

Tatjana Cincar Vujović<sup>1\*</sup>

## Primenjena metrologija u Elektrodistribuciji Srbije

<sup>1</sup> Elektrodistribucija Srbije d. o. o. Beograd, Novi Beograd, Srbija



Stručni rad

### Ključne poruke

- Razvijena metrologija u privredi doprinosi poboljšanju kvaliteta proizvoda/usluga i poboljšanju konkurentnih sposobnosti na tržištu
- Međulaboratorijska poređenja su jedan od najznačajnijih kriterijuma za procenu uporedivosti i osiguranja poverenja u rezultate merenja
- Rezultat merenja je kompletan samo ukoliko ga prati kvantitativna izjava o njegovoj mernoj nesigurnosti, koja je važna za dobijanje dobrog kvaliteta merenja

### Kratak sadržaj

Ispunjavanjem propisanih zahteva za brojila električne energije trebalo bi da se obezbedi visok nivo zaštite od slučajnog ili namernog uticaja na parametre i performanse brojila, na zakonski relevantan softver u brojilu, te uticaj na rezultat merenja, a ocenjivanjem usaglašenosti brojila električne energije trebalo bi da se obezbedi visok nivo poverenja.

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

U radu su prikazani rezultati međulaboratorijskih poređenja koje je sproveo Kontrolno telo Elektrodistribucije Srbije u periodu od 2020. do 2023. godine, u cilju osiguranja poverenja i pouzdanosti rezultata merenja električne energije u distributivnom sistemu.

### Ključne reči

**Evaluacija rezultata, međulaboratorijsko poređenje, merna nesigurnost**

Primljeno: 27. februar 2024.

Recenzirano: 30. decembar 2024.

Izmenjeno: 12. februar 2025.

Odobreno: 13. februar 2025.

\*Korespondirajući autor: +381 11 36 55 524, +381 64 83 54 293

Imejl: [Tatjana.Cincar-Vujovic@ods.rs](mailto:Tatjana.Cincar-Vujovic@ods.rs)

## 1. UVOD

Kontrolno telo Elektrodistribucije Srbije je značajan deo metrološkog sistema Republike Srbije sa dugom tradicijom. Pored osnovnog zadatka u kontrolisanju i overavanju brojila električne energije u svojim 17 laboratorija, Kontrolno telo Elektrodistribucije Srbije obezbeđuje sistem sledivosti do krajnjih korisnika i podiže infrastrukturu sistema kvaliteta organizovanjem i sprovođenjem međulaboratorijskih poređenja, u skladu sa ISO/IEC 17043 [1] i ILAC-G13 [2].

Međulaboratorijsko poređenje je organizovanje izvođenja i vrednovanja ispitivanja/etaloniranja istih ili sličnih predmeta ispitivanja/etaloniranja koje su sprovele dve laboratorije ili više laboratorija u skladu sa unapred utvrđenim uslovima [1].

Ispitivanje osposobljenosti je utvrđivanje sposobnosti laboratorije za ispitivanje/etaloniranje, za specifična ispitivanja ili merenja kroz učestvovanje u međulaboratorijskim poređenjima [1].

U poslovima potvrđivanja usaglašenosti merila sa propisanim tehničkim i metrološkim zahtevima, primarno se razmatraju kompetentnost i tehnička osposobljenost tela za ocenjivanje usaglašenosti.

Učešće u međulaboratorijskim poređenjima (MLP) i ispitivanjima osposobljenosti (PT šeme) predstavlja jedan od značajnih preduslova uspostavljanja i održavanja metrološkog sistema u Republici Srbiji. Međulaboratorijska poređenja su veoma važan aspekt kontrole kvaliteta rezultata merenja i nedvosmislena potvrda kompetentnosti laboratorija. Neminovnost i potreba uključivanja u šeme provere stručnosti, kao jednog od najznačajnijih kriterijuma za procenu uporedivosti rezultata merenja, obezbeđuju prepoznavanje i prihvatanje rezultata merenja, a sve u svrhu uklanjanja tehničkih barijera u trgovini.

Učešće u MLP/PT obavezuje svaku laboratoriju da rezultate merenja iskaže u formi tipičnog budžeta merne nesigurnosti [3, 5, 6], čime rezultat merenja dobija značaj dobrog kvaliteta merenja [6]. Rezultat merenja je kompletan samo ukoliko ga prati kvalitativna izjava o njegovoj mernoj nesigurnosti. Uspešno merenje zavisi od razumevanja i izražavanja merne nesigurnosti, te kvantifikacije sumnje u rezultat merenja. Radi dobijanja dobrog kvaliteta merenja i razumevanja samog rezultata merenja, merna nesigurnost je važan podatak, parametar koji se pridružuje rezultatu merenja i koji odražava rasipanje izmerenih vrednosti. Merna nesigurnost se definiše i prikazuje u cilju njenog smanjenja i otkrivanja faktora koji mogu uticati na mernu nesigurnost.

U opštem slučaju, merna nesigurnost sadrži više komponenti [3, 4, 5, 6]. Neke od njih se mogu oceniti iz statističke raspodele rezultata serije merenja i

okarakterisati eksperimentalnom standardnom devijacijom. Druge komponente, koje se takođe mogu okarakterisati standardnom devijacijom, ocenjuju se na osnovu pretpostavljenih raspodela verovatnoće zasnovanih na iskustvu ili drugim informacijama.

Standardna merna nesigurnost se može odrediti metodom ocene tipa A ili ocene tipa B.

Tip A je ocenjivanje merne nesigurnosti statističkom analizom serije rezultata merenja. Statistička sigurnost koja odgovara mernoj nesigurnosti tip A zavisi od statističke raspodele. Može se usvojiti Gausova raspodela.

Tip B je ocenjivanje merne nesigurnosti svim ostalim metodama izuzev statističke analize serija ponovljenih merenja. Merna nesigurnost tip B prouzrokuje sistematski efekti.

Pri izražavanju merne nesigurnosti najčešće se koriste tri funkcije raspodele: ravnomerna (uniformna), trougaona i Gausova.

Metodologija određivanja kombinovane merne nesigurnosti u slučaju nekorelisanih veličina opisana je u Poglavlju 2 ovog rada.

U Poglavlju 3 ovog rada prikazane su šeme poređenja i rezultati MLP/PT koje je Kontrolno telo Elektrodistribucije Srbije sproveo u periodu od 2020. do 2023. godine, u svrhu dokazivanja ekvivalentnosti rezultata merenja električne energije u svim laboratorijama Kontrolnog tela Elektrodistribucije Srbije, sa Nacionalnom metrološkom institucijom i nacionalnim etalom električne energije, sa Elektromrežom Srbije na mestima primopredaje električne energije iz prenosnog u distributivni sistem, sa domaćim proizvođačima brojila električne energije čija su brojila najčešće zastupljena na mreži.

Dokazivanjem ekvivalentnosti metoda i rezultata merenja električne energije u Kontrolnom telu Elektrodistribucije Srbije interno i sa eksternim subjektima metrološkog sistema Republike Srbije utvrđuje se i osigurava poverenje u rezultate merenja električne energije Kontrolnog tela Elektrodistribucije Srbije, naglašeno je u Poglavlju 4 ovog rada.

## 2. ODREĐIVANJE MERNE NESIGURNOSTI

U proceni merne nesigurnosti, polazilo se od relativne greške merenja iskazane 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 (%);

$\delta_E$  – korekcija relativne greške zbog specifikacije referentnog etalona koju je dao proizvođač, u procentima (%);

$\delta_U$  – 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 je devet;
- 2) nesigurnost referentnog etalona, tip B, pravougaona (ravnomerna, uniformna) raspodela, broj stepeni slobode je beskonačan;
- 3) nesigurnost usled etaloniranja referentnog etalona, tip B, normalna (Gausova) raspodela, broj stepeni slobode je 50.

Imajući u vidu karakteristike artefakta (brojilo električne energije), zanemarene su nesigurnosti usled dugoročne stabilnosti referentnog etalona, temperature sredine i uticaja kablova, jer se velika važnost pridaje dostupnim podacima iz istorije etaloniranja etalonske opreme. Odabrani rezultati etaloniranja značajnih mernih tačaka se iscrtavaju u odnosu na vreme. Iz ovih grafikona i disperzija rezultata etaloniranja može se izračunati zanošenje ili pomak u jednom intervalu etaloniranja. U slučaju veoma stabilne etalonske opreme, zanošenje ili srednji pomak, može se izračunati iz nekoliko intervala etaloniranja.

Za nekorelisane ulazne veličine kombinovana standardna merna nesigurnost data je formulom [3]

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

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 [3, 5]

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

gde su:

$\nu_{eff}$  – efektivni broj stepeni slobode;

$u_c$  – kombinovana standardna nesigurnost;

$u_i$  – standardna nesigurnost pojedinih veličina iz formule (1);

$\nu_i$  – efektivni broj stepeni slobode za nesigurnost pojedinih veličina.

Za evaluaciju rezultata i proračun ekvivalentnosti korišćen je  $E_n$  broj. Za računanje ovog broja primenjena je formula [4]

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

gde su:

$\Delta x_{lab}$  – rezultat laboratorije učesnice poređenja;

$\Delta x_{ref}$  – rezultat referentne dogovorene laboratorije;

$U_{lab}$  – merna nesigurnost laboratorije učesnice za određeni

rezultat;

$U_{ref}$  – merna nesigurnost usvojene referentne vrednosti.

Uslov za potvrđivanje ekvivalentnosti rezultata merenja je da apsolutna vrednost  $E_n$  broja bude manja ili jednaka 1.

### 3. OSIGURANJE POVERENJA I POUZDANOST REZULTATA MERENJA

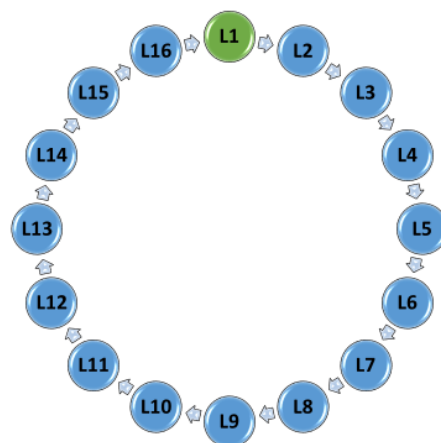
Razvijena metrologija u privredi doprinosi poboljšanju kvaliteta proizvoda i poboljšanju konkurentnih sposobnosti na tržištu. Ispunjavanjem propisanih zahteva za brojila električne energije trebalo bi da se obezbedi visok nivo zaštite od slučajnog ili namernog uticaja na parametre i performanse brojila, na zakonski relevantan softver u brojilu, te uticaj na rezultat merenja. Ocenjivanjem usaglašenosti brojila električne energije trebalo bi da se obezbedi visok nivo poverenja.

Tehnička osposobljenost 17 laboratorija za kontrolisanje/overavanje brojila električne energije u Elektrodistibuciji Srbije potvrđuje se održavanjem akreditacije po zahtevima standarda SRPS ISO/IEC 17020 i Zakona o akreditaciji i održavanjem upisa u registar ovlašćenih tela za overavanje merila ministarstva nadležnog za poslove metrologije, u skladu sa Zakonom o metrologiji.

Osiguranje poverenja i pouzdanost rezultata merenja električne energije u laboratorijama Elektrodistibucije Srbije na poslovima ocenjivanja usaglašenosti brojila električne energije sa propisanim tehničkim i metrološkim zahtevima obezbeđuje se međulaboratorijskim poređenjem.

#### 3.1 Interna PT šema

Prva interna PT šema laboratorija Kontrolnog tela Elektrodistibucije Srbije sprovedena je 2020. godine [8], kao kružno poređenje 16 jednakih laboratorija Kontrolnog tela (KT) Elektrodistibucije Srbije, prikazano na Slici 1.



Slika 1. Kružno poređenje

Za dogovorenu referentnu vrednost izabrana je jedna (L1) od 16 jednakih laboratorija Kontrolnog tela

Elektrodistribucije Srbije, koja je imala ulogu pilot-laboratorije. Zbog toga je laboratorija L1 sprovela merenja na početku i na kraju interne PT šeme.

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, ograničeno vreme izvođenja merenja, informacije o metodi merenja i procedurama, odgovornost za sprovođenje merenja u definisanim mernim tačkama, naznaka sprovođenja 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 i odgovornost za izradu nacrtu i konačnog Izveštaja o rezultatima međulaboratorijskog poređenja.

Za artefakt je izabrano elektronsko brojilo električne energije, osnovnih metroloških karakteristika 3x230/400 V, 5/6 A, klase tačnosti merenja aktivne električne energije 0,2 S. Merenja u laboratorijama su sprovedena 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 etalonska brojila električne energije koja su laboratorije koristile u merenju slediva su do nacionalnog etalona, imaju deklarisanu tačnost  $\pm 0,05\%$  i pridruženu mernu nesigurnost koja je za svako etalon brojilo data u njemu pripadajućem Uverenju o etaloniranju, nakon etaloniranja u Direkciji za mere i dragocene metale, u skladu sa SRPS ISO/IEC 17025.

Očekivani izvori merne nesigurnosti su bili:

- Tip A, statistički rezultati dobijeni merenjem;
- Tip B, nesigurnost metode, odnosno etalonskog 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.

Sve laboratorije KT su referisale vrednosti rezultata merenja i pridružene merne nesigurnosti. Proračun budžeta merne nesigurnosti sa detaljima merne nesigurnosti dat je na primeru rezultata merenja pilot-laboratorije (L1), na početku interne PT šeme, u specifičnoj formi budžeta merne nesigurnosti, prikazanoj u Tabeli I.

Rezultati proračuna  $E_n$  broja [8] prikazani su na Slici 2.

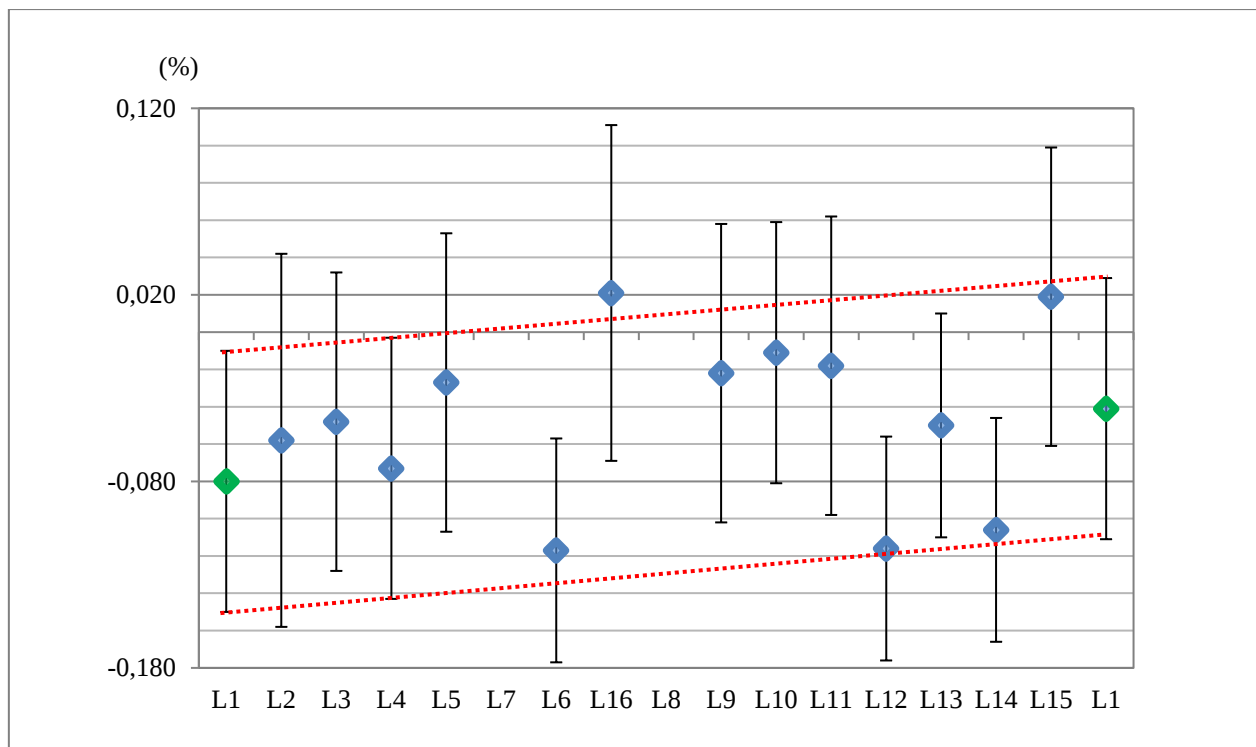
Izračunata apsolutna vrednost  $E_n$  broja je manja od 1, čime je dokazana ekvivalentnost rezultata merenja u svim laboratorijama Kontrolnog tela Elektrodistribucije Srbije.

Posebna vrednost ovih rezultata ogleda se u merenju istog uzorka brojila električne energije, istom mernom metodom, ali korišćenjem etalon brojila različitih proizvođača.

Rezultati PT šeme su uvek poziv za preispitivanje. Zbog visoke standardne devijacije ponovljenih rezultata merenja, laboratorija L16 ima veću nesigurnost tipa A, manji efektivni broj stepeni slobode  $v_{eff} = 28,39$  i stoga veći faktor prekrivanja  $k = 2,05$ , te veću proširenu mernu nesigurnost 0,09%. Tumačenje rezultata merenja ukazuje na nedovoljnu posvećenost izvršioca merenja samom merenju. Rezultate merenja treba pratiti u nekoliko planiranih serija merenja, kako bi se izbegla greška operatera ili slučajno narušavanje osetljivosti interfejsa za očitavanje impulsa na artefaktu.

Tabela I Tipična forma budžeta merne nesigurnosti

| Veličina<br>$X_i$                                  | Procena<br>$x_i$ | Standardna<br>merna<br>nesigurnost<br>$(x_i)$ (%) | Raspodela<br>verovatnoće /<br>Metoda<br>vrednovanja<br>(A, B) | Koeficijent<br>osetljivosti<br>$c_i$ | Relativni<br>doprinos merne<br>nesigurnosti<br>$c_i u(x)$ (%) | Broj stepeni<br>slobode<br>$\nu_i$ |
|----------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| $\varepsilon_{sr}$                                 | 0,087            | 0,002                                             | Tip A                                                         | 1                                    | 0,002                                                         | 9                                  |
| $u_{B1}$                                           | 0                | 0,029                                             | Tip B                                                         | 1                                    | 0,029                                                         | $\infty$                           |
| $u_{B2}$                                           | 0                | 0,006                                             | Tip B                                                         | 1                                    | 0,006                                                         | 50                                 |
| $\varepsilon =$                                    | <b>0,087</b>     | Efektivan broj stepeni slobode $\nu_{ef} =$       |                                                               |                                      |                                                               | 331186,214                         |
| Kombinovana standardna merna nesigurnost $u_C$ (%) |                  |                                                   |                                                               |                                      |                                                               | 0,03                               |
| Faktor prekrivanja (obuhvata) $k =$                |                  |                                                   |                                                               |                                      |                                                               | 1,99                               |
| Proširena merna nesigurnost $U = k \cdot u_C$ (%)  |                  |                                                   |                                                               |                                      |                                                               | <b>0,06</b>                        |



Slika 2. Rezultati proračuna  $E_n$  broja u KT Elektrodistribucije Srbije

### 3.2 Bilateralno poređenje sa Direkcijom za mere i dragocene metale

U bilateralnom poređenju Kontrolnog tela Elektrodistribucije Srbije sa Nacionalnom metrološkom institucijom – Direkcijom za mere i dragocene metale (DMDM), pilot-laboratorija iz prethodne Interne PT šeme imala je ulogu referentne laboratorije Elektrodistribucije Srbije.

Rezultati proračuna  $E_n$  broja, u poređenju u kojem je pilot-laboratorija bila nacionalna laboratorija u DMDM [9], prikazani su na Slici 3.

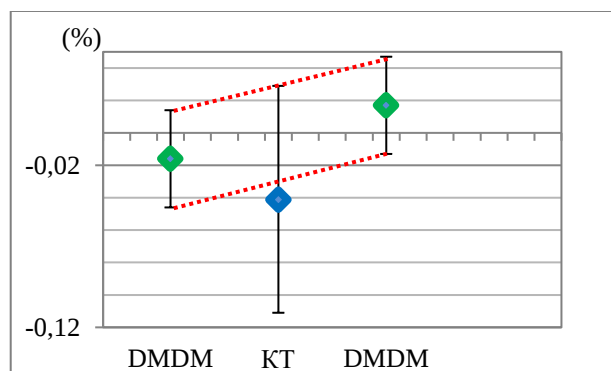
Etalonska brojila KT Elektrodistribucije Srbije etalonirana su u DMDM, te je očekivano širina opsega merne nesigurnosti merenja KT veća od merne nesigurnosti merenja DMDM.

Rezultati bilateralnog poređenja sa DMDM su nedvosmislena potvrda tehničke kompetentnosti laboratorija Elektrodistribucije Srbije.

Posebna vrednost ovog bilateralnog poređenja ogleda se u „vezivanju” svakog merenja električne energije u laboratorijama Elektrodistribucije Srbije sa nacionalnim etalom električne energije Republike Srbije, prikazano na Slici 4.

Prema uspostavljenoj hijerarhijskoj šemi, kroz učešće DMDM u poređenjima Evropske asocijacije NMI (*The European Association of National Metrology Institutes – EURAMET*) i ključnim poređenjima sa Međunarodnim biroom za tegove i mere (*International Bureau of Weights and Measures – BIPM*), prikazano na Slici 4, svako merenje u laboratorijama Kontrolnog tela Elektrodistribucije Srbije vezuje se sa merenjima električne energije u Evropi i dalje sa međunarodnim etalom u BIPM, čime se obezbeđuje verodostojnost

merenja, a samim tim i kvalitet usluga kontrolisanja/overavanja brojila električne energije u Kontrolnom telu Elektrodistribucije Srbije.



Slika 3. Rezultati proračuna  $E_n$  broja u odnosu na DMDM

### 3.3 Interna PT šema – „osmica”

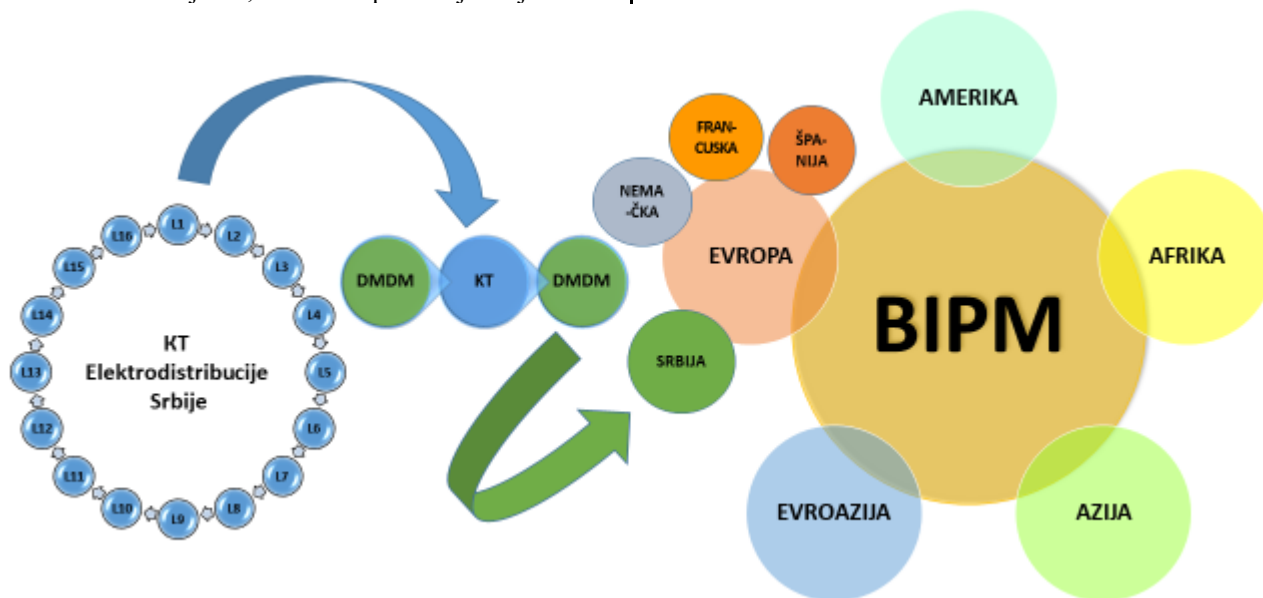
Unapređenje poslovanja Elektrodistribucije Srbije ogledalo se, između ostalog, i u formiranju nove, sedamnaeste laboratorije Kontrolnog tela Elektrodistribucije Srbije 2022. godine. Za potrebe dokazivanja ekvivalentnosti rezultata merenja te novoformirane laboratorije sprovedena je interna PT šema, organizovana kao kružno poređenje „osmica”, prikazano na Slici 5.

Imajući u vidu da laboratorije Elektrodistribucije Srbije imaju merno-ispitnu opremu dva različita

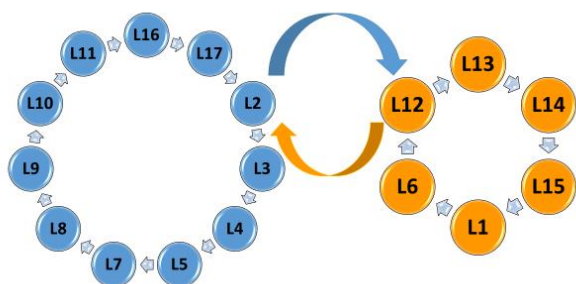
proizvođača, granu „osmice” čine laboratorije koje koriste merno-ispitnu opremu istog proizvođača.

Za plavu granu je izabrana dogovorena referentna vrednost laboratorije L2, za kružno poređenje 11 jednakih

laboratorija, koje sve koriste merno-ispitnu opremu proizvođača A.



Slika 4. Veza rezultata merenja



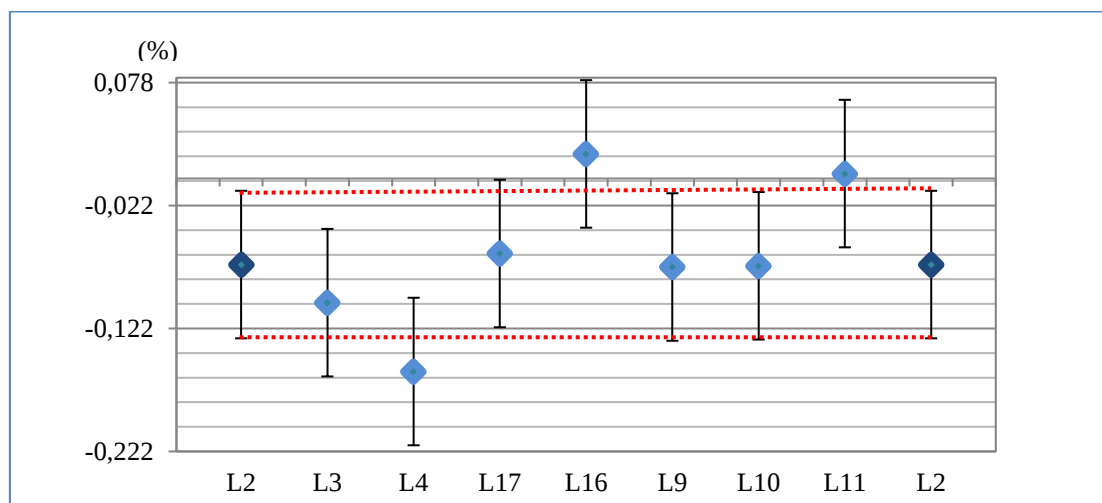
Slika 5. Interna PT šema – kružno poređenje „osmica”

Za narandžastu granu je izabrana dogovorena referentna vrednost laboratorije L12, za kružno poređenje 6 jednakih laboratorija, koje sve koriste merno-ispitnu opremu proizvođača B.

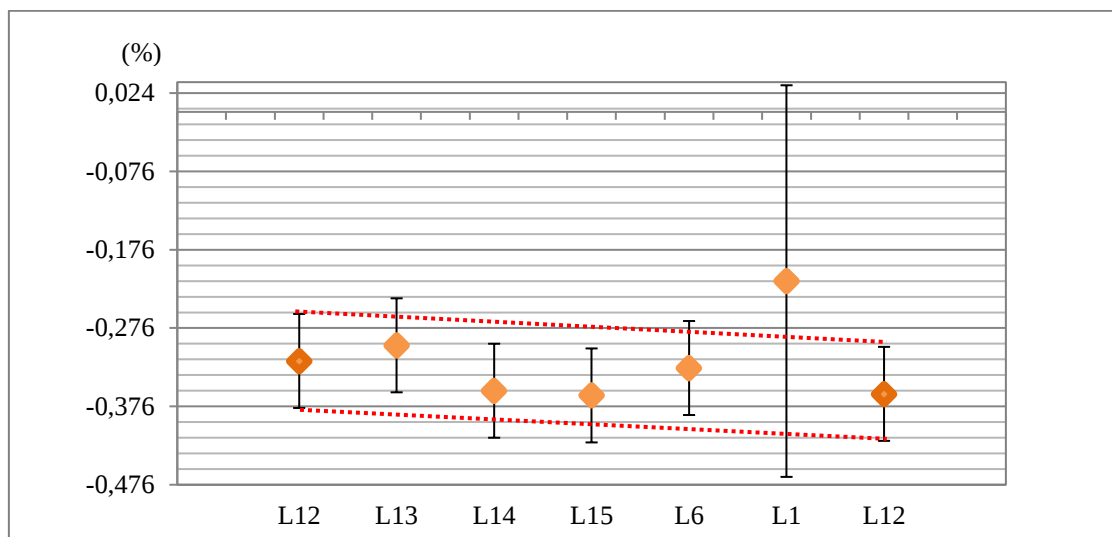
Na slikama 6 i 7 prikazane su izračunate vrednosti za ekvivalentnost za svaku granu „osmice”.

Na Slici 6 vidi se neznatno odstupanje rezultata merenja L4, L16 i L11. Apsolutne vrednosti  $E_n$  broja rezultata merenja L4 i L16 veće su od 1 i iznose: 1,025 za L4 i 1,086 za L16.

Apsolutna vrednost  $E_n$  broja rezultata merenja L11 je 0,872 i zadovoljen je uslov  $|E_n| \leq 1$ . Na Slici 6 rezultat L11 očitava se na referentnoj liniji.



Slika 6. Rezultati proračuna  $E_n$  broja za plavu granu „osmice”



Slika 7. Rezultati proračuna  $E_n$  broja za narandžastu granu „osmice“

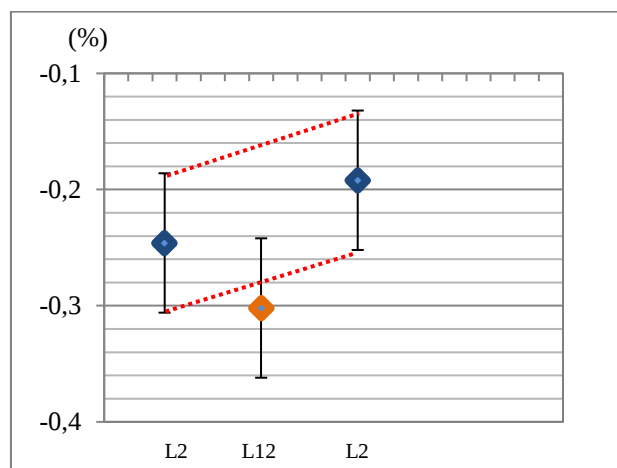
Na Slici 7 rezultat merenja L1 ima veliku mernu nesigurnost zbog visokog faktora prekrivanja  $k = 2,23$ , što je posledica malog efektivnog broja stepeni slobode  $\nu_{\text{eff}} = 10,44$  na koji utiče kombinovana standardna merna nesigurnost, u kojoj je doprinos merne nesigurnosti etaloniranja preuzet iz prethodnog Uverenja/Sertifikata o etaloniranju, a ne iz novog, koji je DMDM dostavila sa zakašnjenjem.

Apsolutna vrednost  $E_n$  broja rezultata merenja L1 je 0,872 i zadovoljen je uslov  $|E_n| \leq 1$ . Na Slici 7 rezultat L1 očitava se izvan referentne linije.

Protokolom poređenja je zadat uslov  $|E_n| \leq 1$  koji je uslov u poređenjima rezultata laboratorija za etaloniranje [4] koje su akreditovane po zahtevima standarda SRPS ISO/IEC 17025. Ovde je sprovedeno poređenje rezultata laboratorija akreditovanih za kontrolisanje po zahtevima standarda SRPS ISO/IEC 17020, pa je dogovoren uslov mogao da bude i  $|E_n| \leq 2$ . U nekim međunarodnim poređenjima laboratorija za etaloniranje, usled karakteristika artefakta, njegove stabilnosti, učešća velikog broja laboratorija ili višegodišnjeg trajanja poređenja, za dogovoren uslov se uzima  $|E_n| \leq 2$ . Za poređenje rezultata laboratorija za kontrolisanje (SRPS ISO/IEC 17020) uslov  $|E_n| \leq 2$  bi bio prihvatljiv, ali KT Elektrodistribucije Srbije se opredelilo za „stroži“ uslov, koji je „osetljiviji“ na indikaciju performansi laboratorija učesnika poređenja.

Nakon završetka kružnog poređenja svake grane „osmice“, pilot-laboratorije svake grane „osmice“, kao dogovorene referentne vrednosti grane „osmice“, laboratorije L2 i L12 izvršile su dvostruko međulaboratorijsko poređenje.

U prvom međulaboratorijskom poređenju, dogovorena referentna vrednost plave grane, laboratorija L2 je imala ulogu pilot-laboratorije. Rezultati proračuna  $E_n$  broja za prvo međulaboratorijsko poređenje u formi  $L2 - L12 - L2$ , prikazano je na Slici 8.



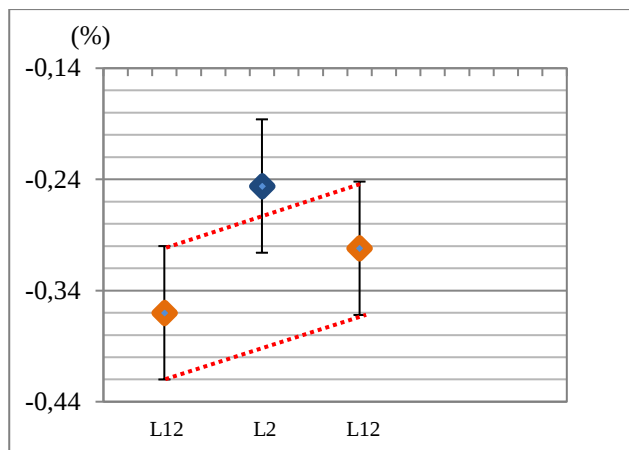
Slika 8. Rezultati proračuna  $E_n$  broja za pilot-laboratoriju L2

Apsolutna vrednost  $E_n$  broja rezultata merenja L12 u odnosu na dogovorenu referentnu vrednost plave grane „osmice“ je 0,9782 i zadovoljen je uslov  $|E_n| \leq 1$ .

U drugom međulaboratorijskom poređenju, dogovorena referentna vrednost narandžaste grane, laboratorija L12 imala je ulogu pilot-laboratorije. Rezultati proračuna  $E_n$  broja za drugo međulaboratorijsko poređenje u formi  $L12 - L2 - L12$ , prikazano je na Slici 9.

Apsolutna vrednost  $E_n$  broja rezultata merenja L2 u odnosu na dogovorenu referentnu vrednost narandžaste grane „osmice“ je 1,0018 i blisko je uslovu  $|E_n| \leq 1$ .

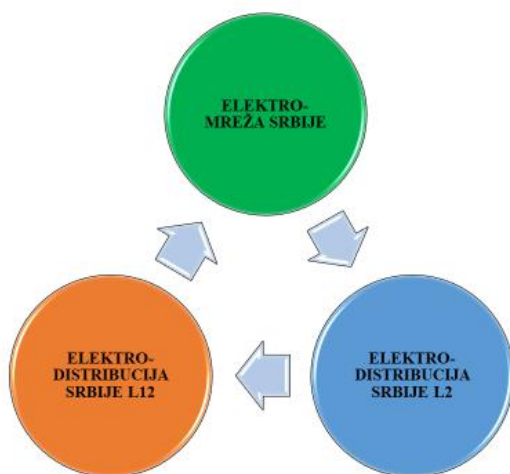
Evaluacije rezultata merenja u ovom kompleksnom poređenju ukazuju na performanse etalonskih brojila kojima se, u poređenjima, dodeljuje uloga dogovorene referentne vrednosti i zaključuje da je za učešće KT u eksternim PT šemama preporuka izabrati dogovorenu referentnu vrednost laboratorije KT koja koristi etalonsko brojilo proizvođača A (plava grana „osmice“).



Slika 9. Rezultati proračuna  $E_n$  broja za pilot-laboratoriju L12

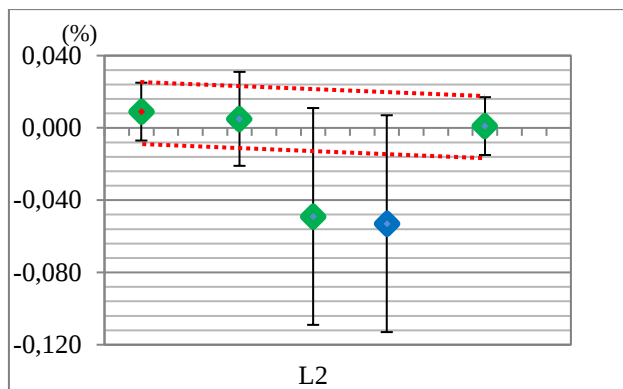
### 3.4 Eksterna PT šema

U cilju uspostavljanja veze i pokazivanja ekvivalencije rezultata merenja električne energije u laboratorijama Kontrolnog tela Elektrodistribucije Srbije i laboratoriji Kontrolnog tela Elektromreže Srbije, sprovedena je eksterna PT šema između Elektromreže Srbije i Elektrodistribucije Srbije. Uloga pilot-laboratorije u ovoj eksternoj PT šemi poverena je laboratoriji Elektromreže Srbije. Dve laboratorije Kontrolnog tela Elektrodistribucije Srbije L2 i L12 koje su u prethodnoj internoj PT šemi imale ulogu pilot-laboratorija, svaka u svojoj grani „osmice”, predstavljale su Kontrolno telo Elektrodistribucije Srbije. Eksterna PT šema je organizovana kao kružno poređenje prikazano na Slici 10.



Slika 10. Eksterna PT šema – kružno poređenje

Rezultati proračuna  $E_n$  broja, u odnosu na dogovorenu referentnu vrednost Elektromreže Srbije (EMS), prikazana je na Slici 11.



Slika 11. Rezultati proračuna  $E_n$  broja za pilot-laboratoriju Elektromreže Srbije

Sve laboratorije učesnice eksterne PT šeme su koristile istu mernu metodu i vršile su merenja u približno istim laboratorijskim uslovima sredine. Rasipanje rezultata merenja je očekivana posledica korišćenja etalonskih brojila različite tačnosti. Laboratorija Elektromreže Srbije koristi etalonsko brojilo tačnosti  $\pm 0,02\%$ , dok laboratorije Elektrodistribucije Srbije koriste etalonska brojila tačnosti  $\pm 0,05\%$ .

Apsolutna vrednost  $E_n$  broja rezultata merenja L2 je 0,757, a apsolutna vrednost  $E_n$  broja rezultata merenja L12 je 0,818 što potvrđuje zaključak prethodne interne PT šeme „osmica” u Poglavlju 3.3 ovog rada.

Potvrđivanje ekvivalentnosti rezultata merenja u Elektromreži Srbije i u Elektrodistribuciji Srbije je od naročitog značaja u lancu toka električne energije, na mestima primopredaje energije iz prenosnog u distributivni sistem.

Posebna vrednost ove eksterne PT šeme je u dodatno sprovedenom „kontrolnom” merenju na komparatoru, čija je sledivost 1 : 1 u odnosu na nacionalni etalon električne energije Republike Srbije. Tačnost komparatora je  $\pm 0,01\%$ , a njegova izlazna frekvencija je reda 60 kHz, što ga čini osetljivijim i stabilnijim.

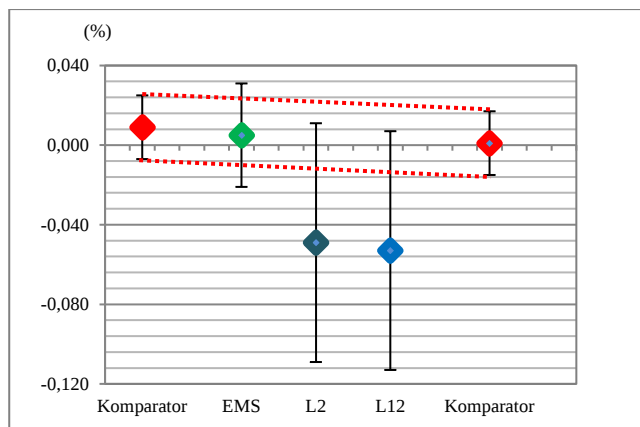
Apsolutna vrednost  $E_n$  broja, u odnosu na komparator (kontrolno merenje), rezultata merenja EMS je 0. Apsolutna vrednost  $E_n$  broja rezultata merenja L2 je 0,871, a rezultata merenja L12 je 0,935.

Rezultati proračuna  $E_n$  broja ukazuju na uticaj tačnosti dogovorenog referentnog etalonskog brojila. Korišćenjem komparatora u svojstvu referentnog etalonskog brojila proračunava se i veća vrednost  $E_n$  broja.

Rezultati proračuna  $E_n$  broja u odnosu na komparator (kontrolno merenje), prikazani su na Slici 12.

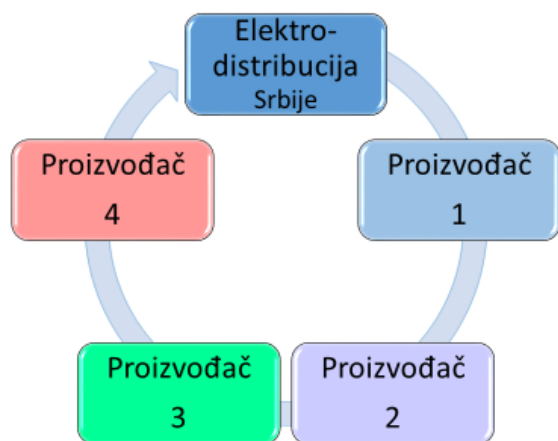
### 3.5 PT šema sa proizvođačima brojila

Intenzivnim radom Elektrodistribucije Srbije na unapređenju elektrodistributivne mreže i korišćenjem digitalnih tehnologija u sistem se implementiraju brojila električne energije sa integrisanim pristupom očitavanja izmerenih veličina sa svih brojila električne energije.



Slika 12. Rezultati proračuna  $E_n$  broja u odnosu na komparator

U cilju uspostavljanja veze između rezultata merenja električne energije brojila različitih domaćih proizvođača, Kontrolno telo Elektrodistribucije Srbije je u toku 2023. godine sproveo PT šemu sa domaćim proizvođačima brojila električne energije, organizovanu kao kružno poređenje, prikazano na Slici 13.



Slika 13. PT šema – kružno poređenje sa domaćim proizvođačima brojila

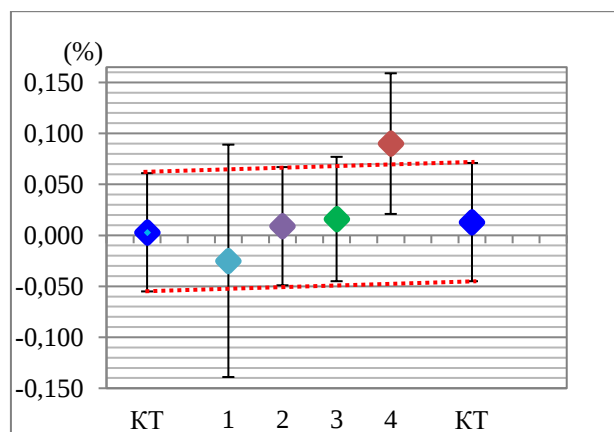
Rezultati proračuna  $E_n$  broja u odnosu na dogovorenu referentnu vrednost laboratorije Kontrolnog tela Elektrodistribucije Srbije, prikazana je na Slici 14.

Apsolutna vrednost  $E_n$  broja je manja od 1, čime je potvrđena ekvivalentnost rezultata merenja električne energije u različitim, kompetentnim laboratorijama.

Pilot-laboratorija Kontrolnog tela Elektrodistribucije Srbije i učesnik PT šeme, Proizvođač 3, u poređenju koriste etalonska brojila etalonirana u DMDM, sa sledivošću do nacionalnog etalona električne energije Republike Srbije. Ostali učesnici PT šeme, proizvođači 1, 2 i 4 koriste etalonska brojila etalonirana u akreditovanoj laboratoriji za etaloniranje, pri čemu učesnik PT šeme Proizvođač 1 dokazuje lanac sledivosti preko dve akreditovane laboratorije, a učesnici poređenja Proizvođač 2 i Proizvođač 4 dokazuju lanac sledivosti preko akreditovane laboratorije sledive do DMDM.

S druge strane, tačnost merenja električne energije etalonskog brojila Proizvođača 1 je  $< \pm 0,1\%$ , a tačnost merenja električne energije etalonskih brojila proizvođača 2, 3 i 4 je  $< \pm 0,05\%$  i to je razlog šireg opsega merne nesigurnosti merenja električne energije Proizvođača 1.

Proizvođač 4 ima apsolutnu vrednost  $E_n$  broja 0,689 i to je najveća vrednost  $E_n$  broja u ovom poređenju, u odnosu na apsolutne vrednosti  $E_n$  broja ostalih učesnika ove PT šeme. Primarno objašnjenje apsolutne vrednosti  $E_n$  broja Proizvođača 4 je u Uverenju/Sertifikatu o etaloniranju etalonskog brojila koje je u poređenju koristio Proizvođač 4, u kojem je, za zadatu mernu tačku, faktor prekrivanja (obuhvata)  $k = 2,18$  a proširena merna nesigurnost 0,0375%.



Slika 14. Rezultati proračuna  $E_n$  broja PT šeme sa domaćim proizvođačima brojila

Posebna vrednost ove PT šeme je njen međunarodni značaj, imajući u vidu upoređivanje rezultata merenja između laboratorija koje su, u skladu sa zahtevima referentnog standarda SRPS ISO/IEC 17020 akreditovane od strane Akreditacionog tela Srbije (ATS) i Bosanskog akreditacionog tela (BATA), te činjenicu da laboratorije za svoja etalonska brojila dokazuju sledivost preko različitih kompetentnih laboratorija za etaloniranje, Nacionalnih metroloških institucija ili laboratorija akreditovanih u skladu sa zahtevima SRPS ISO/IEC 17025.

#### 4. ZAKLJUČAK

Svakodnevno suočavanje sa zahtevima za pouzdano snabdevanje električnom energijom, energetska efikasnost i kvalitet električne energije, podrazumeva organizovani sistem praćenja svih procesa u lancu tokova električne energije, a njihovo sagledavanje i analiza sa aspekata različitih kvantitativnih i kvalitativnih parametara stvara uslove za preduzimanje odgovarajućih mera i aktivnosti.

Povećanje efikasnosti zahteva razvoj infrastrukture koja podrazumeva odgovarajuću tačnost i pouzdanost merenja. Razvoj postojećih i primena novih tehnologija, kao i široko prihvaćeni alati infrastrukture kvaliteta, treba da omoguće ostvarivanje ovih ciljeva.

Dokazivanje ekvivalentnosti metoda i rezultata merenja obezbeđuje prepoznavanje i prihvatanje rezultata merenja i utvrđuje i osigurava poverenje u rezultat merenja.

Dodatna korist svakog međulaboratorijskog poređenja, interne ili eksterne PT šeme je u procenjivanju performansi laboratorija i utvrđivanju sposobnosti svake laboratorije za specifična merenja električne energije.

Osim dokazivanja tehničke kompetentnosti, to je i dodatna mogućnost za stalno napredovanje i potvrđivanje mogućnosti merenja primenom najboljih mernih tehnika i najtačnije merne opreme.

Kontrolno telo Elektrodistribucije Srbije, odabranim metodama merenja koje odgovaraju vrsti i obimu preduzetog posla za predviđenu namenu i u skladu sa potrebama korisnika, stalno demonstrira kompetentnost i doprinosi korporativnom imidžu i poboljšanju vidljivosti Elektrodistribucije Srbije među operatorima distributivnih sistema u regionu i u Evropi, jer merenje električne energije nema isključivo nacionalni značaj, već predstavlja međunarodnu obavezu kojom se obezbeđuje da nacionalni operatori distributivnih sistema deluju na usaglašen i jedinstven način.

## ZAHVALNICA

Tople reči priznanja i zahvalnosti cenjenim kolegama u Sektoru za kontrolisanje merila električne energije Elektrodistribucije Srbije, na nepokolebljivom savladavanju procenjivanja merne nesigurnosti i radu na razvoju mernih tehnika. Svojim nesebičnim zalaganjem odigrali su izuzetno važnu ulogu u sprovođenju konkretnih merenja i postizanju zavidnih rezultata.

U skladu sa principima i pravilima poslovne etike, najviše rukovodstvo Elektrodistribucije Srbije obezbeđuje

nezavisnost Kontrolnog tela od bilo kakvih uticaja i pritisaka koji bi mogli da ugroze samostalnost tehničkog odlučivanja i integritet osoblja Kontrolnog tela.

## LITERATURA

- [1] SRPS ISO/IEC 17043:2011 Ocenjivanje usaglašenosti – Opšti zahtevi za ispitivanje osposobljenosti
- [2] ILAC-G13:08/2007 ILAC Guidelines for the Requirements for the Competence of Providers of Proficiency Testing Schemes
- [3] ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of Measurement – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM:1995)
- [4] ISO 13528:2015 Statistical Methods for Use in Proficiency Testing by Interlaboratory Comparison
- [5] JCGM 100:2008 Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
- [6] EA-4/02 M: 2022 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration
- [7] Stanković, D., „O mernoj nesigurnosti”, XLVI Konferencija ETRAN, tom III, od 4. 6. do 7. 6. 2002. Banja Vrućica – Teslić
- [8] Cincar Vujović, T., Narančić I., Radosavljević, D., Maksimović, Z., Deak, P., „Poređenje laboratorija za kontrolisanje brojila električne energije u Elektrodistribuciji Srbije”, XII savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije, CIRED, od 30. 8. do 3. 9. 2021. Vrnjačka Banja
- [9] Cincar Vujović, T., Narančić I., Radosavljević, D., Maksimović, Z., Deak, P., „Bilateralno poređenje između Kontrolnog tela Elektrodistribucije Srbije i Nacionalne metrološke institucije”, XIII savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije, CIRED, od 12. 9. do 16. 9. 2022, Kopaonik

## BIOGRAFIJA



**Tatjana Cincar Vujović** je rođena u Beogradu 1964. godine. Metrologija je primarna sfera njenog interesovanja od diplomiranja na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

Iskustvo je stekla dugogodišnjim radom u Nacionalnoj metrološkoj instituciji na metrologiji električnih veličina i aktivnim učešćem u radu tehničkih i sektorskih komiteta, potkomiteta i radnih grupa Evropske komisije za merila (European Commission MI), Evropske asocijacije Nacionalnih metroloških instituta (EURAMET), Evropske saradnje u zakonskoj metrologiji (WELMEC), Međunarodne organizacije za zakonsku metrologiju (OIML), Akreditacionog tela Srbije (ATS) i Instituta za

standardizaciju (IS). Posvetila se razvoju nacionalne laboratorije za električnu energiju i potvrđivanju njene kompetentnosti na međunarodnom nivou, učešćem u brojnim međunarodnim poređenjima. Radila je na razvoju međunarodne preporuke za brojila električne energije (OIML R46), transponovanju EU Direktive o merilima (Measuring Instruments Directive – MID) u zakonodavstvo Srbije, na smernicama za implementaciju, ujednačenu i harmonizovanu primenu MID i uspostavljanju usaglašenog i doslednog pristupa evropskoj zakonskoj metrologiji u oblasti brojila električne energije. Na domaćim i međunarodnim konferencijama, kao autor/koautor objavila je više od 50 stručnih radova. Motivisana željom za nastavkom profesionalnog uspeha, transparentnim dokazivanjem u skladu sa najboljom praksom izvođenja merenja električne energije, od 16. 11. 2019. godine radi na mestu direktora Sektora za kontrolisanje merila električne energije u Elektrodistribuciji Srbije.

UDC: 006.91:621.317(497.11)

Tatjana Cincar Vujovic<sup>1\*</sup>



## Applied metrology in Elektrodistribucija Srbije Ltd.

<sup>1</sup> Elektrodistribucija Srbije Ltd. Belgrade, Serbia

Professional paper

### Highlights

- Developed metrology in the economy contributes to the improvement of the quality of products/services and improvement of competitive abilities on the market.
- Interlaboratory comparisons are one of the most important criteria for assessing comparability and ensuring confidence in measurement results.
- The measurement result is complete only if it is accompanied by a quantitative statement about its measurement uncertainty, which is important for obtaining a good measurement quality.

### Abstract

*Meeting the prescribed requirements for electrical energy meters should ensure a high level of protection against accidental or intentional tampering with the parameters and performance of the meter, with the legally relevant software in the meter, and with the measurement result, and assessing the conformity of electrical energy meters should ensure a high level of confidence.*

*Interlaboratory comparisons and proficiency tests are a very important aspect of quality control of measurement results and unambiguous confirmation of laboratory competence.*

*The paper presents the results of interlaboratory comparisons conducted by the Control Body of Elektrodistribucija Srbije Ltd. in the period from 2020 to 2023, with the aim of ensuring trust and reliability of the results of electrical energy measurements in the distribution system.*

### Keywords

**Evaluation of results, interlaboratory comparison, uncertainty of measurement**

Received: February 27<sup>th</sup>, 2024

Reviewed: December 30<sup>th</sup>, 2024

Modified: February 12<sup>th</sup>, 2025

Accepted: February 13<sup>th</sup>, 2025

\*Corresponding author: +381 11 36 55 524, +381 64 83 54 293

E - mail: [Tatjana.Cincar-Vujovic@es.rs](mailto:Tatjana.Cincar-Vujovic@es.rs)

