

**POREĐENJE LABORATORIJA ZA KONTROLISANJE BROJILA ELEKTRIČNE ENERGIJE
U „ELEKTRODISTRIBUCIJI SRBIJE”**

**COMPARISON OF THE LABORATORIES FOR INSPECTION OF ELECTRICITY METERS
IN ELEKTRODISTRIBUCIJA SRBIJE LTD BELGRADE**

Tatjana CINCAR – VUJOVIĆ, „Elektrodistribucija Srbije” d.o.o. Beograd, Srbija
Ivana NARANČIĆ, Dejan RADOSAVLJEVIĆ, Aleksandar NIKOLIĆ,
Zoran MAKSIMOVIĆ, Petar DEAK, „Elektrodistribucija Srbije” d.o.o. Beograd, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati poređenja laboratorija za kontrolisanje brojila električne energije u „Elektrodistribuciji Srbije”. Cilj sprovedenih aktivnosti ispitivanja osposobljenosti je bio obezbeđenje uslova za potvrđivanje mernih mogućnosti kontrolisanja brojila električne energije kao i provera tehničke kompetentnosti resursa laboratorija prema standardu SRPS ISO/IEC 17020.

U ovom poređenju jednakih, jedna od 16 laboratorija u „Elektrodistribuciji Srbije” izabrana je za dogovorenu, referentnu vrednost, a za evaluaciju rezultata merenja korišćen je E_n broj.

Statističkom procenom uporedivosti rezultata merenja dobijenih u različitim laboratorijama, obezbeđeno je prepoznavanje i prihvatanje rezultata merenja, koji imaju veći značaj od pojedinačnog rezultata, a nesigurnost ovog tipa merenja okarakterisano je kao laboratorijsko merenje većeg značaja.

Razvijanjem tehničke i merne sposobnosti laboratorija za kontrolisanje brojila električne energije u „Elektrodistribuciji Srbije” one postaju manje osetljive na tehnološku evoluciju i potvrđivanjem pouzdanosti merenja dokazuju valjan rezultat.

***Ključne reči:** ispitivanje osposobljenosti, merna nesigurnost, evaluacija rezultata*

ABSTRACT

The paper presents the results of the interlaboratory comparison of the laboratories for inspection of electricity meters in Elektrodistribucija Srbije Ltd. Belgrade. The aim of the conducted proficiency testing activities was to provide conditions for confirming the measurement possibilities for inspection of electricity meters as well as checking the technical competence of resources in laboratories according to the SRPS ISO / IEC 17020 standard.

In this comparison of equals, one of the 16 laboratories in Elektrodistribucija Srbije ltd. Belgrade was chosen as the agreed, reference value, and E_n number was used to evaluate the measurement results.

Statistical evaluation of the comparability of measurement results obtained in different laboratories, provides recognition and acceptance of measurement results, which are more important than the individual result, and the uncertainty of this type of measurement is characterized as laboratory measurement of greater importance.

Developing of technical and measuring possibility of laboratories for inspection of electricity meters in Elektrodistribucija Srbije Ltd. Belgrade, they become less sensitive to technological evolution, confirm the reliability of measurement and they prove a valid result.

***Key words:** proficiency testing, measurement uncertainty, evaluation of results*

UVOD

Međulaboratorijska poređenja i ispitivanja osposobljenosti su veoma važan aspekt kontrole kvaliteta rezultata merenja i nedvosmislena potvrda kompetentnosti laboratorija.

Laboratorije mogu učestvovati i/ili same organizovati međulaboratorijska poređenja, pri čemu se validnost rezultata merenja dobijenih u različitim laboratorijama, statistički procenjuje.

Neminovnost i potreba uključivanja ovlašćenih tela za overavanje merila u domaće i regionalne šeme provere stručnosti, kao jednog od najznačajnijih kriterijuma za procenu uporedivosti rezultata merenja, obezbeđuje prepoznavanje i prihvatanje rezultata merenja, a sve u svrhu uklanjanja tehničkih barijera u trgovini na zajedničkom evropskom tržištu.

Na osnovu evaluacije karakteristika izvođenja merenja i rezultata merenja, donosi se odluka o poboljšanju procesa merenja u laboratorijama.

MEDULABORATORIJSKO POREĐENJE

Međulaboratorijsko poređenje (*interlaboratory comparison* - ILC) je organizovanje izvođenja i vrednovanja rezultata merenja istih ili sličnih mernih sredstava koje su sprovele dve ili više laboratorija u skladu sa unapred utvrđenim uslovima.

Ispitivanje osposobljenosti (*Proficiency testing* - PT) je utvrđivanje sposobnosti laboratorija za ispitivanje/etaloniranje, za specifična ispitivanja ili merenja, pa i kontrolisanja, kroz učestvovanje u međulaboratorijskim poređenjima.

Kada se utvrđuje sposobnost organizacija da rade kao ovlašćena, kontrolna tela za overavanje merila (laboratorije kao kontrolna tela) u poslovima potvrđivanja usaglašenosti merila sa propisanim tehničkim i metrološkim zahtevima, primarno se razmatra njihova kompetentnost i tehnička osposobljenost u odnosu na zahteve standarda SRPS ISO/IEC 17020 i kriterijume postavljene zakonskom legislativom.

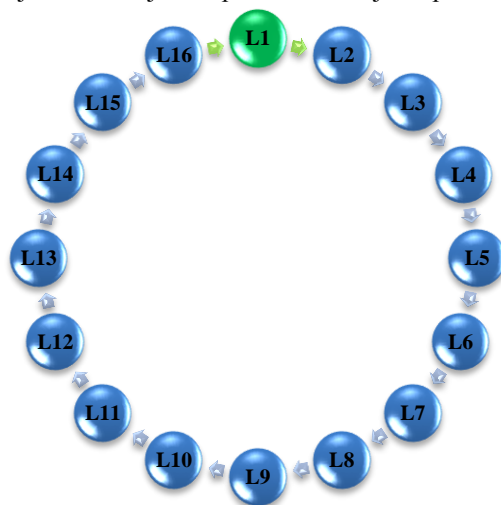
Polazeći od činjenice da su međulaboratorijska poređenja, između akreditovanih tela koja obavljaju kontrolisanje i koja su ovlašćena za overavanje merila, odnosno potvrđivanje usaglašenosti merila sa propisanim tehničkim i metrološkim zahtevima, neminovna i pri utvrđivanju i osiguranju poverenja u rezultate merenja, propisani zahtevi i preporuke zasnovani su na međunarodnim standardima, preporukama i smernicama.

IZBOR PT ŠEME

Oslanjajući se na dosadašnja iskustva u međulaboratorijskim poređenjima sa Nacionalnom Metrološkom Institucijom (NMI), laboratorije za kontrolisanje brojila električne energije u „Elektrodistribuciji Srbije” oprobale su se u ulozi PT provajdera šeme međulaboratorijskih poređenja za sopstvene laboratorije.

I pored činjenice da „Elektrodistribucija Srbije” nije akreditovana kao PT provajder, u realizaciji ovog projekta poštovali se zahtevi standarda ISO/IEC 17043.

Interna PT šema 16 laboratorija za kontrolisanje brojila električne energije u „Elektrodistribuciji Srbije” organizovana je kao kružno poređenje jednakih, prikazano na slici 1, pri čemu je za dogovorenu referentnu vrednost izabrana jedna laboratorija, usvojena od učesnika poređenja jednakih i to laboratorija L1 koja je imala ulogu pilot laboratorije zbog čega je laboratorija L1 sprovela merenja na početku i na kraju interne PT šeme.



SLIKA 1 PT ŠEMA - KRUŽNO POREĐENJE

Dobra organizacija međulaboratorijskog poređenja podrazumevala je izradu Protokola u kojem su bili definisani priroda i svrha PT šeme, raspored izvršenja poređenja, izbor artefakta, informacije o transportu i rukovanju artefaktom, planirano, limitirano vreme izvođenja merenja, informacije o metodi merenja i procedurama, odgovornost za sprovođenje merenja u definisanim mernim tačkama, naznaka sprovođenje statističke analize rezultata merenja koja će biti sprovedena sa predočenim načinom definisanja dogovorene, referentne vrednosti, način evaluacije rezultata merenja, kriterijum za pozitivnu ocenu, u skladu sa SRPS ISO/IEC 17043, kao i odgovornost za izradu nacrtu i konačnog izveštaja o međulaboratorijskog poređenju.

Precizno, elektronsko brojilo električne energije je bilo izabrano za artefakt. Merenja u laboratorijama su se sprovodila u referentnim uslovima, a vrednosti temperature sredine i relativne vlažnosti u toku merenja, referisane su zajedno sa rezultatima merenja.

Protokolom je bilo definisano merenje na jednom merno-ispitnom sistemu u laboratoriji koja ima više merno-ispitnih sistema. Laboratorije su referisale srednje vrednosti rezultata 10 uzastopnih merenja u zadatim mernim tačkama.

Sva etalon brojila električne energije, koja su laboratorije koristile u merenju, slediva su do nacionalnog etalona, imaju deklarisanu tačnost 0,05 % i pridruženu mernu nesigurnost koja je za svako etalon brojilo električne energije dato u njemu pripadajućem Uverenju o etaloniranju prema SRPS ISO/IEC 17025.

Očekivani izvori merne nesigurnosti su bili:

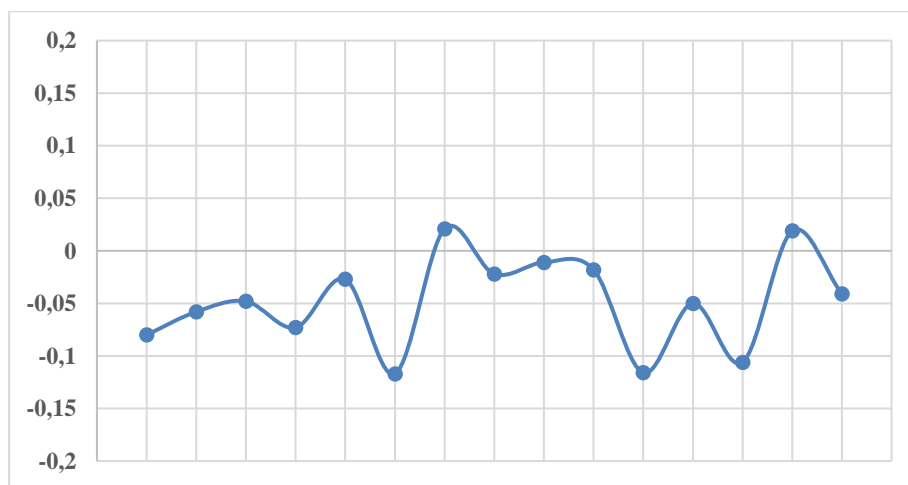
- Tip A, statistički rezultati dobijeni merenjem i
- Tip B, nesigurnost metode, odnosno merno-ispitnog sistema (etalon brojila električne energije).

Od međusobno nekorelisane merne nesigurnosti tipa A i tipa B, određena je standardna kombinovana merna nesigurnost i proširena (kombinovana) merna nesigurnost što predstavlja krajnji cilj obrade mernih podataka.

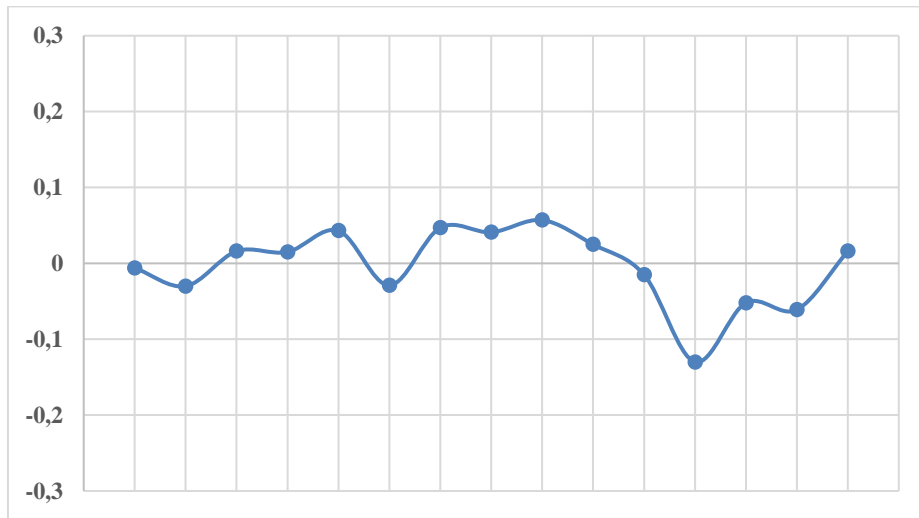
REZULTATI MERENJA

Pojedinačni rezultati merenja laboratorija od L1 do L16, za četiri merne tačke, prikazani su na grafikonima od 1 do 4.

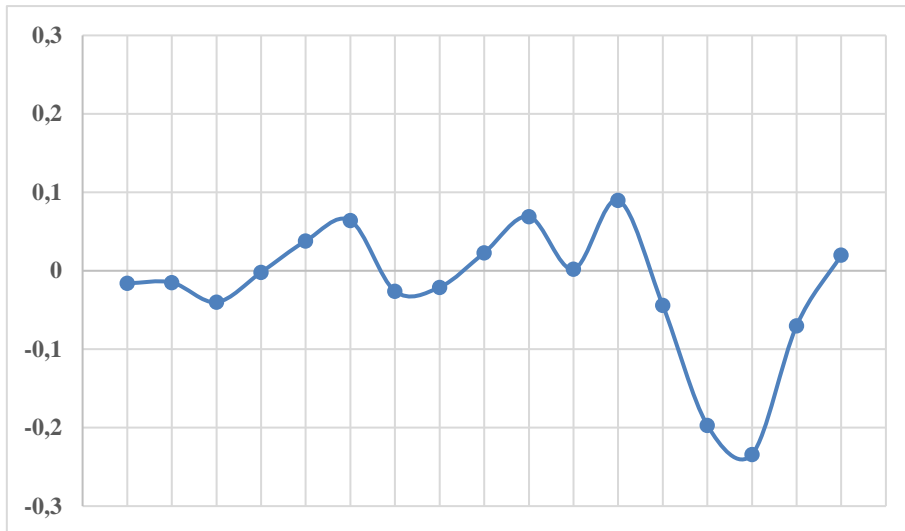
Grafikon 1. Rezultati merenja za mernu tačku trofazno uravnoteženo opterećenje I_n , $\cos\varphi = 1$



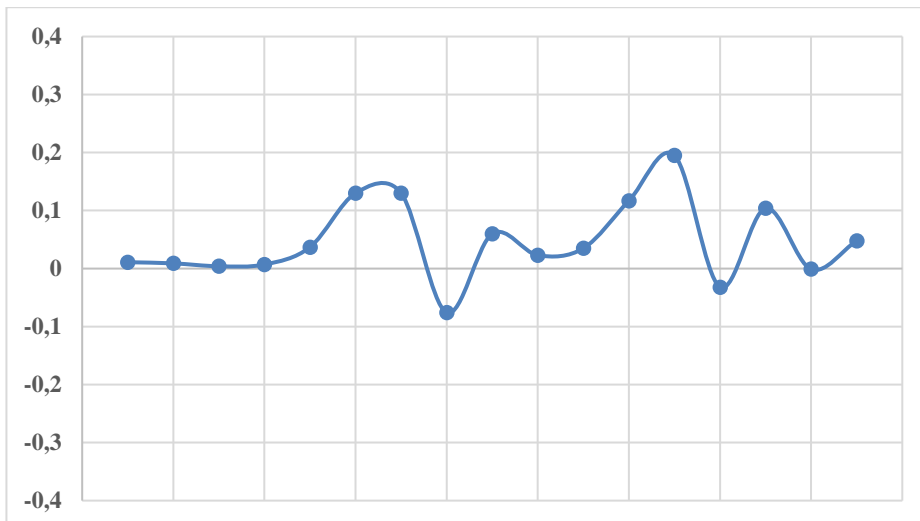
Grafikon 2. Rezultati merenja za mernu tačku trofazno uravnoteženo opterećenje I_n , $\cos\varphi = 0,5$ induktivno



Grafikon 3. Rezultati merenja za mernu tačku jednofazno opterećenje I_n , $\cos\varphi = 1$



Grafikon 4. Rezultati merenja za mernu tačku jednofazno opterećenje I_n , $\cos\varphi = 0,5$ induktivno



PROCENA MERNE NESIGURNOSTI

Relativna greška merenja data je matematičkim modelom merenja:

$$e = e_{sr} + \delta_E + \delta_U \quad (1)$$

gde su:

e - relativna greška merenja, u procentima (%),

e_{sr} - srednja vrednost 10 izmerenih relativnih grešaka merenja, u procentima (%),

δ_E - korekcija relativne greške zbog specifikacija referentnog etalona koje je dao proizvođač, u procentima (%),

δ_U - korekcija relativne greške zbog merne nesigurnosti etaloniranja referentnog etalona, u procentima (%).

Izvori nesigurnosti saglasno modelu merenja (1) su:

1) Nesigurnost usled ponavljanja merenja, tip A, normalna (Gausova) raspodela, broj stepeni slobode 9;

2) Nesigurnost etalon brojila električne energije u laboratoriji, tip B, pravougaona (ravnomerna, uniformna) raspodela, broj stepeni slobode beskonačan;

3) Nesigurnost usled etaloniranja etalon brojila električne energije, tip B, normalna raspodela, broj stepeni slobode 50.

Imajući u vidu karakteristike artefakta kao što su stabilnost, opseg, tačnost, kao i vrstu merenja, nesigurnost usled dugoročne stabilnosti etalon brojila električne energije, temperature sredine, kao i uticaj kablova, su zanemareni.

Za nekorelisane ulazne veličine kombinovana standardna nesigurnost data je formulom:

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^N (c_i u(x_i))^2 \quad (2)$$

gde su:

u_c - kombinovana standardna nesigurnost,

c_i - koeficijenti osetljivosti,

$u(x_i)$ - standardna nesigurnost pojedinih veličina iz formule (1).

Efektivni broj stepeni slobode je računat prema Welch – Satterthwaite formuli:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (3)$$

gde su:

v_{eff} - efektivni broj stepeni slobode,

u_c - kombinovana standardna nesigurnost,

u_i - standardna nesigurnost pojedinih veličina iz formule (1),

v_i - efektivni broj stepeni slobode za nesigurnost pojedinih veličina.

PRORAČUN BUDŽETA MERNE NESIGURNOSTI

Sve laboratorije, učesnice interne PT šeme, su referisale vrednosti rezultata merenja i pridružene merne nesigurnosti. Proračun budžeta merne nesigurnosti sa detaljima merne nesigurnosti, data je na primeru rezultata prvog merenja laboratorije L1 u specifičnoj formi budžeta merne nesigurnosti prikazanoj u tabeli 1.

Tabela 1 Budžet merne nesigurnosti laboratorije L1
za mernu tačku trofazno uravnoteženo opterećenje $I_n, \cos\varphi = 1$, za prvo merenje

Veličina X_i	Procena x_i (%)	Standardna merna nesigurnost $u(x_i)$ (%)	Raspodela verovatnoće / Metoda vrednovanja (A, B)	Koeficijent osetljivosti c_i	Relativni doprinos merne nesigurnosti $c_i u(x_i)$ (%)	Broj stepeni slobode ν_i
e_{sr}	-0,08	0,0218	Normalna/ Tip A	1	0,0218	9
δ_E	0	0,028868	Pravougaona/ Tip B	1	0,028868	∞
δ_U	0	0,006	Normalna/ Tip B	1	0,006	50
$e =$	-0,08					$\nu_{eff} = 72,42$
		Kombinovana standardna merna nesigurnost				$u_C = 0,03664$
		Proširena merna nesigurnost (95 % faktor obuhvata ≈ 2)				$U = 0,07$

EVALUACIJA REZULTATA

Za evaluaciju rezultata i proračun ekvivalentnosti laboratorija učesnica, kako je pomenuto u tehničkom portokolu, korišćen je E_n broj. Za računanje je primenjena formula:

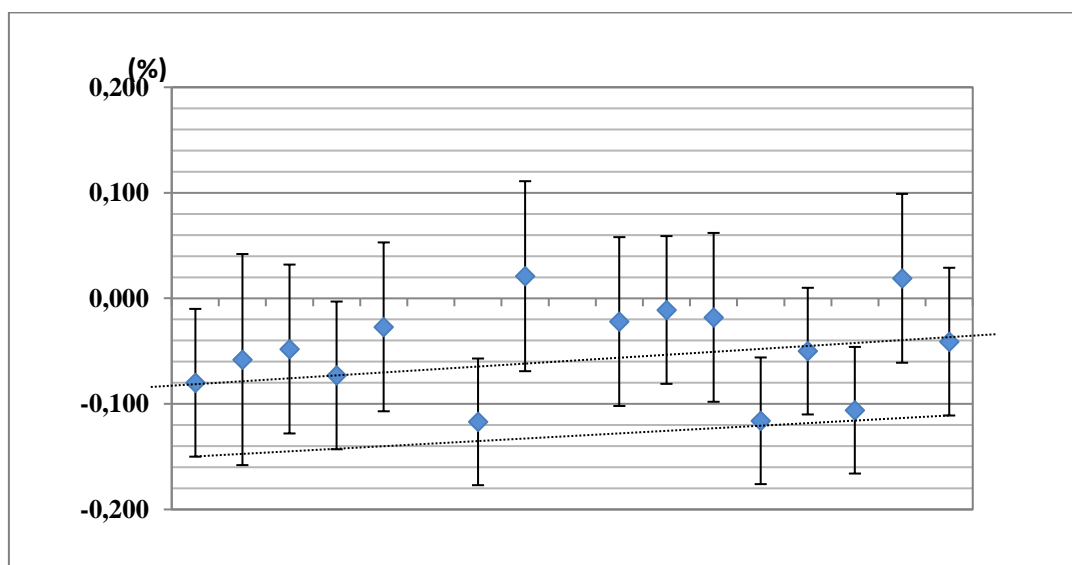
$$E_n = (\Delta x_{lab} - \Delta x_{ref}) / \sqrt{(U_{lab}^2 + U_{ref}^2)} \quad (4)$$

E_n broj predstavlja količnik razlike rezultata laboratorije učesnice i dogovorene referentne vrednosti i kvadratnog korena sume kvadrata merne nesigurnosti laboratorije učesnice za određeni rezultat i kvadrata merne nesigurnosti usvojene, dogovorene referentne vrednosti. Ako je apsolutna vrednost E_n broja laboratorije u PT šemi manja ili jednaka jedinici, laboratorija je potvrdila svoje deklarirane merne mogućnosti.

Vrednosti relativnih grešaka izmerenih u pilot laboratoriji su srednje vrednosti rezultata merenja pre i posle merenja u laboratorijama učesnicama međulaboratorijskog poređenja.

Rezultati proračuna E_n broja za mernu tačku trofazno uravnoteženo opterećenje $I_n, \cos\varphi = 1$, pokazali su da je apsolutna vrednost E_n broja, za sve laboratorije učesnice poređenja, u opsegu od 0,020 do 0,748, čime je potvrđena ekvivalentnost. Na grafikonu 5 su prikazane izračunate vrednosti za ekvivalentnost za datu mernu tačku.

Grafikon 5 Rezultati proračuna E_n
za mernu tačku trofazno uravnoteženo opterećenje $I_n, \cos\varphi = 1$



Rezultati proračuna E_n broja za zadatu mernu tačku, za sve laboratorije učesnice poređenja su $|E_n| \leq 1$, čime su sve laboratorije za kontrolisanje brojila u ODS „EPS Distribuciji” zadovoljile kriterijum i potvrdile mernne mogućnosti.

ZAKLJUČAK

Imajući u vidu da je ovo međulaboratorijsko poređenje, kao interna PT šema, u svemu sprovedeno u skladu sa SRPS ISO/IEC 17043, da je obuhvatilo sve laboratorije „Elektrodistribucije Srbije” iz oblasti kontrolisanja brojila električne energije, kao i sveukupne rezultate koji su prikazani, može se zaključiti da je ceo projekat uspešno završen.

Rezultati interne PT šeme su pokazali da je apsolutna vrednost E_n broja, manja od 1, u svim laboratorijama za kontrolisanje brojila u „Elektrodistribuciji Srbije”, čime je potvrđena ekvivalentnost za metode merenja.

Posebna vrednost ovih rezultata je činjenica da su prilikom merenja istog uzorka brojila električne energije (artefakt), istom mernom metodom u dokumentovanom sistemu menadžmenta SRPS ISO/IEC 17020, korišćena etalon brojila električne energije, različitih proizvođača.

Organizovanje i sprovođenje interne PT šeme, je važan aspekt kontrole kvaliteta rezultata merenja svih laboratorija za kontrolisanje brojila u „Elektrodistribuciji Srbije” i nedvosmislena potvrda kompetentnosti svih tih laboratorija. Internom PT šemom, procenjeni su nivoi performansi laboratorija za kontrolisanje brojila u „Elektrodistribuciji Srbije” i utvrđena je sposobnost svake od tih laboratorije za specifična kontrolisanja preciznih brojila električne energije najbolje klase tačnosti.

Sprovedena interna PT šema nije samo dokazivanje tehničke kompetentnosti resursa laboratorija za kontrolisanje brojila u „Elektrodistribuciji Srbije”, već je dodatna mogućnost za stalno napredovanje i potvrđivanje mogućnosti merenja.

Koristi PT šema ogledaju se i u proceni nivoa performansi laboratorija u određenom trenutku u odnosu na odgovarajući standard, u poređenju postojećih performansi sa prethodnim, u proceni da li vremenom dolazi do opšteg poboljšavanja performansi, u obezbeđivanju identifikovanja onih laboratorija čije su performanse nezadovoljavajuće i preduzimanje efektivnih korektivnih mera kao i na upozorenje na pad u performansama laboratorije u svrsi podsticanja uvođenja korektivnih mera.

Akreditaciono telo Srbije prepoznaje učinak međulaboratorijskog poređenja i ispitivanja osposobljenosti tela za ocenjivanje usaglašenosti i ohrabruje tela za ocenjivanje usaglašenosti da učestvuju ili sami organizuju ovakve aktivnosti, kao značajan mehanizam obezbeđenja poverenja u kvalitet rezultata merenja.

Stečeno korisno iskustvo, uz stalna poboljšanja u organizaciji internih međulaboratorijskih poređenja, biće iskorišćeno od strane „Elektrodistribucije Srbije” u narednom periodu.

LITERATURA

1. SRPS ISO/IEC 17043 Ocenjivanje usaglašenosti - Opšti zahtevi za ispitivanje osposobljenosti;
2. EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration;
3. JCGM 100 Guide to the expression of uncertainty in measurement, Evaluation of measurement data;
4. ILAC-G13:08/2007 ILAC Guidelines for the Requirements for the Competence of Providers of Proficiency Testing Schemes;
5. ISO 13528 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison;
6. Jeff C. Gust, Developing a Proficiency Testing Plan for your Laboratory, Vice President Quametec Proficiency Testing Services Columbia City, IN 46725;
7. Henrik, Dr., Nielsen, S., Determining Consensus Values in Interlaboratory Comparisons and Proficiency Testing HN Metrology Consulting, Inc., HN Proficiency Testing, Inc., Indianapolis, Indiana, USA;
8. N. Vučijak, T. Cincar-Vujović, D. Horvat, R. Dereta „Bilateralno poređenje etaloniranja brojila električne energije između EIM-Grčka i DMDM-Srbija”, Kongres metrologa 2011, 17.-19.10.2011. Kladovo, Zbornik radova str. 246-252;
9. SRPS ISO/IEC 17020:2012 Ocenjivanje usaglašenosti – Zahtevi za rad različitih tipova tela koja obavljaju kontrolisanje;
10. UP-KME-04 Uputstvo Kontrolisanje i overavanje brojila aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S;
11. Pravilnik o brojlama aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S („Službeni glasnik RS”, broj 104/2016).