

DOI: [10.46793/CIGRE37.B5.10](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B5.10)**B5.10****ПРЕДНОСТИ ПРИМЕНЕ ПАМЕТНИХ БРОЈИЛА ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ
ВИСОКИХ КЛАСА ТАЧНОСТИ ЗА ПРИКУПЉАЊЕ ПОДАТАКА О КВАЛИТЕТУ
ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ У ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКОМ СИСТЕМУ****ADVANTAGES OF APPLYING SMART ENERGY METERS OF HIGH ACCURACY
CLASSES TO COLLECT DATA ON POWER QUALITY IN ELECTRIC POWER SYSTEM****Ђорђе Дуканац***

Кратак садржај: У оператору преносног система (ОПС-у) АД Електромрежа Србије (ЕМС АД) дошло је до наглог пораста набавки уређаја за мерење квалитета електричне енергије (КЕЕ-а) (за 146 уређаја у последње две године) за слање података у национални диспечерски центар преко система предвиђеног за прикључење више од 200 мерних уређаја. С друге стране, паметна бројила електричне енергије у власништву ЕМС АД-а такође имају, мада скромније, али код нових модела све напредније могућности за бележење података о КЕЕ-у. Она су уграђена, према подацима из 2023. године, на 330 обрачунских и контролних мерних места у мрежама 110 kV, 220 kV и 400 kV и 77 осталих, као и на 585 мерних места у АД-у Електропривреда Србије и 88 осталих у објектима корисника електроенергетског система. У погледу учинка и исплативости, у овом раду биће упоређене могућности и значај примене паметних бројила у погледу бележења података о КЕЕ-у у поређењу са знатно скупљим уређајима за мерење КЕЕ-а. Биће наведена искуства ОПС-а Transeletrica из Румуније.

Кључне речи: *Квалитет електричне енергије (КЕЕ), мерно место, оператор преносног система (ОПС), паметно бројило електричне енергије, уређај за мерење КЕЕ-а*

Abstract: The transmission system operator (TSO) JSC Elektromreza Srbije (EMS JSC) has seen a sharp increase in the procurements of power quality (PQ) measuring devices (by 146 devices in the last two years) to send data to the national dispatch centre via a system designed to connect more than 200 measuring devices. On the other hand, the smart electricity meters owned by EMS JSC also have, albeit more modestly, but with new models increasingly advanced capabilities for recording PQ data. According to data from 2023, they are installed at 330 billing and control metering points in the 110 kV, 220 kV, and 400 kV networks and 77 others, as well as at 585 metering points in JSC Elektroprivreda Srbije and 88 others in the facilities of electric power system users. In terms of performance and cost-effectiveness, this paper will compare the possibilities and importance of implementing smart meters in terms of recording PQ data compared to significantly more expensive PQ measuring devices. It will present the experiences of the Romanian TSO Transeletrica.

* Ђорђе Дуканац, Акционарско друштво "Електромрежа Србије" Београд, djordje.dukanac@ems.rs.

Key words: *Power quality (PQ), metering point, transmission system operator (TSO), smart energy meter, device for PQ measuring*

1 УВОД

У овом раду говори се о особинама паметних бројила електричне енергије монтираних на мерним местима у електроенергетским (ЕЕ) постројењима, у власништву оператора преносног система (ОПС-а) АД Електромрежа Србије (ЕМС АД) [1], у погледу надзирања и бележења измерених података о квалитету електричне енергије (КЕЕ-у), како би се број знатно скупљих фиксних уређаја за мерење КЕЕ-а [2–5] свео на разумну меру. Сврсисходност и економичност садашњег броја монтираних фиксних уређаја за мерење (тј. мерила) КЕЕ-а, чији је број у последње две године повећан за 146 нових уређаја [6], биће размотрена са више тачака гледишта. Биће наведена искуства ОПС-а Transelectrica из Румуније у погледу развоја њиховог система за надзирање КЕЕ-а и извршена поређења у погледу економичног броја мерила КЕЕ-а у ОПС-у ЕМС АД из Србије.

1.1 Утицаји на КЕЕ

КЕЕ се описује преко многих параметара о којима ће бити речи у потпоглављу 1.2. На параметре квалитета напона у мрежи утичу [7]:

- 1) Нелинеарни потрошачи електричне енергије који представљају значајан изазов, попут засићених електричних машина, електролучних и индукционих пећи, као и великих енергетских претварача (који се, на пример, користе за управљање електромоторним погонским системима);
- 2) Дејство природних чинилаца (као што су: атмосферске непогоде (нпр. удари грома у ваздушне водове), гране дрвећа, птице, ситне животиње и друго) који изазивају земљоспојеве и међуфазне кратке спојеве, пренапоне, поднапоне и сл.;
- 3) Нагле динамичке промене оптерећења или покретање електромоторних погона, флуоресцентно осветљење итд., који изазивају промене ефективне вредности напона, пропаде напона и сл.;
- 4) Прелазне појаве које настају током неопходних манипулација са прекидачима у електричној мрежи, као што су прикључивање и искључивање електричне опреме (на пример, неоптерећених трансформатора или кондензаторских батерија), а које могу да изазову склопне пренапоне;
- 5) Рад ЕЕС-а на граници издржљивости, што доводи до лоших напонских прилика (поднапона).

Због рада нелинеарних потрошача јавља се сложени облик струје који није линеарно повезан с напонам. Због својих прекидачких особина или нелинеарног режима рада, ови потрошачи троше несинусоидалну струју, што доводи до изобличења мрежног напона. То може да доведе до стварања виших хармоника, треперења, рупа и уреза у напону, као и до појаве шума. Највећи проблеми у преносној мрежи произлазе из динамичких нелинеарних оптерећења, као што су она у железничкој и металуршкој индустрији. При непосредном прикључењу нелинеарних потрошача на преносну мрежу, као што су енергетски претварачи великих снага (на пример, исправљачи снаге реда MW-а за напајање вучних мотора у електричним локомотивама) или дистрибуирани извори електричне енергије, могу да се појаве виши хармоници струје. Ови хармоници могу озбиљно да угрозе функционисање ЕЕС-а, што, на пример, код синхроних машина може да доведе до прегревања површина полова ротора [8].

Последице нарушеног КЕЕ-а укључују оштећење опреме, замор очију и, у крајњим случајевима, опасност од пожара. Сходно томе, велика већина ОПС-ева националних мрежа или је већ монтирала системе за надзирање КЕЕ-а, или су у различитим фазама планирања таквих система.

1.2 Три примера удела појављивања параметара КЕЕ-а

Пример 1: Према првом извору [9], показало се да је 56 % укупних финансијских губитака због лошег КЕЕ-а у 25 земаља Европске Уније резултат пропада напона и прекида напона (од тога напонски пропади чине 24 %, краткотрајни прекиди чине 19 %, а дуготрајни прекиди чине 13 %), док је 28 % трошкова последица прелазних процеса (транзијентних пренапона – импулсног напона грома и склопних пренапона). Остали финансијски губици (преосталих 16 %) су: због хармоника (5 %), као и треперења („фликера“), уземљења и проблема везаних за електро-магнетску компатибилност (11 %).

Пример 2: Према другом извору [10], на поремећаје КЕЕ-а утичу: хармоници – 34 %, прелазни процеси (удари грома и склопни пренапони) – 19%, пропади напона – 17 %, дуготрајни прекиди – 13 %, краткотрајни прекиди – 9 % и други проблеми са КЕЕ-ом – 8%.

Пример 3: Према трећем извору [11], узроци лошег КЕЕ-а су: пропади напона – 48 %, хармоници – 22 %, уземљење – 15 %, прелазни процеси – 5 %, фликери – 5 % и остало – 4 % од свих узрока лошег КЕЕ-а.

Према првом извору [9], у 25 земаља Европске Уније финансијски губитак био је већи од 150 милијарди евра сваке године због проблема са КЕЕ-ом. Ово истраживање вршено је од 2003. до 2004. године у 62 предузећа из различитих индустрија и услужних сектора. Такође, утврђено је да 90 % укупних финансијских губитака због лошег КЕЕ-а отпада на индустрију. Према другом извору [10], проблеми са КЕЕ-ом Европску Унију коштају 200 милијарди долара сваке године, док САД троше 30 милијарди долара годишње да реше та питања.

Различитим мерним и сигналним уређајима који се уграђују у преносне мреже могу да се мере одређени параметри КЕЕ-а. С обзиром на релативно високу цену наменских фиксних уређаја за надзирање КЕЕ-а [2], није исплативо да се уграђују свуда, него само у кључним тачкама преносног система [12]. На другим, мање значајним мерним местима могу да се користе подаци о појединим параметрима КЕЕ-а са осталих уређаја, као што су, пре свега, паметна бројила електричне енергије, затим мултифункционални дигитални заштитни релеји итд. [13]. Код савремених мултифункционалних дигиталних релејних заштита омогућено је и мерење одређених параметара КЕЕ-а, као што су прекиди напона, пропади напона, надвишења напона и THD-ови струје и напона (од 2. до 20. реда хармоника струје и напона) [14,15]. У односу на примере у овом потпоглављу, они покривају око [61–66,5] %, око [65–69] % и 90 % свих случајева нарушавања КЕЕ-а, респективно, ако се претпостави да фликери покривају 50 % „осталих проблема“ са КЕЕ-ом према примерима 1 и 2 из овог потпоглавља.

2 МОГУЋНОСТИ ПАМЕТНИХ БРОЈИЛА ЗА ОБРАЧУН И КОНТРОЛУ ОБРАЧУНА ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ У ОПС-у ЕМС АД У ПОГЛЕДУ ПРАЋЕЊА КЕЕ-а

За обрачунско мерење и контролно мерење електричне енергије у преносној мрежи ОПС-а ЕМС АД у Србији користе се „паметна“ вишефункционална бројила, за индиректно прикључење, „А“, „Б“, „В“ и ускоро „Г“ и „Д“. Сва ова бројила имају и могућности регистрације одређених параметара КЕЕ-а који су описани у овом раду. Она су знатно јефтинија од уређаја за мерење КЕЕ-а „Б“, класе тачности 0,1S за мерење активне електричне енергије, који је описан у поглављу 3 [2–5].

Према правилима о раду преносног система [16], ЕМС АД редовно читава мерне податке у сваком објекту у одређеним временским размацима. Временски интервал читавања је један дан. У овом поглављу биће детаљно описане особине бројила електричне енергије „А“, „Б“, „В“ и ускоро „Г“ и „Д“ у погледу мерења КЕЕ-а, а која су у власништву ОПС-а ЕМС АД. Она су класе тачности 0,2S. У поглављу 5 биће процењено колико је процената проблема због КЕЕ-а покривено појединачно са овим бројилима, у погледу: 1) финансијске штете које ти проблеми изазивају (према примеру 1 потпоглавља 1.2), 2) учесталости појављивања поремећаја КЕЕ-а (према примеру 2 потпоглавља 1.2) и 3) узрока лошег КЕЕ-а (према примеру 3 потпоглавља 1.2).

2.1 Могућности „паметног“ бројила „А“ у мерењу КЕЕ-а

На слици 1а приказано је бројило „А“, класе тачности 0,2S за активну електричну енергију и класе тачности 2 за реактивну електричну енергију. Ових бројила има доста у власништву ЕМС АД-а, скоро искључиво су за индиректно прикључење, а назначени фазни напон је 57,74 V. Користе се као бројила за обрачун или контролу обрачуна електричне енергије. Ово су статичка, трофазна, четвороквадрантна бројила са више тарифа [17], са резолуцијом регистра енергије на највише три децимална места и без испитног режима за привремено подешавање резолуције регистра енергије на четири децимална места. Имају деветоцифрени екран. Бројило је предвиђено за комерцијалну и индустријску примену у трансформаторским станицама и разводним постројењима. Високом тачношћу и линеарношћу бројила обезбеђени су обрачунски подаци високог квалитета. Капацитет дневника свих записа у овом бројилу је 500. Оно се користи за потребе ЕМС АД-а још од године производње 2004.

Ако се то посебно захтева од произвођача бројила, ова бројила у четворожичној спрези могу да се подесе за надзирање различитих параметара квалитета напона у електричној мрежи, као што су:

- 1) прекиди напона по фазама (енгл. voltage cuts) (са почетком на 75 % назначеног напона, а завршетком на 85 % назначеног напона) (постоји 10 записа догађаја);
- 2) пропади напона по фазама (са почетком на 90 % назначеног напона, а завршетком на 95 % назначеног напона) (постоји 10 записа догађаја);
- 3) надвишења напона по фазама (са почетком на 110 % назначеног напона, а завршетком на 100 % назначеног напона) (постоји 10 записа догађаја).

Овим бројилом се откривају недостаци у квалитету напона помоћу непрекидног узимања узорака и анализирања ефективних напона по фазама, као и поређењем ових напона према низу унапред одређених вредности. Обично за сваки поремећај постоји виша и нижа вредност прага, чијим прекорачењем започиње догађај.

Величина недостатка се израчунава као просечна вредност током трајања догађаја. При свим израчунавањима величине недостатка, првих и последњих 40 ms периода трајања недостатка се не узимају у обзир, а ако недостатак не траје барем 120 ms, величина недостатка се сматра нулом, без обзира на врсту недостатка.

За сваки догађај недостатка у квалитету напона, овим бројилом се бележи:

- присутна фаза;
- трајање у десетинама милисекунди (са фиксном тачношћу од +/- 80 ms);
- просечна вредност напона (са тачношћу од 0,5 % у 1/100 волти, ограничено на прва 2 сата);
- време почетка и време завршетка догађаја недостатка (са резолуцијом од једне секунде).

Одређени параметри сваког типа недостатка (пропада напона, надвишења напона и прекида напона) снимају се као историјски подаци бројила за накнадну анализу, као што су:

- број поремећаја по фази (повећавајући);
- укупно трајање недостатка по фази;
- најдуже и најкраће трајање поремећаја по фази (са временском ознаком);
- 10 последњих недостатака (са трајањем, временском ознаком, величином, фазом).

Тренутни подаци са бројила „А“ подељени су у неколико група: укупна енергија, регистри енергија по тарифама, тренутна снага, фактор снаге (по фазама и средњи), ефективне вредности напона и струја, напон и струја нултог редоследа, фазни угао и укупно хармонијско изобличење. THD (енгл. total harmonic distortion) се израчунава у пуном опсегу хармоника од 2. до 13. реда за учестаност 50 Hz. Подаци о THD-у се израчунавају у позадинском задатку да се не би ометао општи начин рада бројила. Пошто се за израчунавање THD-а захтева много обраде од стране процесора, подаци се ажурирају сваких 20 секунди, али су расположиви после 1 минута, јер се израчунавање врши са клизним филтером (за 3 вредности) да би се обезбедила стабилна вредност THD-а и избегла вредност краткотрајне промене THD-а. Догађаји услед THD-ова јављају се када се прекораче вредности унапред одређених прагова THD-ова за фазне вредности напона и струја.

Бројилом „А“ снимају се следећи параметри догађаја услед овог недостатка:

- 1) број догађаја THD-ова,
- 2) трајање THD-а,
- 3) величина THD-а.

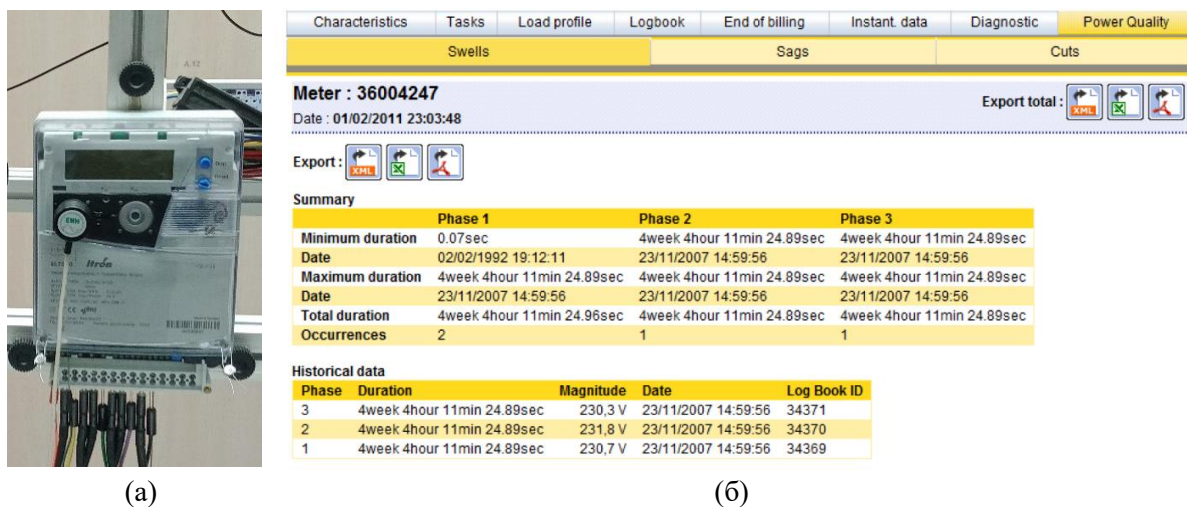
За THD-ове по фазама од ефективних вредности напона и струја, бројило има по 10 записа догађаја.

Бројилом „А“ открива се губитак напајања када су све три фазе напона у мрежи нестале. Бројило може да се подеси са вредношћу прага дуготрајног губитка напајања (енгл. long power failure) између 0 и 255 секунди. Изнад подешеног прага су дуготрајни губици напајања. Овим бројилом снимају се следећи параметри догађаја губитка напајања:

- 1) број краткотрајних/дуготрајних губитака напајања,
- 2) укупно трајање дуготрајних губитака напајања,
- 3) трајање најдуже/најкраће губитка напајања (са ознаком времена почетка),
- 4) последњих 10 дугих губитака напајања (са ознаком времена почетка и временом трајања).

Појаве нулте струје (која је последица асиметричних оптерећења) и нултог напона (која је последица асиметричних оптерећења или кварова у фази) сигнализирају се као аларми [17].

Помоћу одговарајућег софтвера за читавање бројила „А“, на слици 1б приказани су подаци за снимљена надвишења напона бројилом „А“ [18]. Слично се представљају и подаци за пропаде напона и прекиде напона.



Слика 1: (а) Статичко, трофазно, четвороквадрантно бројило „А“ са две тарифе, класе тачности 0,2S за активну електричну енергију, снимљено при овери у КТ-у ЕМС АД. (б)

Помоћу одговарајућег софтвера за аутоматско читавање бројила „А“ приказани су подаци за снимљена надвишења напона бројилом „А“ [18].

2.2 Могућности „паметних“ бројила „Б“ у мерењу КЕЕ-а

На слици 2а приказана су два бројила „Б“, серије 4, класе тачности 0,2S за активну електричну енергију и класе 2 за реактивну електричну енергију у раду у разводном постројењу РП 400 kV Ђердап 1. Има их доста у власништву ЕМС АД-а, скоро искључиво су за индиректно прикључење, а назначени фазни напон је 57,74 V. Користе се као бројила за обрачун или контролу обрачуна електричне енергије.

Ово су статичка, трофазна, четвороквадрантна бројила са више тарифа [19], са могућношћу подешавања резолуције регистара енергије на екрану бројила на четири децимална места, и у радном режиму и у испитном режиму бројила (за привремено подешавање резолуције регистара енергије на четири децимална места, ако су у радном режиму подешени на мању резолуцију). Бројила овог типа користе се за потребе ЕМС АД-а још од године производње 2006. и имају осмоцифрени екран.

За бројило „Б“ [20], на слици 2а, догађаји којима се описује квалитет мреже могу да се чувају у наменском дневнику догађаја, који се састоји од три групе дневника, под називима:

- 1) Догађаји губитка напона;
- 2) Догађаји пренапона;
- 3) Догађаји поднапона.

Постоји могућност надгледања напона (тј. пренапона и поднапона) [20].

У наменским евиденцијама догађаја, важни подаци могу да буду сачувани по упису, као што су:

- 1) тренутне вредности;
- 2) трајање догађаја;
- 3) екстремне вредности догађаја (не за напон који недостаје);
- 4) највише три регистра енергије.

Додатне информације могу да се прочитају из заглавља евиденције догађаја, као што су најдужи унос, најкраћи унос, укупан број појављивања и укупно трајање догађаја. Мери се и нулта струја.

Подаци о стварном (енгл. true) укупном хармонијском изобличењу (TTHD-у) израчунавају се на основу поређења вредности садржаја хармоника и вредности основног хармоника, као:

- 1) TTND напона (збир);
- 2) TTND-ови фазних напона (за фазе 1, 2 и 3);
- 3) TTND струје (збир);
- 4) TTND-ови фазних струја (за фазе 1, 2 и 3);
- 5) TTND активне енергије (збир).

Због коришћења сигнала у различитим регистрима, микропроцесором се читавају мерене величине сваке секунде да би се, између осталог, одредиле и вредности TTND-ова активне електричне енергије, напона и струје. Капацитет дневника свих догађаја је највише 1000.

2.3 Могућности „паметних“ бројила „В“ у мерењу КЕЕ-а

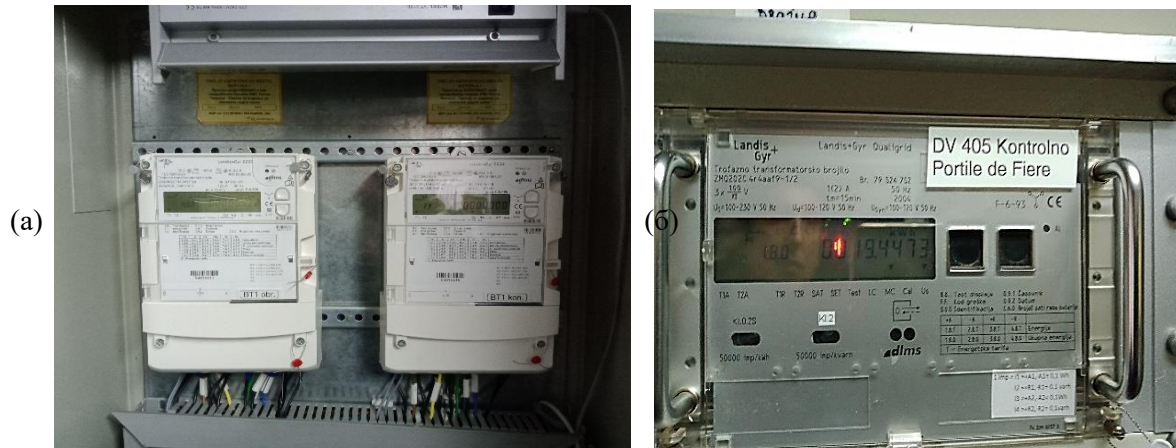
На слици 26 приказано је бројило „В“, класе тачности 0,2S за активну електричну енергију и класе 2 за реактивну електричну енергију, у раду у разводном постројењу РП 400 kV Ђердап 1. Има их знатно мање него бројила „А“ и „Б“ у власништву ЕМС АД-а, а искључиво су за индиректно прикључење, при чему је назначени фазни напон 57,74 V. Користе се као бројила за међудржавну размену енергије за обрачун или контролу обрачуна електричне енергије. Ово су статичка, трофазна, четвороквадрантна бројила са више тарифа [21], са радном резолуцијом регистара енергије на екрану бројила и на четири децимална места, као и са испитним режимом за привремено подешавање резолуције регистара енергије на четири децимална места (ако су у радном режиму подешени на мању резолуцију). Имају осмоцифрени екран. Ово се бројило користи за потребе ЕМС АД-а још од године производње 2004.

За бројило „В“ [21], на слици 26, у дневнику догађаја могу да се чувају следећи догађаји којима се описује квалитет мреже:

- 1) Догађаји пренапона или поднапона;
- 2) Догађаји прекида напајања;

- 3) Прекиди по фазама;
- 4) Несиметрија напона и струја.

Постоји могућност надгледања напона (тј. пренапона и поднапона) [22].



Слика 2: (а) Два статичка, трофазна, четвороквадрантна бројила „Б“, серије 4 [19], снимљена у разводном постројењу РП 400 kV Ђердап 1. (б) Статичко, трофазно, четвороквадрантно бројило „Б“ [22], снимљено у разводном постројењу РП 400 kV Ђердап 1.

Омогућено је мерење и бележење следећих параметара КЕЕ-а:

- 1) Пренапона или поднапона;
- 2) Табеле пропада напона;
- 3) THD-а/THD-ова напона (сума/по фазама);
- 4) THD-а/THD-ова струја (сума/по фазама);
- 5) THD-а активне енергије (сума).

THD се одређује у процентима или kWh-има од активне енергије. Капацитет дневника свих догађаја је најмање 256.

2.4 Могућности „паметних“ бројила „Г“ у мерењу КЕЕ-а

На слици 3а приказано је бројило „Г“, класе тачности 0,2S за активну електричну енергију и класе 2 за реактивну електричну енергију, као и са унапређеним могућностима у погледу мерења КЕЕ-а у односу на бројила „А“, „Б“ и „В“, а које је купљено од стране ЕМС АД-а (49 комада). Ово су бројила за индиректно прикључење, са назначеним фазним напонем 57,74 V и користиће се као бројила за обрачун или контролу обрачуна електричне енергије. Имају профиле за чак једанаест видова КЕЕ-а. Ово су статичка, трофазна бројила, са радом у четири квадранта енергије, са више тарифа, са радном резолуцијом регистара енергије на екрану бројила и на четири децимална места, као и са испитним режимом за привремено подешавање резолуције регистара енергије на четири децимална места (ако су у радном режиму подешени на мању резолуцију) [23]. Имају десетоцифрени екран. Ово бројило, са знатно унапређеним могућностима у погледу надзирања КЕЕ-а, биће на располагању ОПС-у ЕМС АД већ од 2025. године. Ово бројило има период интеграције 100 ms и открива догађаје трајања 10 ms.

У овом напредном бројилу у погледу мерења КЕЕ-а постоји расположивост следећих вредности КЕЕ-а у периодима од 10 минута (од чега 11 параметара има и профил) [23], а то су:

- 1) Учестаност (има профил);
- 2) Фазни напони (постоје профили и дневник догађаја квалитета напона (са 100 записа));
- 3) THD напона (збир) (постоји профил и дневник догађаја КЕЕ-а);
- 4) THD-ови напона по фазама (постоје профили и дневник догађаја КЕЕ-а);
- 5) Напонска неравнотежа нултог редоследа (постоји профил и дневник догађаја КЕЕ-а);
- 6) Напонска неравнотежа негативног редоследа (постоји профил и дневник догађаја КЕЕ-а);
- 7) Струјна неравнотежа нултог редоследа (постоји профил и дневник догађаја КЕЕ-а);
- 8) Струјна неравнотежа негативног редоследа (постоји профил и дневник догађаја КЕЕ-а);
- 9) Фазне струје, I_n (постоји и дневник догађаја КЕЕ-а);
- 10) THD струја (збир) (постоји профил и дневник догађаја КЕЕ-а);
- 11) THD-ови струја по фазама (постоје профили и дневник догађаја КЕЕ-а);
- 12) THD-ови активне енергије у позитивном и негативном смеру (постоји и дневник догађаја КЕЕ-а);
- 13) Фликери (треперења напона) (могу да се јаве као краткотрајни фликери и 2-часовне вредности дуготрајних фликера и дати су по фазама) (постоје профили и дневник догађаја фликера (са 50 записа));
- 14) Пропади и надвишења напона (постоји дневник догађаја пропада и надвишења напона (са 50 записа));
- 15) Прекиди напона (краткотрајни и дуготрајни) (енгл. interruptions) (постоји дневник догађаја прекида (са 50 записа));
- 16) Губитак напајања (енгл. power failure) (по фазама) (постоји дневник догађаја губитака напајања (са 50 записа));
- 17) Брза промена напона (постоји дневник брзих промена напона (са 50 записа)).

Ово бројило има следеће показатеље владања напона:

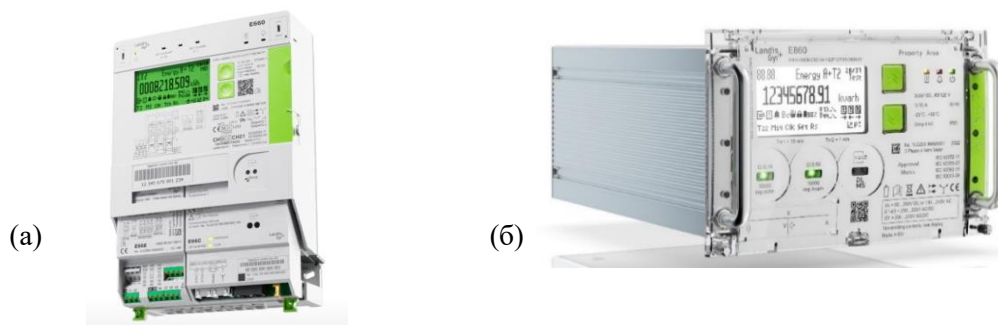
- 1) Споропроменљиви напон;
- 2) Изобличење напона;
- 3) Асиметрија напона;
- 4) Колебање (флуктуација) напона.

Региструју се хармоници и за тренутне међухармонике и последње средње међухармонике. Постојана flash меморија садржи, између осталог, и податке о записима и профилима КЕЕ-а. Профилом сачуваних вредности управља се као са кружним бафером, тј. најкаснији унос ће бити замењен по последњем уносу.

2.5 Могућности „паметних“ бројила „Д“ у мерењу КЕЕ-а

На слици 36 приказано је бројило „Д“ [24], класе тачности 0,2S за активну електричну енергију и класе 2 за реактивну електричну енергију, као и са унапређеним могућностима у погледу мерења КЕЕ-а у односу на бројила „А“, „Б“ и „В“, а које је купљено од стране ЕМС АД-а (24 комада).

Користиће се за обрачун енергије у међудржавној размени енергије, дакле, баш на оним местима где се иначе најчешће постављају посебни уређаји за мерење КЕЕ-а. Имају назначени фазни напон 57,74 V и назначену струју 1 А.



Слика 3: Бројила са унапређеним могућностима за мерење КЕЕ-а: (а) Паметно бројило „Г“ за индиректно прикључење [11]; (б) Паметно бројило „Д“ за индиректно прикључење [24].

Постоје следећи записи догађаја КЕЕ-а: 100 за квалитет напона, 50 за напонске пропаде и надвишења, 50 за прекиде напона, 50 за губитак напајања, 100 за квалитет напајања, 50 за брзе напонске промене и 50 за фликере. Расположиве су следеће вредности КЕЕ-а у периоду од 10 min са профилем квалитета напајања: учестаност, фазни напони, THD напона (збир), THD-ови напона по фазама, напонска неравнотежа нултог редоследа, напонска неравнотежа негативног редоследа, фазне струје I_n , THD струја (збир), THD-ови струја по фазама, THD-ови активне енергије у позитивном и негативном смеру, фликери (треперења напона) (краткотрајни фликери и дуготрајни фликери), пропади и надвишења напона, прекиди напона (краткотрајни и дуготрајни), губитак напајања и брза промена напона. Мери се и неутрална струја [24].

За бројила „Б“, „В“, „Г“ и „Д“, која су од истог произвођача, постоји заједнички систем за аутоматско читавање бројила (AMR) [25]. Помоћу AMR-а омогућава се читавање измерених података са бројила електричне енергије на основу захтева, при посебним догађајима или према унапред одређеним плановима. AIM је аутоматски систем паметног мерења. Њиме се складиште и припремају подаци мерења ради прегледања, извештавања или коришћења у другим наменским софтверима. Резултати се чувају у бази података из које могу да се прегледају, праве извештаји или пренесу даље до других система. Подаци о КЕЕ-у су лако доступни у систему. Могу да се прикупљају и приказују подаци о КЕЕ-у са бројила, укључујући записе о, нпр., пренапону и поднапону, прекидима напајања и укупном хармонијском изобличењу. Постоји и посебан софтвер као сучеље између бројила и AMR-а преко интернета (iMEGA). На слици 4а приказан је пример прегледа измерених података у претраживачу података софтвера AIM за прикупљање и руковођење подацима о мерењима бројила „Б“, „В“, „Г“ и „Д“.

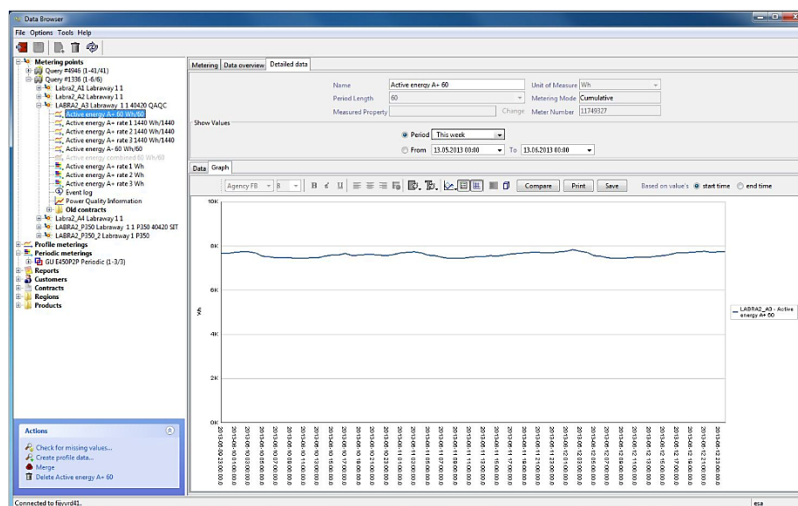
3 НАДЗИРАЊЕ КВАЛИТЕТА ЕЛЕКТРИЧНЕ МРЕЖЕ ПРЕКО САВРЕМЕНОГ МЕРИЛА КЕЕ-а „Б“ КОЈЕ СЕ КОРИСТИ У ЕМС АД-у

У погледу мерења КЕЕ-а, што је главна улога овог мерила у преносној ЕЕ мрежи, највеће додатне могућности уређаја „Б“ на слици 4б, у односу на поменута бројила „А“, „Б“ и „В“, су подаци о величини и трајању транзијентних поремећаја дужих од 20 μs и фликера напона, а у односу на бројила „Г“ и „Д“ само подаци о величини и трајању транзијентних поремећаја дужих од 20 μs .

Уопштено гледано, мерила КЕЕ-а „Б“ имају могућности мерења: 1) пропада/надвишења напона и струја по фазама (100 записа), 2) краткотрајних/дуготрајних прекида напона, 3) неравнотеже напона, 4) транзијентних пренапона дужих од 20 μ s по фазама, 5) брзих промена напона (100 записа), затим анализе: појединачних хармоника напона и струја до 63. хармоника, укупног парног и укупног непарног хармонијског изобличења и међухармоника (850 записа за 35 дана, на сат времена). Постоје аларми за превелике вредности THD-ова напона по фазама, као и за пропаде/надвишења напона и струја по фазама.

Израчунавају се: вршни фактори напона и струје (тј. однос вршне и ефективне вредности напона и однос вршне и ефективне вредности струје, респективно), К-фактор (којим се описује способност трансформатора да поднесе нелинеарна оптерећења без прекорачења назначених ограничења пораста температура и представља количник суме квадрата производа хармоника струја и реда хармоника и суме квадрата хармоника струја) и укупно изобличење потрошње (TDD (енгл. total demand distortion)) (тј. количник укупног изобличења хармоника струје и максималне струје потрошње). Овим уређајем врши се одређивање степена вероватноће смера одакле долази поремећај и има GPS (енгл. Global Positioning System) пријемник којим може да се синхронизује време мерила до ± 1 ms, ради унапређења часовника мерила. Овај уређај има капацитет меморије 2 GB [26].

Поред претходно наведених могућности за мерење КЕЕ-а на мерним местима у ЕЕ постројењима, уређај „Б“ може да служи, поред обрачунског и контролног бројила електричне енергије (која могу да буду бројила „А“, „Б“, „В“, „Г“ или „Д“), а која се за потребе ЕМС АД-а оверавају, и као „редундантно“ показно бројило електричне енергије са деветоцифреним екраном, јер се не оверава. Има класу тачности 0,1S за активну електричну енергију и 0,5S за реактивну електричну енергију.



(a)



(б)

Слика 4: (а) Преглед потрошње активне електричне енергије која тече у позитивном смеру на свака 2 сата у фасцикли под називом „тачке мерења“ (енгл. metering points) у претраживачу података софтвера АИМ за прикупљање и руковођење подацима о мерењима за бројила „Б“, „В“, „Г“ и „Д“ од истог произвођача. Једна од могућности прегледа мерених података у фасцикли „тачке мерења“ су обавештења о КЕЕ-у [25]. (б)

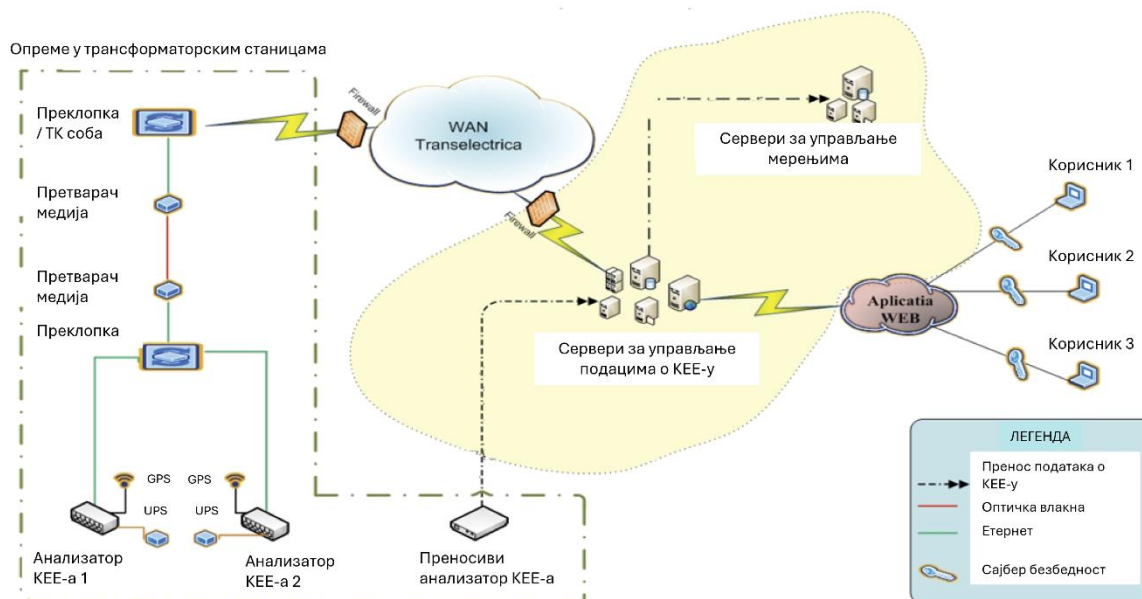
Приказ савременог уређаја за мерење КЕЕ-а „Б“, са могућношћу мерења активне електричне енергије са класом тачности 0,1S [26].

4 РАЗВОЈ СИСТЕМА ЗА ПРАЋЕЊЕ КЕЕ-а У РУМУНСКОМ ОПС-у TRANSELECTRICA

Део румунског ОПС-а – одсек за мерење „ОМЕРА“ (рум. Operatorul de Masurare a Energiei pe Piața Anglo – Оператор за мерење енергије на велетржишту) почео је са надгледањем КЕЕ-а са преносивим уређајима (2003. и 2008. године) [27]. Почев од 2006. године, ОМЕРА је започела процес сталног праћења КЕЕ-а, са два пилот (пробна) система са стационарним анализаторима у 23 тачке надзирања за сучеље ОПС–ОДС (оператор дистрибутивног система) и сучеље са тада највећим индустријским потрошачима електричне енергије у земљи. Подаци снимљени од стране анализатора КЕЕ-а пилот система локално су читани са laptop-а или даљински читани преко серијских модемских међусклопова са сервера који су се налазили у ОМЕРА Сибиу. Анализатори КЕЕ-а нису имали GPS пријемник за временску синхронизацију.

Да би се испунили захтеви прописа „Електрична мрежа за пренос електричне енергије – Стандард за радне особине“ и да би се испунили захтеви 2. издања IEC стандарда 61000-4-30 и првог издања EN стандарда 50160, постало је неопходно да се изгради систем за надзирање КЕЕ-а, са хардвером и софтвером нове генерације, који омогућава интеграцију анализатора КЕЕ-а више произвођача и са могућношћу проширења. Сврха система била је стално праћење параметара КЕЕ-а, online пренос података коришћењем комуникације оптичким влакнима за достављање података до централне тачке, управљање подацима и складиштење података на наменској опреми, као и пружање могућности извештавања о подацима путем web-претраживача за кориснике система. Систем за надзирање КЕЕ-а на слици 5 интегрисао је више типова (фиксних и преносивих) анализатора КЕЕ-а класе А (према IEC-у 61000-4-30), од различитих произвођача. Стари анализатори КЕЕ-а замењени су анализаторима нове генерације, сертификованим класе А. Да би се испунили захтеви стандарда IEC 61000-4-30, они су синхронизовани са индустријским GPS пријемницима којима се обезбеђује несигурност мерења времена од ± 20 ms.

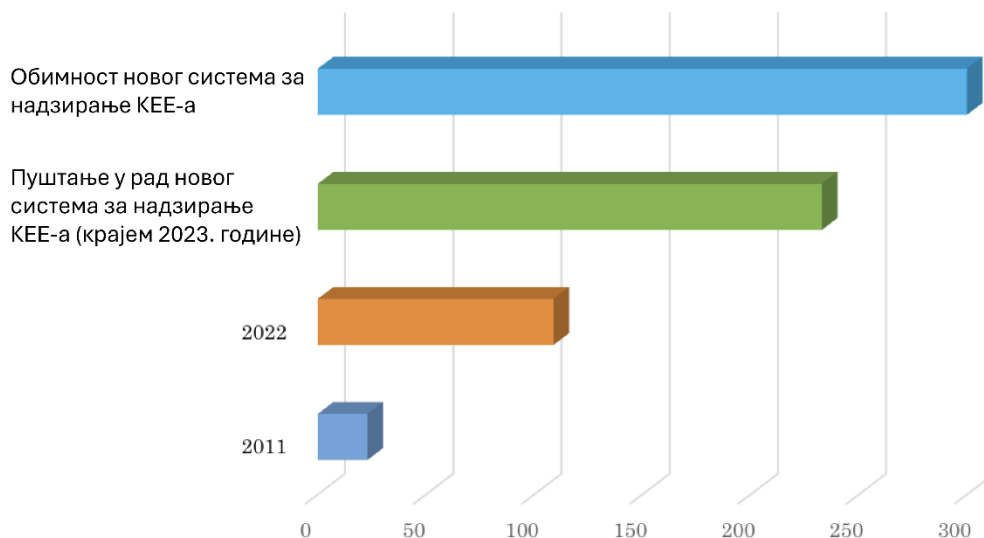
У централној тачки, систем је имао сервере и чворна складишта инсталирана у два потпуно редувантна сталка опремљена UPS-евима (енгл. uninterruptible power supply), како би се обезбедио непрекидни рад. На хардверским серверима покретани су виртуелни сервери намењени за сваки тип анализатора КЕЕ-а и управљање системом. Комуникацијом преко оптичких влакана омогућаван је аутоматски пренос параметара КЕЕ-а и других електричних параметара са анализатора КЕЕ-а на сервере, уз добру брзину, за велику количину података. ОМЕРА је 2011. године издала прво издање Интерног техничког правилника, са поглављем посвећеним фиксним анализаторима КЕЕ-а и њиховој пратећој опреми, и започела набавку нових анализатора за проширење система за надзирање КЕЕ-а. У 2012. години у систем је интегрисано 15 нових анализатора КЕЕ-а. ANRE (рум. Autorităţii Naţionale de Reglementare în domeniul Energiei – Румунски енергетски регулаторни орган) је 2016. године издао нову верзију прописа „Електрична мрежа за пренос електричне енергије – Стандард за радне особине“. Ова ревизија укључивала је нове показатеље радних особина за параметар КЕЕ-а – фликер (треперење) и то показатељ краткотрајног треперења 0,8 за најмање 95 % недеље, за 110 kV-ну и високонапонску (ВН) мрежу, и показатељ дуготрајног треперења 0,6 за најмање 95 % недеље, за 110 kV-ну и ВН мрежу.



Слика 5: Прва архитектура система за надзирање КЕЕ-а у ОПС-у Transselectrica из Румуније [27].

Како је време пролазило, систем се ширио захваљујући интеграцији нових анализатора КЕЕ-а. Они су били монтирани током реновирања или осавремењивања електрана ОПС-а, као и због уклапања електрана на обновљиве изворе енергије у национални ЕЕС. Компанија је 2021. године купила четири преносива анализатора КЕЕ-а, а ОМЕРА је обезбедила привремене програме за праћење КЕЕ-а за потребе ОПС-а. Такође, како је време одмицало, стари систем за надзирање КЕЕ-а бивао је застарео због брзог развоја технике (хардвера и софтвера). Узимајући ово у обзир, одржавање компоненти старог система постајало је све теже. С обзиром на то да се будућност гради у садашњости, Компанија је започела процедуре неопходне за куповину новог система за надзирање КЕЕ-а. Овом одлуком је узето у обзир старење хардверске опреме, престанак трајања подршке за инсталиране софтверске апликације, као и брз развој технологије у области информационих технологија и надзирања КЕЕ-а. Циљ Компаније био је надзирање КЕЕ-а у свим ЕЕ постројењима, којих има 81-но у ОПС-у Transselectrica, и на свим интерконективним водовима са суседним ЕЕС-има.

У 2022. години само се у 46,78 % тачака од значаја за Компанију надзирао КЕЕ са 109 анализатора. У процесу пуштања у рад, крајем 2023. године, било је 233 нових анализатора КЕЕ-а [27]. Током монтаже новог система за надзирање КЕЕ-а, застарели анализатори КЕЕ-а били су замењени новим, опремљеним GPS пријемницима за временску синхронизацију (± 20 ms) према актуелном издању стандарда IEC 61000-4-30. Анализатори који нису испуњавали услове за крај века трајања били су интегрисани у нови систем. У тренутку пуштања у рад, сви анализатори су испуњавали тада актуелне захтеве прописа о КЕЕ-у. Нови систем за надзирање КЕЕ-а омогућава уклапање до 300 анализатора, а такође обједињује старе системске базе података. Изградњом новог система за надзирање КЕЕ-а, Transselectrica је повећала број тачака за надзирање и добила преглед КЕЕ-а у свим трансформаторским станицама и на свим интерконективним водовима са суседним ЕЕС-има. Развој надзирања КЕЕ-а током времена у ОПС-у Transselectrica представљен је на слици 6.



Слика 6: Развој надзирања КЕЕ-а у ОПС-у Transelectrica из Румуније [27].

Нови систем омогућио је румунском ОПС-у да контролише квалитет криве напона у сопственој електричној мрежи и да извештава ANRE о показатељима КЕЕ-а. Такође, помоћу електричних параметара забележених од стране анализатора КЕЕ-а обезбеђени су улазни подаци за потребе интерне техничке анализе коју захтева Компанија. Све наведено обезбеђује поверљивост, целовитост и доступност измерених података и у складу је са законима о сајбер безбедности. Развој надзирања КЕЕ-а ОПС-а Transelectrica представља важан напредак с обзиром на посебне особине румунског ЕЕС-а последњих година, као што су већа интерконекција, већи удео електричне енергије произведене из обновљивих извора енергије (ветроелектрана и фотонапонских електроана), као и широко распрострањено увођење енергетске електронике. Све наведено је довело до веће важности надзирања КЕЕ-а, јер су ефикасности свих делатности у којима се користи електрична енергија (као што су индустрија, услуге и сектор домаћинстава) зависне од њеног квалитета [27].

5 ЗАКЉУЧАК

Монтирање уређаја за надзирање КЕЕ-а повезано је са високим улагањима и радним трошковима. У идеалном случају, уређаји за надзирање КЕЕ-а требало би да буду уграђени на сваку сабирницу. Међутим, потпуна покривеност овим уређајима тешко се спроводи пошто се појављује основни економски проблем: неслагласност између оскудице средстава и неограничених потреба. Дакле, треба одредити стратегију одабира чворова преносне мреже за уградњу мерила КЕЕ-а у циљу постизања најбољег могућег надзирања КЕЕ-а са ограниченим ресурсима.

У погледу мерења КЕЕ-а, у овом раду дате су могућности пет типова паметних бројила електричне енергије „А“, „Б“, „В“, „Г“ и „Д“, од два позната светска произвођача, која су у власништву ОПС-а ЕМС АД и служе за обрачун или контролу обрачуна електричне енергије у ЕЕ постројењима. Посебно треба поменути бројила „Г“ и „Д“ са унапређеним мерењем КЕЕ-а, којима могу да се мере и фликери, а која (49 бројила „Г“ и 24 бројила „Д“) треба да буду расположива за монтирање током 2025. године на мерним местима у ЕЕ постројењима која покрива ОПС ЕМС АД.

При томе, бројила „Д“ треба да буду монтирана управо у критичним тачкама за мерење КЕЕ-а, а то су места међудржавне размене електричне енергије.

Такође, дате су особине много скупљег фиксног уређаја за мерење КЕЕ-а „Ђ“ у власништву ЕМС АД-а од светски познатог произвођача, чији је број порастао за 146 нових уређаја у последње две године, са могућношћу слања података у национални диспечерски центар преко система предвиђеног за прикључење више од 200 мерних уређаја. Наведена су искуства у развоју система за надзирање КЕЕ-а у ОПС-у Transelectrica у Румунији ради поређења са системом за надзор КЕЕ-а у ОПС-у ЕМС АД у Србији.

Закључује се следеће:

- Пошто уградња скупих фиксних уређаја за мерење КЕЕ-а „Ђ“ на свим мерним местима није економична, неопходан је развој метода за избор оптималног броја уређаја и надзираних мерних места да би се број оваквих уређаја свео на најмању могућу меру без пропуштања било каквог битног обавештења, нпр. о пропаду напона. Употреба фиксних скупих мерила КЕЕ-а „Ђ“ може да се оправда, нпр. мерењем фликера напона на мерним местима где је њихова појава веома изражена, нпр. код железара са електролучним пећима, али само у случају да тамо није монтирано бројило „Г“ или „Д“ са напредном анализом КЕЕ-а.
- Нуде се на тржишту и други анализатори КЕЕ-а сличне цене (са екраном) који имају напреднију анализу (појединих, парних, непарних и укупних) хармоника струја и напона (до 511. хармоника) и већу унутрашњу меморију (16 GB) од уређаја за мерење КЕЕ-а „Ђ“ [28]. Такође су опремљени GPS синхронизацијом и могућностима мерења: фликера напона, (краткотрајног и дуготрајног) прекида напајања, међухармоника, пропада напона и надвишења напона, транзијентних пренапона трајања преко $19,5 \mu s$, нулте, позитивних и негативних компоненти асиметрија напона и струја, као и прорачуна: вршних фактора, К-фактора и TDD-а. Мере и електричну енергију са тачношћу $\pm 0,2 \%$, али то није од пресудног значаја, јер не би служили за обрачун или контролу обрачуна електричне енергије.
- У ЕЕ постројењима такође могу да се користе и преносиви анализатори КЕЕ-а са GPS синхронизацијом [29]. Привременим монтирањем овог преносивог анализатора КЕЕ-а на неком мерном месту, по потреби могу да се провере и одређено време прате параметри КЕЕ-а у било ком ЕЕ постројењу (трансформаторској станици или разводном постројењу) (нпр. пропади напона, надвишења напона, (краткотрајни и дуготрајни) прекиди напајања, асиметрије напона и струја, фликери напона, хармонијска изобличења струја и напона (појединачни, парни, непарни и укупни THD-ови) (до 511. хармоника), међухармоници и транзијентни пренапони трајања преко $19,5 \mu s$). Имају и прорачун вршних фактора, К-фактора и TDD-а и унутрашњу меморију од чак 32 GB.
- Узевши у обзир процентуална учешћа догађаја који угрожавају КЕЕ из потпоглавља 1.2, у погледима: 1) укупних финансијских губитака (према примеру 1), 2) поремећаја КЕЕ-а (према примеру 2) и 3) узрока лошег КЕЕ-а (према примеру 3) [9–11], и под претпоставком да фликери представљају 50 % категорије осталих поремећаја према примерима 1 и 2 из потпоглавља 1.2, може се рећи да:

- Паметно бројило „А“ (из потпоглавља 2.1) и паметна бројила „Б“ и „В“ (из потпоглавља 2.2 и 2.3) покривају најмање око [61–66,5] %, око [65–69] % и 90 % свих случајева КЕЕ-а, респективно;
- Паметна бројила „Г“ (из потпоглавља 2.4) и „Д“ (из потпоглавља 2.5) покривају 72 %, односно 73 % и 95% свих случајева КЕЕ-а, респективно, укључујући краткотрајне и дуготрајне фликере.
- Уређаји за мерење КЕЕ-а „Б“ из поглавља 3, у односу на паметна бројила „А“, „Б“ и „В“, могу да бележе величину и трајање транзијентних пренапона преко 20 μ s и фликере, а у односу на паметна бројила „Г“ и „Д“ могу да бележе величину и трајање транзијентних пренапона преко 20 μ s. Међутим, уређајима за мерење КЕЕ-а „Б“ не могу да се бележе осцилаторни прелазни процеси високе учестаности и средње учестаности, као ни импулсни прелазни процеси: високе учестаности (нпр. удари грома) и средње учестаности у интервалу од 50 ns до 20 μ s.

С друге стране, у ЕЕ постројењима постоје пренапонске заштите које се примењују на свим изводима, а врше се одводницима пренапона који се монтирају што ближе трансформатору. На изолаторима далековода, пренапонска заштита се изводи помоћу варничара у облику рогова или прстенова. И у постројењу се користе варничари, с тим што се за заштиту енергетских трансформатора првенствено користе одводници пренапона. Одводницима пренапона ограничавају се велики атмосферски и склопни пренапони. Пренапонским зашитама смањује се значај, односно сврсисходност мерења амплитуда и трајања транзијентних пренапона у ограниченом опсегу са скупим мерилима КЕЕ-а „Б“ у ОПС-у ЕМС АД.

- Критичну инфраструктуру од националног и европског значаја у националној ЕЕ мрежи чине ЕЕ постројења и далеководи 400 kV и 220 kV, без којих економија и национално благостање не би могли да буду одрживи [30]. У овом раду су описана искуства ОПС-а Transelectrica из Румуније [27], која ће даље да буду образложена. Прво треба истаћи да при куповини додатне најсавременије опреме за мерење КЕЕ-а за потребе неког ОПС-а, поред постојеће већ уграђене опреме, треба имати у виду:

- 1) Број ЕЕ постројења којима располаже ОПС;
- 2) Финансијске могућности са којима једна држава располаже.

1. Што се тиче броја ЕЕ постројења, у власништву ОПС-а ЕМС АД у Србији постоје 43 постројења за највише напоне: 400 kV (20 постројења), 220 kV (14 постројења) и 110 kV (9 постројења) са 75 трансформатора [31]. С друге стране, у ОПС-у Transelectrica у Румунији постоји 81-но ЕЕ постројење за највише напоне: 750 kV (1 постројење), 400 kV (38 постројења) и 220 kV (42 постројења) са 216 трансформатора [32]. То значи да у румунском ОПС-у има 1,88 пута више ЕЕ постројења, и то 1,95 пута више њих за највиши напон 400 kV и 750 kV, 3 пута више њих за највиши напон 220 kV и нема 9 постројења на 110 kV као у ОПС-у ЕМС АД, али има 2,88 пута више трансформатора.

2. Што се тиче финансијских могућности са којима једна држава располаже, у Румунији се, према процењеним подацима за 2025. годину, очекује бруто домаћи производ (БДП) по глави становника 160 % већи него у Србији, док је у 2023. години био 150 % већи [33–34].

У раду је описано да је број анализатора КЕЕ-а у румунском ОПС-у у последње две године, са 109 у 2022. години, повећан према слици 6 на око 275, уградњом нових 233 анализатора КЕЕ-а и заменом технолошки застарелих уређаја. С друге стране, у српском ОПС-у је у последње две године број мерила КЕЕ-а нагло повећан за 146 нових уређаја. 1,6 пута је било више монтирано посебних мерила КЕЕ-а у румунском ОПС-у него у српском ОПС-у, при чему румунски ОПС Transelectrica има 1,88 пута више ЕЕ постројења и 2,88 пута више трансформатора него српски ОПС ЕМС АД.

Судећи према броју ЕЕ постројења, румунски ОПС би требало да има 1,88 пута више анализатора КЕЕ-а, па тако, ако румунски ОПС има 275 анализатора КЕЕ-а (са планом до 300 анализатора), српски ОПС би требало да има 146 анализатора (са планом до 160 анализатора КЕЕ-а или преко 20 % мање од планираног броја преко 200 анализатора). Када би се узео у обзир и БДП по глави становника, који је 1,5–1,6 пута већи у Румунији, број фиксних уређаја за мерење КЕЕ-а у ОПС-у ЕМС АД у Србији могао би да буде до 92–98 (са планом до 100–107 мерила КЕЕ-а или преко 87–100 % мање од планираног броја од преко 200 мерила КЕЕ-а у ОПС-у ЕМС АД). Ако се узме у обзир 2,88 пута већи број трансформатора и много већа ЕЕ постројења у румунском ОПС-у Transelectrica (једно највишег напона од 750 kV, 1,9 пута више њих највишег напона 400 kV и 3 пута више њих највишег напона 220 kV), број ових фиксних уређаја за мерење КЕЕ-а у ОПС-у ЕМС АД могао би да буде још мањи.

Дакле, сразмерно броју ЕЕ постројења и из економских разлога, ради смањења трошкова куповине и одржавања посебних скупих уређаја за мерење КЕЕ-а „Ђ“, а опет уз разумно и довољно поуздано откривање места са лошим КЕЕ-ом, у српском ОПС-у ЕМС АД запослени би требали што је могуће више:

1. да се ослањају на мерења КЕЕ-а са других уређаја као што су многобројна монтирана обрачунска и контролна паметна бројила „А“, „Б“ и „В“, а посебно ускоро монтирана бројила „Г“ и „Д“ са унапређеним мерењима КЕЕ-а (чији се подаци тренутно читавају аутоматски сваког дана у години преко система SRAAMD у ЕМС АД-у) (видети поглавље 2);
2. да постављају посебне скупе фиксне уређаје за мерење КЕЕ-а „Ђ“ само на стварно критичним местима у ЕЕ мрежи, према пажљиво припремљеном плану и процени;
3. да се користе искуствима других већих ОПС-ева као што је Transelectrica из Румуније и да сразмерно томе користе разуман број посебних фиксних уређаја за мерење КЕЕ-а;
4. да по потреби врше мерења КЕЕ-а помоћу преносивих анализатора КЕЕ-а [29];
5. да омогуће да се подаци са свих уређаја који могу да дају податке о КЕЕ прикупљају и анализирају у обједињеном систему за надзирање параметара КЕЕ-а.

6 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Годишњи технички извештај Акционарског друштва „Електромрежа Србије“, <https://ems.rs/wp-content/uploads/2024/05/GTI-EMS-AD-za-2023.pdf>, 2023.
- [2] Schneider Electric, PowerLogic ION9000. <https://www.se.com/rs/sr/product-range/64241-ion9000/#products>.
- [3] Itron ACE SL7000 Energy Meter. <https://www.ebay.com>.
- [4] LANDIS + GYR (SIEMENS) Converter Counter ZMQ202C .8R4AF6-1/2 with Measurement Protocol. <https://www.ebay.com/itm/113817320474>.
- [5] LANDIS+GYR E650 Transducer Meter for Effect and Blind Energy ZMD405CT44.0457 S3, <https://www.ebay.com>.
- [6] Портал јавних набавки: <https://jnportal.ujn.gov.rs/tender-eo/199580> ; <https://jnportal.ujn.gov.rs/tender-eo/131546>.
- [7] V. Katić, A. Tokić, T. Konjić, „Kvalitet električne energije“, Novi Sad, Jun, 2007.
- [8] Ž. S. Janda, „Pregled standarda i preporuka za kontrolu viših harmonika u električnim mrežama“, Zbornik radova, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, 2004.
- [9] Electrical engineering design and tutorial resources; Financial impact of poor power quality to the customers, <https://electricalengineeringdesigns.blogspot.com/2012/02/financial-impact-of-poor-power-quality.html>.
- [10] M. M. Mahmoud, B. S. Atia, Y. M. Esmail, S. A. El M. Ardjoun, N. Anwer, A. I. Omar, F. Alsaif, S. Alsulamy, S. A. Mohamed, "Application of Whale Optimization Algorithm Based FOPI Controllers for STATCOM and UPQC to Mitigate Harmonics and Voltage Instability in Modern Distribution Power Grids," Axioms 2023, 12(5), 420, 2023.
- [11] E660: High-precision industrial Grid Edge Sensor, LandisGyrOfficial, <https://www.youtube.com/watch?v=YiT6Hf3MAa4>.
- [12] A. Kazemi, A. Mohamed, H. Shareef, H. Zayandehroodi, "A Review of Power Quality Monitor Placement Methods in Transmission and Distribution Systems", Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 3a/2013.
- [13] N. Hasanspahić, D. Aganović, A. Bosović, E. Bećirović, S. Avdaković, M. Musić, „Mogućnosti monitoringa kvaliteta električne energije na odabranom dijelu elektrodistributivne mreže“, 11. Savjetovanje bosanskohercegovačkog komiteta, NEUM, 15.–19.09.2013.
- [14] PowerLogic™ P7 Protection and Control Platform, User Manual, Schneider Electric Industries SAS, April 2024.

- [15] Easergy P3G30 and P3G32 – Generator protection with machine differential protection, User Manual, P3G/en M/J006, Schneider Electric, 11/2022.
- [16] Правила о раду преносног система, 2023, <https://ems.rs/wp-content/uploads/2023/11/Pravila-o-radu-prenosnog-sistema-07.11.2023-1.pdf>.
- [17] SL7000 IEC7 User Guide, Itron S.A.S, France, 2010.
- [18] ACE VISION, From Automatic Meter Reading To Network and Individual Management, User Guide version 7.5.1, Itron, 2016.
- [19] E650 Series 4 – ZMD400AT/CT, ZFD400AT/CT – User Manual, Landis+Gyr, Switzerland, Date: 11.09.2017.
- [20] Landis+Gyr E650 Brochure, Electricity Meters Industrial & Commercial, 04-2018.
- [21] ZMQ200, ZFQ200, ZCQ200 – User Manual, Landis+Gyr, Switzerland, Date: 10.04.2014.
- [22] Landis+Gyr E850 Brochure, Electricity Meters Grid metering, 09-2017.
- [23] E660 Series 2, User manual, Landis+Gyr, 6.2.2024.
- [24] E860 Series 1, User manual, Landis+Gyr, 23.11.2022.
- [25] Landis+Gyr AIM, Product Description, 15.1, Gridstream Solution, Landis+Gyr AG, Switzerland. Date: 08.10.2021.
- [26] PowerLogic™ ION9000 series, User manual, 7EN02-0390-04, Schneider Electric, France, 11/2020.
- [27] C. Diaconu, "Power Quality System within Romanian TSO", 4th SEERC CIGRE, Türkiye, 2023.
- [28] Elspec G4430, Power Quality Analyzer. <https://www.elspec-ltd.com/elspec-shop/power-quality-analyzer/permanently-installed-power-quality-analyzers/g4430-fixed-blackbox-power-quality-analyzer/>.
- [29] Power quality analyzer Elspec BlackBox G4500. <https://www.elspec-ltd.com/elspec-shop/power-quality-analyzer/portable-power-quality-analyzer/g4500-portable-power-quality-analyzer/>.
- [30] D. N. Fîţăl, D. C. Petrilean, I. L. Diodiu, "Analysis of the National Power Grid from Romania in the context of identifying vulnerabilities and ensuring energy security", 22nd International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'24), Bilbao (Spain), 2024.
- [31] Електромрежа Србије – EMC АД, Пренос, <https://ems.rs/opis-i-kapaciteti/>.

- [32] Transelectrica, The Power Transmission Grid,
https://www.transelectrica.ro/en/web/tel/home/-/journal_content/56/10179/25087?p_p_auth=ddLkXe8Y.
- [33] Economy of Romania, https://en.wikipedia.org/wiki/Economy_of_Romania.
- [34] Economy of Serbia, https://en.wikipedia.org/wiki/Economy_of_Serbia.