

Татјана Цинцар Вујовић^{1*}

Примењена метрологија у Електродистрибуцији Србије

¹ Електродистрибуција Србије д. о. о. Београд, Нови Београд, Србија<https://doi.org/10.18485/epij.2025.3.1.4>

Стручни рад

Кључне поруке

- Развијена метрологија у привреди доприноси побољшању квалитета производа/услуга и побољшању конкурентних способности на тржишту
- Међулабораторијска поређења су један од најзначајнијих критеријума за процену упоредивости и осигурања поверења у резултате мерења
- Резултат мерења је комплетан само уколико га прати квантитативна изјава о његовој мерној несигурности, која је важна за добијање доброг квалитета мерења

Кратак садржај

Испуњавањем прописаних захтева за бројила електричне енергије требало би да се обезбеди висок ниво заштите од случајног или намерног утицаја на параметре и перформансе бројила, на законски релевантан софтвер у бројилу, те утицај на резултат мерења, а оцењивањем усаглашености бројила електричне енергије требало би да се обезбеди висок ниво поверења.

Међулабораторијска поређења и испитивања оспособљености су веома важан аспект контроле квалитета резултата мерења и недвосмислена потврда компетентности лабораторија.

У раду су приказани резултати међулабораторијских поређења које је спровело Контролно тело Електродистрибуције Србије у периоду од 2020. до 2023. године, у циљу осигурања поверења и поузданости резултата мерења електричне енергије у дистрибутивном систему.

Кључне речи

Евалуација резултата, међулабораторијско поређење, мерна несигурност

Примљено: 27. фебруар 2024.

Рецензирано: 30. децембар 2024.

Измењено: 12. фебруар 2025.

Одобрено: 13. фебруар 2025.

*Кореспондирајући аутор: +381 11 36 55 524, +381 64 83 54 293

Имејл: Tatjana.Cincar-Vujovic@ods.rs

1. УВОД

Контролно тело Електродистрибуције Србије је значајан део метролошког система Републике Србије са дугом традицијом. Поред основног задатка у контролисању и оверавању бројила електричне енергије у својих 17 лабораторија, Контролно тело Електродистрибуције Србије обезбеђује систем следивости до крајњих корисника и подиже инфраструктуру система квалитета организовањем и спровођењем међулабораторијских поређења, у складу са ISO/IEC 17043 [1] и ILAC-G13 [2].

Међулабораторијско поређење је организовање извођења и вредновања испитивања/еталонирања истих или сличних предмета испитивања/еталонирања које су спровеле две лабораторије или више лабораторија у складу са унапред утврђеним условима [1].

Испитивање оспособљености је утврђивање способности лабораторије за испитивање/еталонирање, за специфична испитивања или мерења кроз учествовање у међулабораторијским поређењима [1].

У пословима потврђивања усаглашености мерила са прописаним техничким и метролошким захтевима, примарно се разматрају компетентност и техничка оспособљеност тела за оцењивање усаглашености.

Учешће у међулабораторијским поређењима (МЛП) и испитивањима оспособљености (ПТ шеме) представља један од значајних предуслова успостављања и одржавања метролошког система у Републици Србији. Међулабораторијска поређења су веома важан аспект контроле квалитета резултата мерења и недвосмислена потврда компетентности лабораторија. Неминовност и потреба укључивања у шеме провере стручности, као једног од најзначајних критеријума за процену упоредивости резултата мерења, обезбеђују препознавање и прихватање резултата мерења, а све у сврху уклањања техничких баријера у трговини.

Учешће у МЛП/ПТ обавезује сваку лабораторију да резултате мерења искаже у форми типичног буџета мерне несигурности [3, 5, 6], чиме резултат мерења добија значај доброг квалитета мерења [6]. Резултат мерења је комплетан само уколико га прати квалитативна изјава о његовој мерној несигурности. Успешно мерење зависи од разумевања и изражавања мерне несигурности, те квантификације сумње у резултат мерења. Ради добијања доброг квалитета мерења и разумевања самог резултата мерења, мерна несигурност је важан податак, параметар који се придружује резултату мерења и који одражава расипање измерених вредности. Мерна несигурност се дефинише и приказује у циљу њеног смањења и откривања фактора који могу утицати на мерну несигурност.

У општем случају, мерна несигурност садржи више компоненти [3, 4, 5, 6]. Неке од њих се могу оценити из статистичке расподеле резултата серије мерења и окарактерисати експерименталном стандардном девијацијом. Друге компоненте, које се

такође могу окарактерисати стандардном девијацијом, оцењују се на основу претпостављених расподела вероватноће заснованих на искуству или другим информацијама.

Стандардна мерна несигурност се може одредити методом оцене типа А или оцене типа Б.

Тип А је оцењивање мерне несигурности статистичком анализом серије резултата мерења. Статистичка сигурност која одговара мерној несигурности тип А зависи од статистичке расподеле. Може се усвојити Гаусова расподела.

Тип Б је оцењивање мерне несигурности свим осталим методама изузев статистичке анализе серија поновљених мерења. Мерну несигурност тип Б проузрокују систематски ефекти.

При изражавању мерне несигурности најчешће се користе три функције расподеле: равномерна (униформна), троугаона и Гаусова.

Методологија одређивања комбиноване мерне несигурности у случају некорелисаних величина описана је у Поглављу 2 овог рада.

У Поглављу 3 овог рада приказане су шеме поређења и резултати МЛП/ПТ које је Контролно тело Електродистрибуције Србије спровело у периоду од 2020. до 2023. године, у сврху доказивања еквивалентности резултата мерења електричне енергије у свим лабораторијама Контролног тела Електродистрибуције Србије, са Националном метролошком институцијом и националним еталонем електричне енергије, са Електромрежом Србије на местима примопредаје електричне енергије из преносног у дистрибутивни систем, са домаћим произвођачима бројила електричне енергије чија су бројила најчешће заступљена на мрежи.

Доказивањем еквивалентности метода и резултата мерења електричне енергије у Контролном телу Електродистрибуције Србије интерно и са екстерним субјектима метролошког система Републике Србије утврђује се и осигурава поверење у резултате мерења електричне енергије Контролног тела Електродистрибуције Србије, наглашено је у Поглављу 4 овог рада.

2. ОДРЕЂИВАЊЕ МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ

У процени мерне несигурности, полазило се од релативне грешке мерења исказане математичким моделом мерења

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

где су:

e – релативна грешка мерења, у процентима (%);

e_{sr} – средња вредност 10 измерених релативних грешака мерења, у процентима (%);

δ_E – корекција релативне грешке због спецификације референтног еталона коју је дао произвођач, у процентима (%);

δ_U – корекција релативне грешке због мерне несигурности еталонирања референтног еталона, у процентима (%).

Извори несигурности, сагласно моделу мерења (1) су:

- 1) несигурност услед понављања мерења, тип А, нормална (Гаусова) расподела, број степени слободе је девет;
- 2) несигурност референтног еталона, тип Б, правоугаона (равномерна, униформна) расподела, број степени слободе је бесконачан;
- 3) несигурност услед еталонирања референтног еталона, тип Б, нормална (Гаусова) расподела, број степени слободе је 50.

Имајући у виду карактеристике артефакта (бројило електричне енергије), занемарене су несигурности услед дугорочне стабилности референтног еталона, температуре средине и утицаја каблова, јер се велика важност придаје доступним подацима из историје еталонирања еталонске опреме. Одабрани резултати еталонирања значајних мерних тачака се испржавају у односу на време. Из ових графика и дисперзија резултата еталонирања може се израчунати заносење или помак у једном интервалу еталонирања. У случају веома стабилне еталонске опреме, заносење или средњи помак, може се израчунати из неколико интервала еталонирања.

За некорелисане улазне величине комбинована стандардна мерна несигурност дата је формулом [3]

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

где су:

u_c – комбинована стандардна несигурност;

c_i – коефицијенти осетљивости;

$u(x_i)$ – стандардна несигурност појединих величина из формуле (1).

Ефективни број степени слободе је рачунат према Welch–Satterthwaite формули [3, 5]

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

где су:

v_{eff} – ефективни број степени слободе;

u_c – комбинована стандардна несигурност;

u_i – стандардна несигурност појединих величина из формуле (1);

v_i – ефективни број степени слободе за несигурност појединих величина.

За евалуацију резултата и прорачун еквивалентности коришћен је E_n број. За рачунање овог броја примењена је формула [4]

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

где су:

Δx_{lab} – резултат лабораторије учеснице поређења;

Δx_{ref} – резултат референтне договорене лабораторије;

U_{lab} – мерна несигурност лабораторије учеснице за одређени резултат;

U_{ref} – мерна несигурност усвојене референтне вредности.

Услов за потврђивање еквивалентности резултата мерења је да апсолутна вредност E_n броја буде мања или једнака 1.

3. ОСИГУРАЊЕ ПОВЕРЕЊА И ПОУЗДАНОСТ РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

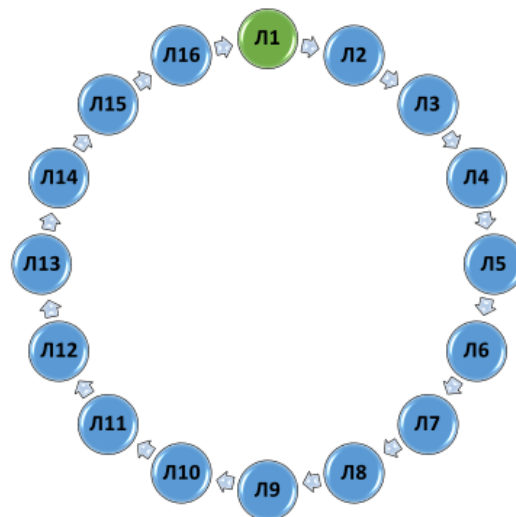
Развијена метрологија у привреди доприноси побољшању квалитета производа и побољшању конкурентних способности на тржишту. Испуњавањем прописаних захтева за бројила електричне енергије требало би да се обезбеди висок ниво заштите од случајног или намерног утицаја на параметре и перформансе бројила, на законски релевантан софтвер у бројилу, те утицај на резултат мерења. Оцењивањем усаглашености бројила електричне енергије требало би да се обезбеди висок ниво поверења.

Техничка оспособљеност 17 лабораторија за контролисање/оверавање бројила електричне енергије у Електродистрибуцији Србије потврђује се одржавањем акредитације по захтевима стандарда SRPS ISO/IEC 17020 и Закона о акредитацији и одржавањем уписа у регистар овлашћених тела за оверавање мерила министарства надлежног за послове метрологије, у складу са Законом о метрологији.

Осигурање поверења и поузданост резултата мерења електричне енергије у лабораторијама Електродистрибуције Србије на пословима оцењивања усаглашености бројила електричне енергије са прописаним техничким и метролошким захтевима обезбеђује се међулабораторијским поређењем.

3.1 Интерна ПТ шема

Прва интерна ПТ шема лабораторија Контролног тела Електродистрибуције Србије спроведена је 2020. године [8], као кружно поређење 16 једнаких лабораторија Контролног тела (КТ) Електродистрибуције Србије, приказано на Слици 1.



Слика 1. Кружно поређење

За договорену референтну вредност изабрана је једна (Л1) од 16 једнаких лабораторија Контролног тела Електродистрибуције Србије, која је имала улогу пилот-лабораторије. Због тога је лабораторија Л1 спровела мерења на почетку и на крају интерне ПТ шеме.

Добра организација међулабораторијског поређења подразумевала је израду Протокола у којем су били дефинисани природа и сврха ПТ шеме, распоред извршења поређења, избор артефакта, информације о транспорту и руковању артефактом, планирано, ограничено време извођења мерења, информације о методи мерења и процедурама, одговорност за спровођење мерења у дефинисаним мерним тачкама, назнака спровођења статистичке анализе резултата мерења која ће бити спроведена са предоченим начином дефинисања договорене, референтне вредности, начин евалуације резултата мерења, критеријум за позитивну оцену у складу са SRPS ISO/IEC 17043 и одговорност за израду нацрта и коначног Извештаја о резултатима међулабораторијског поређења.

За артефакт је изабрано електронско бројило електричне енергије, основних метролошких карактеристика 3x230/400 V, 5/6 A, класе тачности мерења активне електричне енергије 0,2 S. Мерења у лабораторијама су спроведена у референтним условима, а вредности температуре средине и релативне влажности у току мерења реферисане су заједно са резултатима мерења.

Протоколом је било дефинисано мерење на једном мерно-испитном систему у лабораторији која има више мерно-испитних система. Лабораторије су реферисале средње вредности резултата 10 узастопних мерења у задатим мерним тачкама.

Сва еталонска бројила електричне енергије која су лабораторије користиле у мерењу следила су до националног еталона, имају декларисану тачност $\pm 0,05\%$ и придружену мерну несигурност која је за свако еталон бројило дата у њему припадајућем Уверењу о еталонирању, након еталонирања у Дирекцији за мере и драгоцене метале, у складу са SRPS ISO/IEC 17025.

Очекивани извори мерне несигурности су били:

- Тип А, статистички резултати добијени мерењем;
- Тип Б, несигурност методе, односно еталонског бројила електричне енергије.

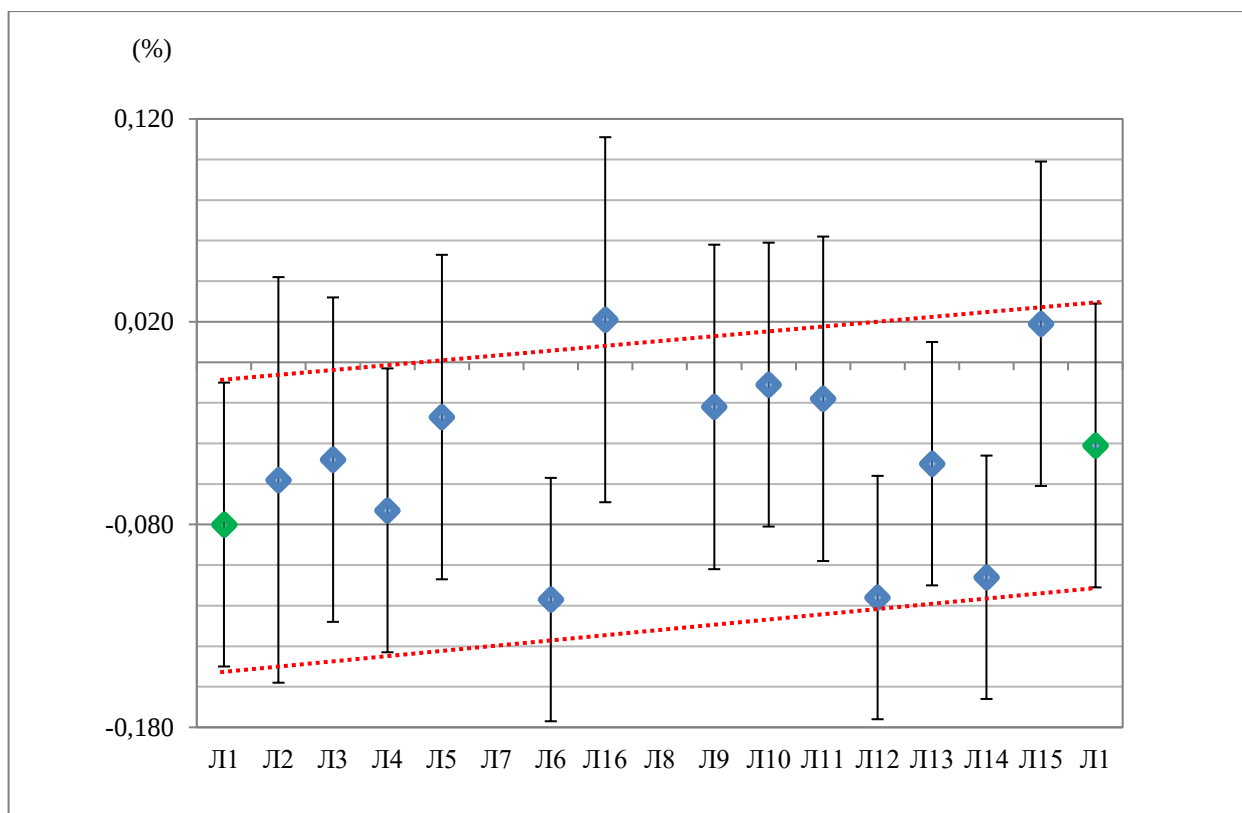
Од међусобно некорелисане мерне несигурности типа А и типа Б одређена је стандардна комбинована мерна несигурност и проширена (комбинована) мерна несигурност, што представља крајњи циљ обраде мерних података.

Све лабораторије КТ су реферисале вредности резултата мерења и придружене мерне несигурности. Прорачун буџета мерне несигурности са детаљима мерне несигурности дат је на примеру резултата мерења пилот-лабораторије (Л1), на почетку интерне ПТ шеме, у специфичној форми буџета мерне несигурности, приказаној у Табели I.

Резултати прорачуна E_n броја [8] приказани су на Слици 2.

Табела I Типична форма буџета мерне несигурности

Величина X_i	Процена x_i	Стандардна мерна несигурност (x_i) (%)	Расподела вероватноће / Метода вредновања (А, Б)	Коефи- цијент осетљи- вости c_i	Релативни допринос мерне несигурности $c_i u(x)$ (%)	Број степени слободе ν_i
ε_{sr}	0,087	0,002	Тип А	1	0,002	9
u_{B1}	0	0,029	Тип Б	1	0,029	∞
u_{B2}	0	0,006	Тип Б	1	0,006	50
$\varepsilon =$	0,087	Ефективан број степени слободе $\nu_{ef} =$				331186,214
Комбинована стандардна мерна несигурност u_C (%)						0,03
Фактор прекривања (обухвата) $k =$						1,99
Проширена мерна несигурност $U = k \cdot u_C$ (%)						0,06



Слика 2. Резултати прорачуна E_n броја у КТ Електродистрибуције Србије

Израчуната апсолутна вредност E_n броја је мања од 1, чиме је доказана еквивалентност резултата мерења у свим лабораторијама Контролног тела Електродистрибуције Србије.

Посебна вредност ових резултата огледа се у мерењу истог узорка бројила електричне енергије, истом мерном методом, али коришћењем еталон бројила различитих произвођача.

Резултати ПТ шеме су увек позив за преиспитивање. Због високе стандардне девијације поновљених резултата мерења, лабораторија Л16 има већу несигурност типа А, мањи ефективни број степени слободе $\nu_{eff} = 28,39$ и стога већи фактор прекривања $k = 2,05$, те већу проширену мерну несигурност 0,09%. Тумачење резултата мерења указује на недовољну посвећеност извршиоца мерења самом мерењу. Резултате мерења треба пратити у неколико планираних серија мерења, како би се избегла грешка оператора или случајно нарушавање осетљивости интерфејса за читавање импулса на артефакту.

3.2 Билатерално поређење са Дирекцијом за мере и драгоцене метале

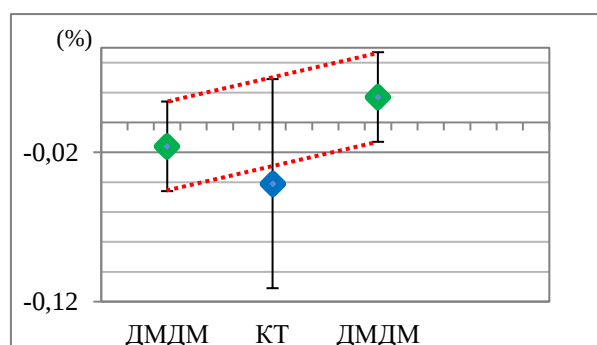
У билатералном поређењу Контролног тела Електродистрибуције Србије са Националном метролошком институцијом – Дирекцијом за мере и драгоцене метале (ДМДМ), пилот-лабораторија из претходне Интерне ПТ шеме имала је улогу референтне лабораторије Електродистрибуције Србије.

Резултати прорачуна E_n броја, у поређењу у којем је пилот-лабораторија била национална лабораторија у ДМДМ [9], приказани су на Слици 3.

Еталонска бројила КТ Електродистрибуције Србије еталонирана су у ДМДМ, те је очекивано ширина опсега мерне несигурности мерења КТ већа од мерне несигурности мерења ДМДМ.

Резултати билатералног поређења са ДМДМ су недвосмислена потврда техничке компетентности лабораторија Електродистрибуције Србије.

Посебна вредност овог билатералног поређења огледа се у „везивању“ сваког мерења електричне енергије у лабораторијама Електродистрибуције Србије са националним еталоном електричне енергије Републике Србије, приказано на Слици 4.

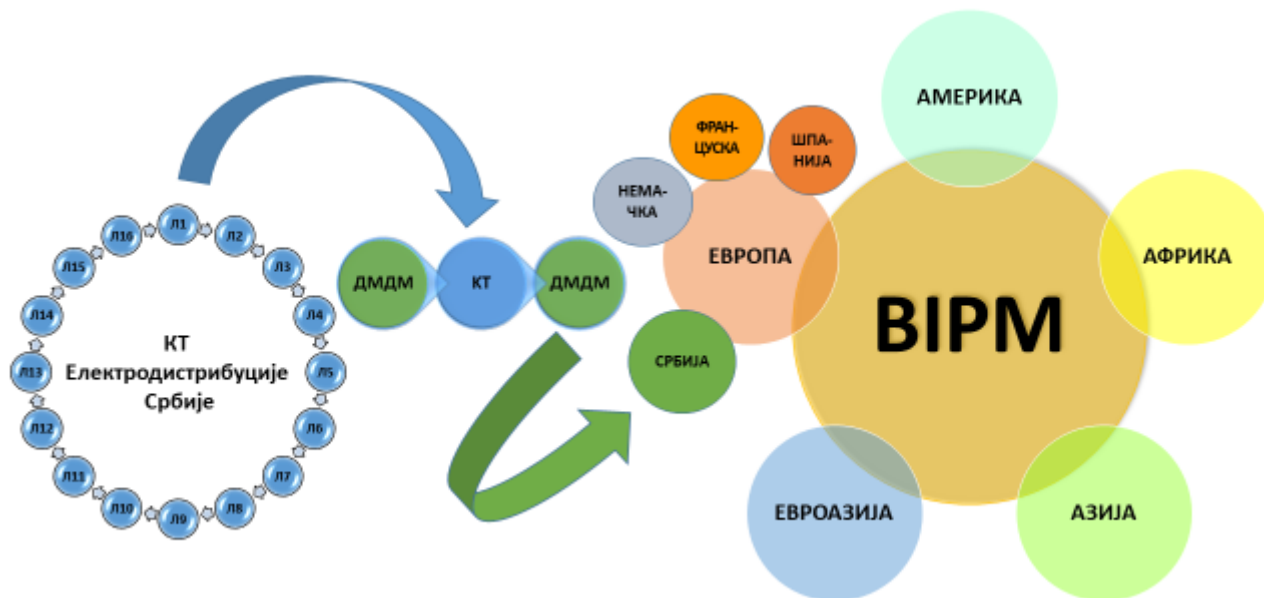


Слика 3. Резултати прорачуна E_n броја у односу на ДМДМ

Према успостављеној хијерархијској шеми, кроз учешће ДМДМ у поређењима Европске асоцијације

НМИ (*The European Association of National Metrology Institutes – EURAMET*) и кључним поређењима са Међународним бироом за тегове и мере (*International Bureau of Weights and Measures – BIPM*), приказано на Слици 4, свако мерење у лабораторијама Контролног тела Електродистрибуције Србије везује се са

мерењима електричне енергије у Европи и даље са међународним еталоном у BIPM, чиме се обезбеђује веродостојност мерења, а самим тим и квалитет услуга контролисања/оверавања бројила електричне енергије у Контролном телу Електродистрибуције Србије.



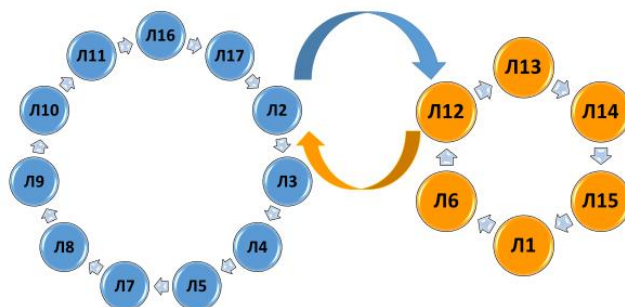
Слика 4. Веза резултата мерења

3.3 Интерна ПТ шема – „осмица”

Унапређење пословања Електродистрибуције Србије огледало се, између осталог, и у формирању нове, седамнаесте лабораторије Контролног тела Електродистрибуције Србије 2022. године. За потребе доказивања еквивалентности резултата мерења те новоформиране лабораторије спроведена је интерна ПТ шема, организована као кружно поређење „осмица”, приказано на Слици 5.

Имајући у виду да лабораторије Електродистрибуције Србије имају мерно-испитну опрему два различита произвођача, грану „осмице” чине лабораторије које користе мерно-испитну опрему истог произвођача.

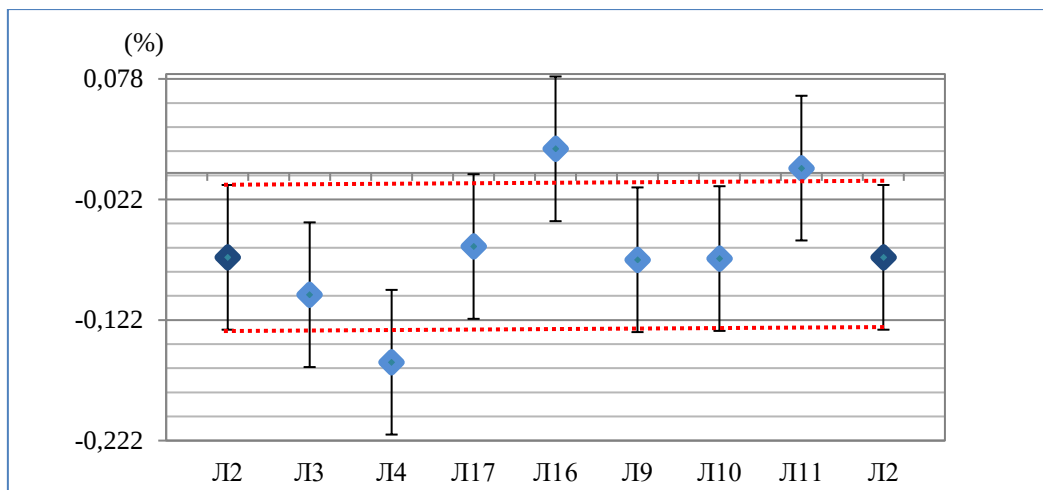
За плаву грану је изабрана договорена референтна вредност лабораторије Л12, за кружно поређење 11 једнаких лабораторија, које све користе мерно-испитну опрему произвођача А.



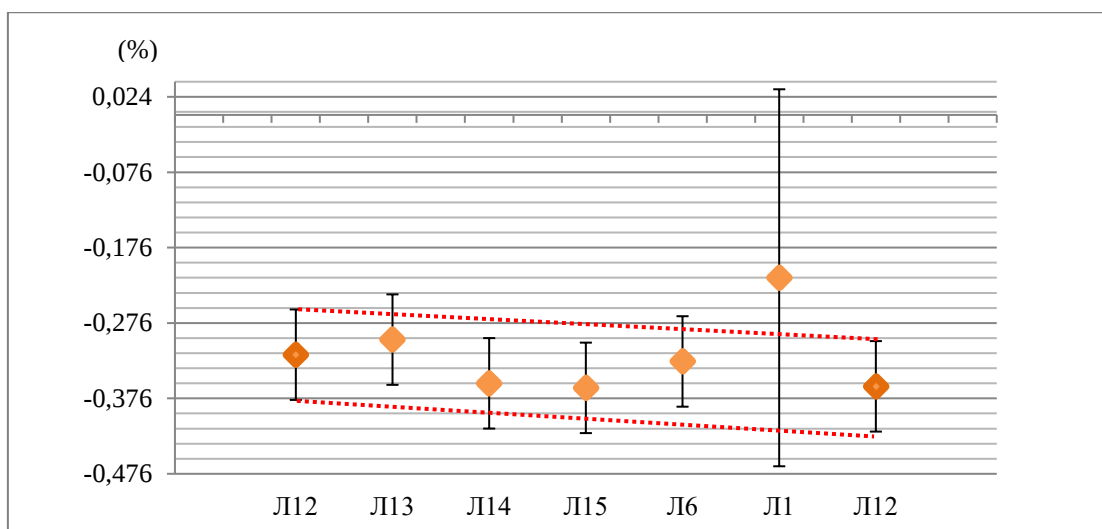
Слика 5. Интерна ПТ шема – кружно поређење „осмица”

За наранцасту грану је изабрана договорена референтна вредност лабораторије Л12, за кружно поређење 6 једнаких лабораторија, које све користе мерно-испитну опрему произвођача Б.

На сликама 6 и 7 приказане су израчунате вредности за еквивалентност за сваку грану „осмице”.



Слика 6. Резултати прорачуна E_n броја за плаву грану „осмице“



Слика 7. Резултати прорачуна E_n броја за наранџасту грану „осмице“

На Слици 6 види се незнатно одступање резултата мерења Л4, Л16 и Л11. Апсолутне вредности E_n броја резултата мерења Л4 и Л16 веће су од 1 и износе: 1,025 за Л4 и 1,086 за Л16.

Апсолутна вредност E_n броја резултата мерења Л11 је 0,872 и задовољен је услов $|E_n| \leq 1$. На Слици 6 резултат Л11 читава се на референтној линији.

На Слици 7 резултат мерења Л1 има велику мерну несигурност због високог фактора прекривања $k = 2,23$, што је последица малог ефективног броја степени слободе $v_{\text{eff}} = 10,44$ на који утиче комбинована стандардна мерна несигурност, у којој је допринос мерне несигурности еталонирања преузет из претходног Уверења/Сертификата о еталонирању, а не из новог, који је ДМДМ доставила са закашњењем.

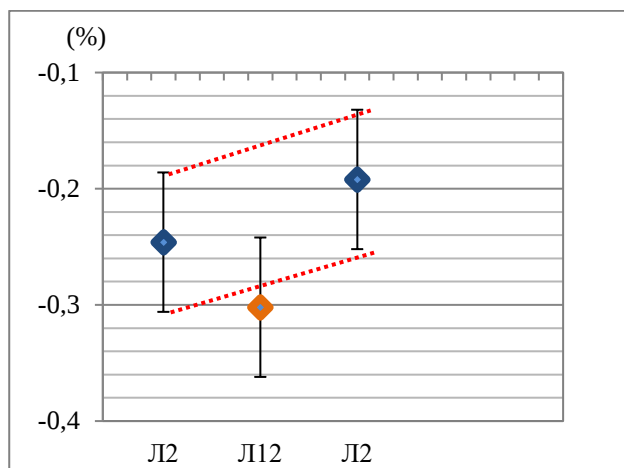
Апсолутна вредност E_n броја резултата мерења Л1 је 0,872 и задовољен је услов $|E_n| \leq 1$. На Слици 7 резултат Л1 читава се изван референтне линије.

Протоколом поређења је задат услов $|E_n| \leq 1$ који је услов у поређењима резултата лабораторија за еталонирање [4] које су акредитоване по захтевима стандарда SRPS ISO/IEC 17025. Овде је спроведено поређење резултата лабораторија акредитованих за

контролисање по захтевима стандарда SRPS ISO/IEC 17020, па је договорен услов могао да буде и $|E_n| \leq 2$. У неким међународним поређењима лабораторија за еталонирање, услед карактеристика артефакта, његове стабилности, учешћа великог броја лабораторија или вишегодишњег трајања поређења, за договорен услов се узима $|E_n| \leq 2$. За поређење резултата лабораторија за контролисање (SRPS ISO/IEC 17020) услов $|E_n| \leq 2$ би био прихватљив, али КТ Електродистрибуције Србије се определило за „строжи“ услов, који је „осетљивији“ на индикацију перформанси лабораторија учесника поређења.

Након завршетка кружног поређења сваке гране „осмице“, пилот-лабораторије сваке гране „осмице“, као договорене референтне вредности гране „осмице“, лабораторије Л2 и Л12 извршиле су двоструко међулабораторијско поређење.

У првом међулабораторијском поређењу, договорена референтна вредност плаве гране, лабораторија Л2 је имала улогу пилот-лабораторије. Резултати прорачуна E_n броја за прво међулабораторијско поређење у форми Л2 – Л12 – Л2, приказано је на Слици 8.

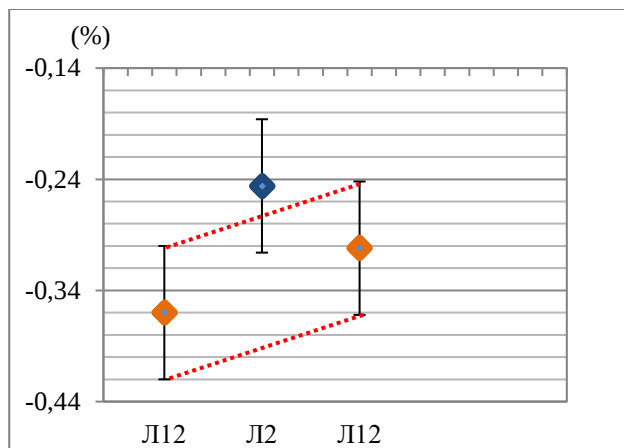


Слика 8. Резултати прорачуна E_n броја за пилот-лабораторију Л2

Апсолутна вредност E_n броја резултата мерења Л12 у односу на договорену референтну вредност плаве гране „осмице” је 0,9782 и задовољен је услов $|E_n| \leq 1$.

У другом међулабораторијском поређењу, договорена референтна вредност наранџасте гране, лабораторија Л12 имала је улогу пилот-лабораторије. Резултати прорачуна E_n броја за друго међулабораторијско поређење у форми Л12 – Л2 – Л12, приказано је на Слици 9.

Апсолутна вредност E_n броја резултата мерења Л2 у односу на договорену референтну вредност наранџасте гране „осмице” је 1,0018 и блиско је услову $|E_n| \leq 1$.

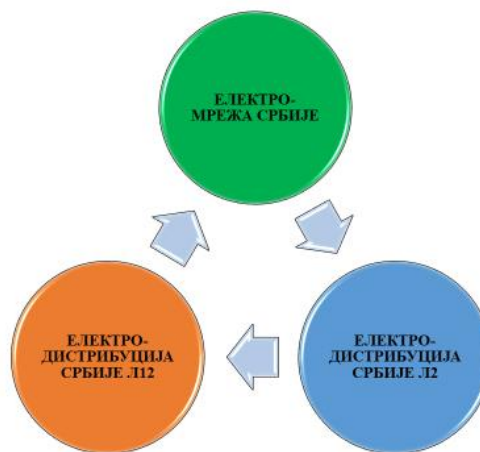


Слика 9. Резултати прорачуна E_n броја за пилот-лабораторију Л12

Евалуације резултата мерења у овом комплексном поређењу указују на перформансе еталонских бројила којима се, у поређењима, додељује улога договорене референтне вредности и закључује да је за учешће КТ у екстерним ПТ шемама препорука изабрати договорену референтну вредност лабораторије КТ која користи еталонско бројило произвођача А (плава грана „осмице”).

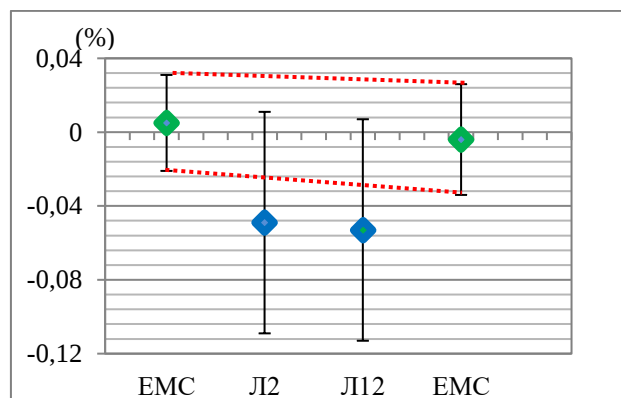
3.4 Екстерна ПТ шема

У циљу успостављања везе и показивања еквиваленције резултата мерења електричне енергије у лабораторијама Контролног тела Електродистрибуције Србије и лабораторији Контролног тела Електромреже Србије, спроведена је екстерна ПТ шема између Електромреже Србије и Електродистрибуције Србије. Улога пилот-лабораторије у овој екстерној ПТ шми поверена је лабораторији Електромреже Србије. Две лабораторије Контролног тела Електродистрибуције Србије Л2 и Л12 које су у претходној интерној ПТ шми имале улогу пилот-лабораторија, свака у својој грани „осмице”, представљале су Контролно тело Електродистрибуције Србије. Екстерна ПТ шема је организована као кружно поређење приказано на Слици 10.



Слика 10. Екстерна ПТ шема – кружно поређење

Резултати прорачуна E_n броја, у односу на договорену референтну вредност Електромрежа Србије (ЕМС), приказана је на Слици 11.



Слика 11. Резултати прорачуна E_n броја за пилот-лабораторију Електромреже Србије

Све лабораторије учеснице екстерне ПТ шеме су користиле исту мерну методу и вршиле су мерења у приближно истим лабораторијским условима средине.

Расипање резултата мерења је очекивана последица коришћења еталонских бројила различите тачности. Лабораторија Електромреже Србије користи еталонско бројило тачности $\pm 0,02\%$, док лабораторије Електродистрибуције Србије користе еталонска бројила тачности $\pm 0,05\%$.

Апсолутна вредност E_n броја резултата мерења Л2 је 0,757, а апсолутна вредност E_n броја резултата мерења Л12 је 0,818 што потврђује закључак претходне интерне ПТ шеме „осмица” у Поглављу 3.3 овог рада.

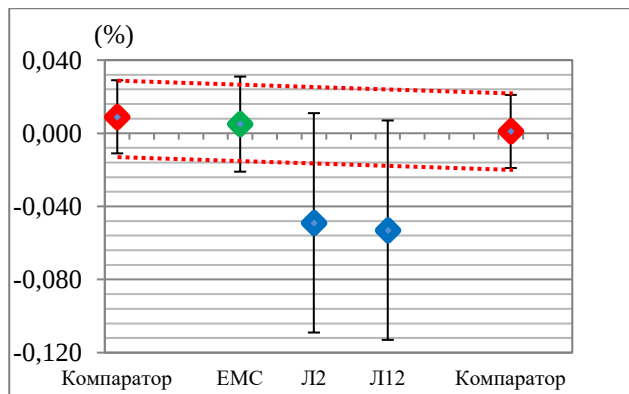
Потврђивање еквивалентности резултата мерења у Електромрежи Србије и у Електродистрибуцији Србије је од нарочитог значаја у ланцу тока електричне енергије, на местима примопредаје енергије из преносног у дистрибутивни систем.

Посебна вредност ове екстерне ПТ шеме је у додатно спроведеном „контролном” мерењу на компаратору, чија је следивост 1 : 1 у односу на национални еталон електричне енергије Републике Србије. Тачност компаратора је $\pm 0,01\%$, а његова излазна фреквенција је реда 60 kHz, што га чини осетљивијим и стабилнијим.

Апсолутна вредност E_n броја, у односу на компаратор (контролно мерење), резултата мерења ЕМС је 0. Апсолутна вредност E_n броја резултата мерења Л2 је 0,871, а резултата мерења Л12 је 0,935.

Резултати прорачуна E_n броја указују на утицај тачности договореног референтног еталонског бројила. Коришћењем компаратора у својству референтног еталонског бројила прорачунава се и већа вредност E_n броја.

Резултати прорачуна E_n броја у односу на компаратор (контролно мерење), приказани су на Слици 12.



Слика 12. Резултати прорачуна E_n броја у односу на компаратор

3.5 ПТ шема са произвођачима бројила

Интензивним радом Електродистрибуције Србије на унапређењу електродистрибутивне мреже и коришћењем дигиталних технологија у систем се имплементирају бројила електричне енергије са интегрисаним приступом читавања измерених величина са свих бројила електричне енергије.

У циљу успостављања везе између резултата мерења електричне енергије бројила различитих

домаћих произвођача, Контролно тело Електродистрибуције Србије је у току 2023. године спровело ПТ шему са домаћим произвођачима бројила електричне енергије, организовану као кружно поређење, приказано на Слици 13.



Слика 13. ПТ шема – кружно поређење са домаћим произвођачима бројила

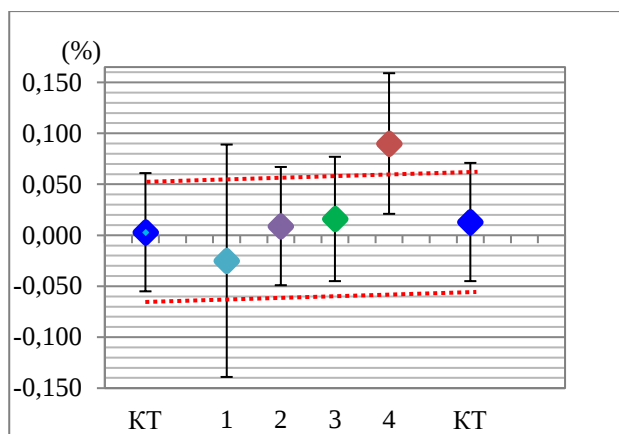
Резултати прорачуна E_n броја у односу на договорену референтну вредност лабораторије Контролног тела Електродистрибуције Србије, приказана је на Слици 14.

Апсолутна вредност E_n броја је мања од 1, чиме је потврђена еквивалентност резултата мерења електричне енергије у различитим, компетентним лабораторијама.

Пилот-лабораторија Контролног тела Електродистрибуције Србије и учесник ПТ шеме, Произвођач 3, у поређењу користе еталонска бројила еталонирана у ДМДМ, са следивошћу до националног еталона електричне енергије Републике Србије. Остали учесници ПТ шеме, произвођачи 1, 2 и 4 користе еталонска бројила еталонирана у акредитованој лабораторији за еталонирање, при чему учесник ПТ шеме Произвођач 1 доказује ланац следивости преко две акредитоване лабораторије, а учесници поређења Произвођач 2 и Произвођач 4 доказују ланац следивости преко акредитоване лабораторије следиве до ДМДМ.

С друге стране, тачност мерења електричне енергије еталонског бројила Произвођача 1 је $< \pm 0,1\%$, а тачност мерења електричне енергије еталонских бројила произвођача 2, 3 и 4 је $< \pm 0,05\%$ и то је разлог ширег опсега мерне несигурности мерења електричне енергије Произвођача 1.

Произвођач 4 има апсолутну вредност E_n броја 0,689 и то је највећа вредност E_n броја у овом поређењу, у односу на апсолутне вредности E_n броја осталих учесника ове ПТ шеме. Примарно објашњење апсолутне вредности E_n броја Произвођача 4 је у Уверењу/Сертификату о еталонирању еталонског бројила које је у поређењу користио Произвођач 4, у којем је, за задату мерну тачку, фактор прекривања (обухвата) $k = 2,18$ а проширена мерна несигурност 0,0375%.



Слика 14. Резултати прорачуна E_p броја ПТ шеме са домаћим произвођачима бројила

Посебна вредност ове ПТ шеме је њен међународни значај, имајући у виду упоређивање резултата мерења између лабораторија које су, у складу са захтевима референтног стандарда SRPS ISO/IEC 17020 акредитоване од стране Акредитационог тела Србије (АТЦ) и Босанског акредитационог тела (БАТА), те чињеницу да лабораторије за своја еталонска бројила доказују следивост преко различитих компетентних лабораторија за еталонирање, Националних метролошких институција или лабораторија акредитованих у складу са захтевима SRPS ISO/IEC 17025.

4. ЗАКЉУЧАК

Свакодневно суочавање са захтевима за поуздано снабдевање електричном енергијом, енергетску ефикасност и квалитет електричне енергије, подразумева организовани систем праћења свих процеса у ланцу токова електричне енергије, а њихово сагледавање и анализа са аспеката различитих квантитативних и квалитативних параметара ствара услове за предузимање одговарајућих мера и активности.

Повећање ефикасности захтева развој инфраструктуре која подразумева одговарајућу тачност и поузданост мерења. Развој постојећих и примена нових технологија, као и широко прихваћени алати инфраструктуре квалитета, треба да омогуће остваривање ових циљева.

Доказивање еквивалентности метода и резултата мерења обезбеђује препознавање и прихватање резултата мерења и утврђује и осигурава поверење у резултат мерења.

Додатна корист сваког међулабораторијског поређења, интерне или екстерне ПТ шеме је у процењивању перформанси лабораторија и утврђивању способности сваке лабораторије за специфична мерења електричне енергије.

Осим доказивања техничке компетентности, то је и додатна могућност за стално напредовање и потврђивање могућности мерења применом најбољих мерних техника и најтачније мерне опреме.

Контролно тело Електродистрибуције Србије, одабраним методама мерења које одговарају врсти и обиму предузетог посла за предвиђену намену и у складу са потребама корисника, стално демонстрира компетентност и доприноси корпоративном имиџу и побољшању видљивости Електродистрибуције Србије међу операторима дистрибутивних система у региону и у Европи, јер мерење електричне енергије нема искључиво национални значај, већ представља међународну обавезу којом се обезбеђује да национални оператори дистрибутивних система делују на усаглашен и јединствен начин.

ЗАХВАЛНИЦА

Топле речи признања и захвалности цењеним колегама у Сектору за контролисања мерила електричне енергије Електродистрибуције Србије, на непоколебљивом савладавању процењивања мерне несигурности и раду на развоју мерних техника. Својим несебичним залагањем одиграли су изузетно важну улогу у спровођењу конкретних мерења и постизању завидних резултата.

У складу са принципима и правилима пословне етике, највише руководство Електродистрибуције Србије обезбеђује независност Контролног тела од било каквих утицаја и притисака који би могли да угрозе самосталност техничког одлучивања и интегритет особља Контролног тела.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] SRPS ISO/IEC 17043:2011 Оцењивање усаглашености – Општи захтеви за испитивање оспособљености
- [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] Станковић, Д., „О мерној несигурности”, XLVI Конференција ETRAN, том III, од 4. 6. до 7. 6. 2002. Бања Врућица – Теслић
- [8] Цинцар Вујовић, Т., Наранчић И., Радосављевић, Д., Максимовић, З., Деак, П., „Поређење лабораторија за контролисање бројила електричне енергије у Електродистрибуцији Србије”, XII саветовање о електродистрибутивним мрежама Србије, CIRED, од 30. 8. до 3. 9. 2021. Врњачка Бања

[9] Цинцар Вујовић, Т., Наранчић И., Радосављевић, Д., Максимовић, З., Деак, П., „Билатерално поређење између Контролног тела Електродистрибуције Србије и Националне

метролошке институције”, XIII саветовање о електродистрибутивним мрежама Србије, CIRED, од 12. 9. до 16. 9. 2022, Копаоник

БИОГРАФИЈА



Татјана Цинцар Вујовић је рођена у Београду 1964. године. Метрологија је примарна сфера њеног интересовања од дипломирања на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

Искуство је стекла дугогодишњим радом у Националној метролошкој институцији на метрологији електричних величина и активним учешћем у раду техничких и секторских комитета, поткомитета и радних група Европске комисије за мерила (European Commission MI), Европске асоцијације Националних метролошких института (EURAMET), Европске сарадње у законској метрологији (WELMEC), Међународне организације за законску метрологију (OIML), Акредитационог тела Србије (ATC) и Института за стандардизацију (ИС). Посветила се

развоју националне лабораторије за електричну енергију и потврђивању њене компетентности на међународном нивоу, учешћем у бројним међународним поређењима. Радилa је на развоју међународне препоруке за бројила електричне енергије (OIML R46), транспоновану ЕУ Директиве о мерилима (Measuring Instruments Directive – MID) у законодавство Србије, на смерницама за имплементацију, уједначену и хармонизовану примену MID и успостављању усаглашеног и доследног приступа европској законској метрологији у области бројила електричне енергије. На домаћим и међународним конференцијама, као аутор/коаутор објавила је више од 50 стручних радова. Мотивисана жељом за наставком професионалног успеха, транспарентним доказивањем у складу са најбољом праксом извођења мерења електричне енергије, од 16. 11. 2019. године ради на месту директора Сектора за контролисање мерила електричне енергије у Електродистрибуцији Србије.

Tatjana Cincar Vujovic^{1*}

Applied metrology in Elektrodistribucija Srbije Ltd.

¹ 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 27th, 2024Reviewed: December 30th, 2024Modified: February 12th, 2025Accepted: February 13th, 2025

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

E - mail: Tatjana.Cincar-Vujovic@es.rs