-50	0.7990172	0.006	0.7990223	0.01	0.11	0.7990197	0.007	0.07	0.7990151	0.011	-0.04
-30	0.8797786	0.006	0.8797786	0.009	0.00	0.8797945	0.007	0.51	0.8797711	0.01	-0.18
0	0.9999601	0.006	0.9999601	0.002	0.00	0.9999601	0.00015	0.00	0.9999601	0.004	0.00
50	1.1978389	0.006	1.1978469	0.007	0.26	1.1978425	0.007	0.12	1.1978136	0.008	-0.74
100	1.3927024	0.006	1.3927029	0.009	0.01	1.3927089	0.01	0.16	1.3926691	0.012	-0.69
150	1.5845839	0.006	1.5845696	0.011	-0.33	1.5845879	0.01	0.10	1.5845526	0.012	-0.67
200	1.7735105	0.006	1.7734849	0.013	-0.51	1.7735058	0.01	-0.12	1.7734883	0.013	-0.44
250	1.9595092	0.006	1.9594863	0.011	-0.52	1.9594894	0.01	-0.49	1.9595007	0.013	-0.17
300	2.1426086	0.006	2.1426069	0.012	-0.04	2.1425622	0.02	-0.62	2.1426115	0.014	0.06

TABELA II. REZULTATI MEĐUPOREĐENJA OTPORNOG TERMOMETRA TINSLY U LABORATORIJAMA IZ CRNE GORE, ALBANIJE I HRVATSKE

tem.	LMK		MBM- ME			DPM-AL			MHSC- HR1		
	W	u(°C)	W	u(°C)	En	W	u(°C)	En	W	u(°C)	En
-80	0.6768138	0.006	0.676752	0.02	-0.61	0.6768465	0.030	0.24			
-60	0.7584307	0.006	0.7583674	0.02	-0.73	0.7584425	0.027	0.10	0.7584497	0.011	0.35
-50	0.7990172	0.006	0.7989579	0.02	-0.70	0.7990221	0.024	0.05	0.7990183	0.011	0.02
-30	0.8797786	0.006	0.879736	0.02	-0.52	0.8797762	0.022	-0.03	0.8797631	0.011	-0.34
0	0.9999601	0.006	0.9999601	0.02	0.00	0.9999601	0.016	0.00	0.9999601	0.013	0.00
50	1.1978389	0.006	1.1978309	0.02	-0.10	1.1978351	0.022	-0.04	1.1978289	0.015	-0.17
100	1.3927024	0.006	1.392694	0.02	-0.11	1.3927001	0.024	-0.02	1.3926882	0.015	-0.24

150	1.5845839	0.006	1.5845776	0.02	-0.08	1.5845834	0.027	0.00	1.5845664	0.017	-0.27
200	1.7735105	0.006	1.7735077	0.02	-0.04	1.773511	0.030	0.00	1.7734893	0.017	-0.33
250	1.9595092	0.006	1.9595111	0.02	0.03	1.9595096	0.033	0.00			
300	2.1426086	0.006	2.142611	0.02	0.03						

TABELA III. REZULTATI MEĐUPOREĐENJA OTPORNOG TERMOMETRA TINSLY U LABORATORIJAMA IZ BOSNE I HERCEGOVINE I UMNIK KOSOVA

	LMK		IMBiH- BA1			Orao-BA2			DMK- KOS		
tem.	W	u(°C)	W	u(°C)	En	W	u(°C)	En	W	u(°C)	En
-80	0.6768138	0.006									
-60	0.7584307	0.006							0.758363	0.05	-0.33
-50	0.7990172	0.006							0.7989498	0.05	-0.33
-30	0.8797786	0.006	0.8797798	0.016	0.02	0.8797255	0.055	-0.24	0.8797262	0.05	-0.26
0	0.9999601	0.006	0.9999601	0.0161	0.00	0.9999603	0.054	0.00	0.9999601	0.05	0.00
50	1.1978389	0.006	1.1978616	0.0139	0.23	1.1978299	0.057	-0.04	1.1979193	0.05	0.41
100	1.3927024	0.006	1.3927438	0.0248	0.44	1.3926974	0.055	-0.02	1.3927419	0.05	0.20
150	1.5845839	0.006	1.5846352	0.0243	0.52	1.5845905	0.055	0.03	1.5845294	0.05	-0.29
200	1.7735105	0.006	1.7735625	0.0257	0.47	1.7735349	0.055	0.12	1.7733744	0.05	-0.72
250	1.9595092	0.006	1.9595526	0.029	0.46	1.9595569	0.11	0.12	1.9593642	0.1	-0.39
300	2.1426086	0.006				2.1426795	0.43	0.05	2.1425775	0.1	-0.09

TABELA IV. REZULTATI MEĐUPOREĐENJA OTPORNOG TERMOMETRA FLUKE U LABORATORIJAMA IZ SRBIJE, TURSKE I MAKEDONIJE

	LMK		DMDM- RS			UME-TR			BOM- MK		
tem.	W	u(°C)	W	u(°C)	En	W	u(°C)	En	W	u(°C)	En
-80	0.6768184	0.006	0.6768293	0.01	0.25	0.6768087	0.007	-0.31			
-60	0.7584202	0.006	0.7584089	0.01	-0.27	0.7584223	0.007	0.07	0.7584166	0.011	-0.08
-50	0.7990031	0.006	0.7989863	0.01	-0.40	0.7990084	0.007	0.17	0.7990010	0.011	-0.05
-30	0.8797636	0.006	0.8797461	0.008	-0.51	0.8797714	0.007	0.26	0.8797640	0.01	0.01
0	0.9999601	0.006	0.9999601	0.0025	0.00	0.9999601	0.00015	0.00	0.9999601	0.004	0.00
50	1.1978509	0.006	1.1978478	0.007	-0.10	1.1978585	0.007	0.25	1.1978556	0.008	0.14
100	1.3927314	0.006	1.3927341	0.009	0.07	1.3927436	0.01	0.29	1.3927397	0.012	0.17
150	1.5846307	0.006	1.5846426	0.011	0.26	1.5846439	0.01	0.32	1.5846413	0.012	0.22
200	1.7735745	0.006	1.7735948	0.013	0.40	1.7735854	0.01	0.27	1.7735868	0.013	0.24
250	1.9595905	0.006	1.9596134	0.011	0.52	1.9595949	0.01	0.11	1.9596034	0.013	0.26
300	2.1427010	0.006	2.1427182	0.012	0.36	2.1426958	0.02	-0.07	2.1427149	0.014	0.25

TABELA V. REZULTATI MEĐUPOREĐENJA OTPORNOG TERMOMETRA FLUKE U LABORATORIJAMA IZ CRNE GORE, ALBANIJE I HRVATSKE

	LMK		MBM- ME			DPM-AL			MHSC- HR1		
tem.	W	u(°C)	W	u(°C)	En	W	u(°C)	En	W	u(°C)	En
-80	0.6768184	0.006	0.6767965	0.02	-0.27	0.6768136	0.033	-0.04			
-60	0.7584202	0.006	0.7584014	0.02	-0.23	0.7584227	0.027	0.02	0.7584138	0.011	-0.15
-50	0.7990031	0.006	0.7989865	0.02	-0.20	0.7990075	0.024	0.04	0.7989908	0.011	-0.28
-30	0.8797636	0.006	0.8797534	0.02	-0.13	0.8797695	0.020	0.07	0.8797493	0.011	-0.33
0	0.9999601	0.006	0.9999601	0.02	0.00	0.9999601	0.015	0.00	0.9999601	0.013	0.00
50	1.1978509	0.006	1.1978489	0.02	-0.03	1.1978568	0.022	0.07	1.1978453	0.015	-0.10
100	1.3927314	0.006	1.3927311	0.02	0.00	1.3927422	0.025	0.11	1.3927216	0.015	-0.17
150	1.5846307	0.006	1.5846335	0.02	0.04	1.5846446	0.027	0.13	1.5846171	0.016	-0.21

200	1.7735745	0.006	1.7735809	0.02	0.08	1.7735902	0.030	0.14	1.7735580	0.016	-0.26
250	1.9595905	0.006	1.9595986	0.02	0.11	1.9596056	0.033	0.12			
300	2.1427010	0.006	2.1427087	0.02	0.10						

TABELA VI. REZULTATI MEĐUPOREĐENJA OTPORNOG TERMOMETRA FLUKE U LABORATORIJAMA IZ BOSNE I HERCEGOVINE I UMNİK KOSOVA

	LMK		IMBiH- BA1			Orao-BA2			DMK- KOS		
tem.	W	u(°C)	W	u(°C)	En	W	u(°C)	En	W	u(°C)	En
-80	0.6768184	0.006									
-60	0.7584202	0.006							0.7583334	0.05	-0.43
-50	0.7990031	0.006							0.7989251	0.05	-0.38
-30	0.8797636	0.006	0.8797682	0.016	0.07	0.8797185	0.054	-0.21	0.8797113	0.05	-0.26
0	0.9999601	0.006	0.9999601	0.016	0.00	0.9999601	0.054	0.00	0.9999601	0.05	0.00
50	1.1978509	0.006	1.1978645	0.014	0.14	1.1978509	0.057	0.00	1.1978901	0.05	0.20
100	1.3927314	0.006	1.3927580	0.024	0.29	1.3927320	0.054	0.00	1.3927378	0.05	0.03
150	1.5846307	0.006	1.5846689	0.023	0.40	1.5846318	0.055	0.01	1.5845892	0.05	-0.22
200	1.7735745	0.006	1.7736233	0.025	0.46	1.7735762	0.055	0.01	1.7735234	0.05	-0.27
250	1.9595905	0.006	1.9596479	0.028	0.62	1.9595917	0.11	0.00	1.9596149	0.1	0.07
300	2.1427010	0.006				2.1427018	0.43	0.00	2.1429309	0.1	0.63

Za svaku mjernu tačku laboratorije su bile dužne da izračunaju proširenu mjernu nesigurnost, koje su prikazane u predhodnim tabelama.

U Orlovoj laboratoriji (BA2) urađena je procjenu mjerne nesigurnosti na osnovu "Uputstva za izračunavanje mjerne nesigurnosti prilikom etaloniranja otpornih termometara". Poredeći naše mjerne nesigurnosti, sa mjernim nesigurnostima koje su iskazale ostale laboratorije, može se odmah primjetiti da su naše mjerne nesigurnosti 2 do 8 puta veće u odnosu na ostale laboratorije, osim laboratorije DMK iz Prištine. Razlog naše veće mjerne nesigurnosti, leži u tome što je naša mjerna oprema (kalibraciona kupatila i etaloni temperature) znatno starija, od opreme koju posjeduju ostale laboratorije učesnice međupoređenja, a koje su sve nosioci nacionalnih etalona temperature u svojim državama i posjeduju najnoviju mjernu opremu. Pored toga, za metrologe iz nacionalnih laboratorija su u zadnjih nekoliko godina organizovane razne dodatne obuke, vezane za etaloniranja iz oblasti temperatura, kao i proračuna mjerne nesigurnosti. Orlova laboratorija (BA2) i Laboring d.o.o. (HR-2) laboratorija iz Zagreba su ovom međupoređenju jedine učesnice iz oblasti industrijskih laboratorija.

Iz prikazanih rezultata se može uočiti, da je najmanju mjernu nesigurnost iskazala nacionalna laboratorija iz Turske. To nije nimalo slučajno, jer je zadnjih godina Turska država posvetila puno pažnje osavremenjavanju svojih metroloških laboratorija. Posljedica toga je i činjenica da Turska privreda svake godine ima ubrzan rast industrijske proizvodnje i izvoza. Ovo treba da posluži kao dobra preporuka za sve zemlje bivše Jugoslavije, da ako žele povećati industrijsku proizvodnju, moraju puno više ulagati u metrologiju, koja predstavlja temelj na kome počiva sva proizvodnja i razvoj novih proizvoda. Bez razvijene metrologije nema ni izvoza proizvoda u zemlje evropske unije.

Sve laboratorije učesnice ovog međupoređenja su bile dužne da za svaki otporni termometar osim koeficijenta W izračunaju za negativne temperature i koeficijente a i b , a za pozitivne temperature koeficijente a , b i c . Ovi koeficijenti su računati uz primjenu regresione analize, ali to neće biti detaljnije opisano u ovom radu.

IV. ISKAZIVANJE REZULTATA PREKO EN BROJA

Jedan od najboljih načina za analizu rezultata međupoređenja je E_n broj. Ovaj broj se računa prema formuli

$$E_n = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad (6)$$

gdje je:

- x_{lab} pojedinačni rezultat mjerenja u laboratoriji učesnici međupoređenja,
- x_{ref} rezultat mjerenja u pilot laboratoriji,
- U_{lab} proširena mjerna nesigurnost ($k = 2$) mjerenja u laboratoriji učesnici međupoređenja,
- U_{ref} proširena mjerna nesigurnost ($k = 2$) mjerenja u pilot laboratoriji.

Kriterijum za ocjenu kvaliteta međupoređenja zasnovan na E_n broju se iskazuje preko izraza

$$|E_n| \leq 1 \quad \text{rezultati su zadovoljavajući} \quad (7)$$

$$|E_n| \geq 1 \text{ rezultati nisu zadovoljavajući} \quad (8)$$

Rezultati međupoređenja iskazani preko E_n broja prikazani su u predhodnim tabelama. Na osnovu ovih rezultata može se uočiti da kod svih laboratorija, koje su učestvovala u međupoređenju nijedan rezultat mjerenja nije imao E_n broj veći od 1 ili manji od -1.

Mi smo u Orlovoj laboratoriji zadovoljni sa dobijenim rezultatima. Mala vrijednost E_n broja za Orlovu laboratoriju znači da smo za naše rezultate mjerenja mogli da damo i manju mjernu nesigurnost, ali i da su naši mjerni rezultati vrlo bliski referentnim vrijednostima za svaku mjernu tačku. Međutim, mi smo prije svega zadovoljni što smo dobili mogućnost da kao industrijska laboratorija učestujemo u međulaboratorijskom poređenju sa nacionalnim laboratorijama. Takođe ono što je značajno, je da smo potvrdili našu akreditovanu mjernu metodu i proračun mjerne nesigurnosti. Učešće u ovo međupoređenje je značajno proširilo naša znanja iz oblasti etaloniranja otpornih termometara. Ovo će za nas predstavljati podstrek da dalje radimo na usavršavanju ove mjerne metode, ali i drugih mjernih metoda iz oblasti temperatura. Poseban značaj čini saznanje da možemo da planiramo smanjivanje mjerne nesigurnosti, koju pridružujemo mjernim rezultatima.

V. ZAKLJUČAK

Međulaboratorijskim poređenjem koje je vršeno između jedanaest laboratorija iz različitih balkanskih zemalja, u potpunosti je potvrđena mjerna metoda za etaloniranje otpornih termometara, koja se koristi u laboratoriji Orao a.d. Takođe se potvrdila i naša procjena mjerne nesigurnosti za izvršeno etaloniranje.

Međupoređenja rezultata mjerenja su jedan od osnovnih načina dokazivanja realnih procjena mjernih nesigurnosti. Dok se rade mjerenja samo u jednoj laboratoriji, uvijek je moguća neusklađenost između iskazanih i stvarnih rezultata mjerenja i mjernih nesigurnosti. Navedeno međulaboratorijsko poređenje je značajno proširilo naša znanja vezana za mjerenja temperature pomoću otpornih termometara, ali druga znanja vezana za generisanje i mjerenje temperature pomoću drugih davača temperature. Posebno su nam bili korisni savjeti vezani za regresionu analizu koja se koristi za proračun koeficijentata otpornih termometara. Time smo potvrdili našu usaglašenost prema međunarodnim standardima i obezbjeđenje pouzdanosti rezultata etaloniranja.

Učestvovanjem u međupoređenjima metrolozi uvijek stiču nova saznanja o mjernim metodama i proračunima mjerne

nesigurnosti. Upoznaju se metrolozi, oprema i mjerne metode u drugim laboratorijama. Tako dolazi do vrlo korisnih razmjena informacija i znanja između metrologa. Sva nova znanja koja se stiču za jednu mjernu metodu, mogu da se poslije primjene i na druge mjerne metode, kao i postupke procjene mjerne nesigurnosti.

LITERATURA

- [1] Guide to the Expression of the Uncertainty in Measurement, ISO, 1993.
- [2] The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), 1990.
- [3] Biljana Petrić, Srdan Damjanović, "Uputstvo za etaloniranje otpornih termometara, broj 052/90-E-010," *Orao a.d.*, 2006.
- [4] S. Damjanović, B. Petrić, P. Katanić, "Međulaboratorijsko poređenje mjerenja temperature između 7 laboratorija," *Zbornik radova sa Simpozijuma INFOTEH 2013*, PRS-2, str. 490-494, Jahorina 2013.
- [5] Srdan Damjanović, Biljana Petrić, "Međulaboratorijsko poređenje mjerenja DC struje između Czech Metrology Institute i Orla," *Zbornik radova sa Kongresa metrologa Srbije 2013*, Borsko jezero 2013.

ABSTRACT

The work describes inter-laboratory comparisons of temperature measurements obtained with the digital multimeter Agilent 34401A with two 25 Ω platinum resistance thermometers applied at 11 measurement points. Comparisons were made between the LMK laboratory in Slovenia acting as a pilot laboratory, and laboratories from Albania, Bosnia & Herzegovina, Montenegro, Croatia, Macedonia, Serbia, Turkey and Kosovo*. (*This designation is without prejudice to positions on status and is in line with UNSC 1244 and the ICJ opinion on the Kosovo Declaration of Independence)

The meteorological laboratory located within ORAO in Bijeljina was one of two laboratories from Bosnia & Herzegovina which participated in this inter-laboratory comparison process. ORAO laboratory employed for calibration aims the platinum resistance thermometer Rosemount© 162CE and as display resistance/temperature the digital multimeter HP3458A. The aim of the comparison was the validation of measurement techniques for the calibration of resistance thermometers at ORAO as well as the attainment of measurement uncertainty embeded in this measuring approach.

Inter-laboratory Comparisons of Temperature Measurements with two resistance thermometers

Key words - comparison; calibration; measurement uncertainty; resistance thermometer;

Srdjan Damjanovic, Biljana Petric, Predrag Katanic