doi: 10.46793/EEE26-3.70D

Stručni rad
UDK 621.317.785:006.91

Unapređenje tačnosti provere registara električne energije pametnih brojila korišćenjem novog postupka

Đorđe Dukanac
Akcionarsko društvo „Elektromreža Srbije“ Beograd, Kneza Miloša 11, 11000 Beograd, Srbija

Rezime **-** U ovom radu predlaže se novi, metrološki pouzdaniji postupak za proveru registara električne energije (EE) pametnih brojila različitih klasa tačnosti u postupku overavanja brojila, u odnosu na one koji su propisani odgovarajućim važećim domaćim pravilnicima, međunarodnom preporukom OIML-a i SRPS IEC standardom. Podnosilac zahteva za overavanje brojila često postavlja kratke rokove za završetak overe i traži što nižu cenu overe, ne ulazeći u pouzdanost primenjenih metoda overe. U domaćim pravilnicima uvedene su čak četiri različite definicije za proveru registara aktivne EE klasa tačnosti A, B, C, 2, 1, 0,5S i 0,2S, uključujući i one reaktivne EE klasa tačnosti 2 i 3. Na primer, u domaćem Pravilniku o brojilima aktivne električne energije klase tačnosti 0,2S od 23.12.2016. godine propisano je poređenje zadate energije i energije očitane na registru brojila, uz kriterijum da relativna razlika bude manja od 1/10 NDG (najveće dozvoljene greške) brojila. Međutim, u kontrolnom telu „Elektromreža Srbije“, radi dobijanja rezultata u širem opsegu tolerancije, kao kriterijum se uzima NDG, a najmanje vreme ispitivanja se uzima prema istoj formuli iz Pravilnika. Tako se dobija jedna gruba, slabo pouzdana metoda čije je korišćenje prećutno podržano od strane nadzornog organa, tj. Direkcije za mere i dragocene metale. Novi postupak se zasniva na sinhronom merenju srednje slučajne greške i njenom posrednom uklanjanju iz ukupne greške registra, uz korišćenje strogog kriterijuma 1/10 NDG za relativnu grešku.

Ključne reči - ispitni (impulsni) izlaz, kontrolno telo, provera registra, najveća dozvoljena greška, pametno brojilo.

I UVOD

Zakonska metrologija je oblast metrologije koju država uređuje zakonskim putem zbog njenog širokog značaja i predstavlja osnov za poverenje građana u ispravne rezultate merenja u zvaničnim trgovinskim transakcijama.

Zakonska kontrola brojila električne energije (EE) obuhvata sledeće aktivnosti: ocenjivanje usaglašenosti brojila sa propisanim zahtevima (koje obavlja imenovano ili ovlašćeno kontrolno telo (KT)), ispitivanje i odobrenje tipa (sertifikaciju) brojila, zatim prvo, periodično i vanredno overavanje (koje obavlja ovlašćeno KT), metrološki nadzor (nad ovlašćenim KT-om) i sl. [1].

Ocenjivanje usaglašenosti (pregled, kontrolisanje) brojila EE je svaka aktivnost kojom se utvrđuje da li je pojedinačno merilo, partija merila ili proizvedena serija merila usaglašena sa svim propisanim zahtevima koji se primenjuju na taj tip merila.

I-1 Obaveze ovlašćenog KT-a za overavanje brojila EE u Republici Srbiji

Direkcija za mere i dragocene metale (DMDM) je organ uprave zadužen za poslove metrologije u okviru Ministarstva privrede, čiji je zadatak, između ostalog, da ovlašćuje (na tri godine) pravna lica (akreditovana KT-a) za poslove overavanja brojila (tj. za kontrolisanje i žigosanje brojila iz obima akreditacije), zatim da vrši metrološki nadzor bar jednom godišnje (koji obuhvata i proveru da li je usaglašenost merila sa propisanim zahtevima ocenjena prema propisanom postupku), da nadzire rad ovlašćenih KT-a, da priprema strategiju i propise iz oblasti metrologije itd. [2]. Tehnički propis u pripremi dostavlja se Ministarstvu privrede radi objavljivanja u skladu sa pravilima potvrđenih međunarodnih sporazuma čiji je potpisnik Republika Srbija [3].

Akreditaciono telo Srbije (ATS) izdaje KT-u za kontrolisanje brojila, posle utvrđivanja njegove kompetentnosti, uključujući i metode kontrolisanja, četvorogodišnji sertifikat da ispunjava zahteve za ocenjivanje usaglašenosti EE brojila prema propisima, u zadatom obimu akreditacije (koji obuhvata klase tačnosti i vrste overavanja brojila). U međuvremenu, ATS svake godine obavlja nadzorna ocenjivanja KT-a, koja podrazumevaju i proveru čitavog postupka ocenjivanja usaglašenosti brojila sa propisima u KT-u pred tehničkim ekspertom koji može biti i iz DMDM-a.

Overavanje brojila EE vrši ovlašćeno KT ili DMDM nakon sprovedenog postupka pregleda brojila, čime se potvrđuje da je merilo u skladu sa odobrenim tipom merila, odnosno da ispunjava propisane metrološke zahteve. Ono ima za rezultat označavanje (žigosanje) merila, odnosno izdavanje uverenja o overavanju merila [2].

Važeći međunarodni dokumenti na koje bi domaći pravilnici trebalo da se oslanjaju u pogledu overavanja brojila EE, pa tako i provere registara EE brojila (iz odeljka *I-2*), sledeći su:

- Međunarodna preporuka OIML R 46-1/-2 (2012) za brojila aktivne EE (klase tačnosti A, B, C i D), izdata od strane Međunarodne organizacije za zakonsku metrologiju, čija je Srbija članica. U njoj piše: „Države članice OIML-a treba da sprovode ove preporuke u najvećoj mogućoj meri.“ [4]
- Međunarodni i srpski standard SRPS EN IEC 62052-11:2022 „Oprema za merenje električne energije – Opšti zahtevi, ispitivanja i uslovi ispitivanja – Deo 11: Merna oprema“, koji se odnosi na brojila svih klasa tačnosti za aktivnu i reaktivnu EE [5].

Važeći domaći pravilnici kojima se propisuju zahtevi u pogledu overe brojila, pa tako i provere registara EE brojila, sledeći su:

- Pravilnik o brojilima aktivne električne energije klase tačnosti 0,2S, „Službeni glasnik RS“, br. 104/2016 [6];
- Pravilnik o overavanju brojila aktivne električne energije klase tačnosti A, B, C, 2, 1 i 0,5S, „Službeni glasnik RS“, br. 14/2024 [7];
- Pravilnik o brojilima reaktivne električne energije klase tačnosti 2 i 3, „Službeni glasnik RS“, br. 118/2013 i 86/2014 [8].

Standardizacija je centralni element sistema za dokazivanje usaglašenosti proizvoda [1]. Tehnički zahtevi propisuju se tehničkim propisom neposredno, navođenjem tih zahteva u tekstu propisa, ili posredno, pozivanjem na objavljeni srpski standard ili drugu tehničku specifikaciju (član 6. Zakona o tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanju usaglašenosti [3]).

Glavna razlika između brojila klasa tačnosti A, B i C i, respektivno, brojila klasa tačnosti 2, 1 i 0,5S, jeste u tehničkom standardu korišćenom za sertifikaciju klase brojila EE:

- klase tačnosti A, B i C sertifikovane su Direktivom o mernim instrumentima (MID), evropskim i srpskim standardom SRPS EN 50470-3 [9];
- klase tačnosti 2, 1 i 0,5S sertifikovane su od strane Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC), standardima SRPS EN IEC 62053-21 i SRPS EN IEC 62053-22 [10,11].

I-2 Značaj provere registara EE brojila i sadržaj rada

Prema Pravilima o radu prenosnog sistema (iz 2023. god.) navodi se: „8.4.7. Prikupljeni podaci o predatoj, odnosno preuzetoj električnoj energiji za obračunski period iz registara energije brojila i podaci o 15-minutnim dijagramima opterećenja predate, odnosno preuzete električne energije su osnovni obračunski merni podaci.“ [12]. Zato se autor ovog rada već pet godina bavi značajnom temom provere i podešavanja registara EE brojila.

Provera registra EE brojila je, prema domaćim pravilnicima [6-8], jedno od obaveznih merenja pri prvom, periodičnom i vanrednom overavanju brojila EE. Da bi se niz brojila kontrolisao zajedno, potrebno je da brojila budu iste vrste, sa istim naznačenim vrednostima napona, struje (I_n) i najveće struje (I_m), istom klasom tačnosti i vrstom sprege. Podnosilac zahteva za overavanje brojila često istovremeno podnosi veliki broj brojila na overu, koja pri tome mogu biti i različitih naznačenih osobina (npr. za naznačene struje 1 A i 5 A). Čak i brojila EE koja zadovoljavaju uslove za ispitivanje u istom nizu često moraju biti podeljena u nekoliko nizova, jer kapacitet neke slobodne ispitne stanice može biti nedovoljan da se ispitaju istovremeno.

O najboljim načinima podešavanja registara EE brojila, uzimajući u obzir razna gledišta, pisano je u literaturi [13-18]. Posebno je istaknuto koji su nedostaci sekundarnog podešavanja brojila s rezolucijom na tri decimalna mesta, koje su bolje mogućnosti i zašto su one bolje. U [17] dati su primeri odbijanja brojila EE sa overavanja zbog nedovoljne zaštite zakonski relevantnog softvera koja je predviđena uverenjem o odobrenju tipa brojila.

U ovom radu predlaže se nova metoda za proveru registra EE brojila. Predložena metoda je nova jer kao takva do sada nije neposredno prepoznata u odgovarajućim domaćim pravilnicima, međunarodnoj preporuci OIML-a i SRPS IEC standardu [4,5]. Od presudnog značaja u novoj metodi, da bi sama provera registra EE imala smisla, jesu metrološka pouzdanost, tačnost i preciznost merenja neto (čiste) greške registra. Pritom, cilj je da se ne dozvoli da ona ostane zamaskirana često mnogo većom slučajnom greškom brojila, uz primenu znatno oštrijeg kriterijuma. Teži se i tome da se, što je moguće više, skrati vreme provere registra EE.

Drugo poglavlje ovog rada odnosi se na analizu definicija provere registra EE brojila, prema važećim domaćim pravilnicima za pametna statička (elektronska) brojila [6-8], uz raspravu o različitim propisanim načinima relativnog poređenja, kriterijumima i najmanjem potrebnom vremenu provere registra EE za različite klase brojila i vrstu EE (aktivnu ili reaktivnu). U tom pogledu, komentarisan je način relativnog poređenja, kriterijum i najmanje potrebno vreme provere registra EE brojila koji se koriste u ovlašćenom KT-u „Elektromreža Srbije AD“ (KT EMS AD) za overavanje brojila EE.

U trećem poglavlju biće izvršeno poređenje definicija važećih domaćih pravilnika za proveru registra EE brojila različitih klasa tačnosti [6-8] sa važećom međunarodnom preporukom OIML-a i SRPS IEC standardom [4,5]. Biće objašnjeno da su, prema njima, provera registra EE i provera konstante brojila relat. poređenja sa istim članovima u razlici u brojiocu, ali sa različitim imeniocima.

U četvrtom poglavlju biće dat predlog, objašnjen primerom, za uvođenje u primenu nove metode za proveru registra EE, dobijene kombinovanjem postojećih metoda i kriterijuma iz pomenute važeće međunarodne preporuke OIML-a i SRPS IEC standarda [4,5]. Pri tome se u novom postupku primenjuje strogi kriterijum od 1/10 najveće dozvoljene greške (NDG) brojila, kao što je to zadato u odgovarajućoj međunarodnoj preporuci OIML-a [4], srpskom i međunarodnom SRPS IEC standardu za sve klase tačnosti brojila [5] i domaćim pravilnicima za određene klase tačnosti brojila (0,2S, A, B i C aktivne EE i 2 i 3 reaktivne EE) [6-8]. Ovim postupkom garantuje se pouzdanost dobijenog rezultata, tj. neto greške registra, pri relativnom poređenju vrednosti EE iz datog registra brojila i EE sa ispitnog izlaza brojila, uz optimalno određivanje najmanjeg potrebnog vremena za proveru registra.

U petom poglavlju iznet je zaključak u kome je izložena svrha pisanja ovog rada, sa glavnim ishodima ovog istraživanja.

II ZAHTEVI IZ MEĐUNARODNIH DOKUMENATA [4,5] I ČEŠKOG PRAVILNIKA U POGLEDU PROVERE REGISTRA EE BROJILA

Prvo treba istaći da se provera registra EE razmatra sa tri gledišta:

- način (referenca) relativnog poređenja EE registra brojila;
- kriterijum (merilo) za proveru registra EE brojila;
- najmanje potrebno vreme provere registra EE brojila.

Međunarodnom preporukom OIML R 46-1/-2 [4] utvrđuju se metrološki i tehnički zahtevi koji se primenjuju na brojila aktivne električne energije klasa tačnosti A, B, C (i D) koja podležu

zakonskim metrološkim kontrolama. U njoj je dat način relativnog poređenja EE iz registra brojila, kriterijum za proveru registra EE i najmanja potrebna energija koja se zahteva pri proveri registra EE. Definicija glasi: „Energija koja prolazi kroz brojilo izračunava se korišćenjem broja impulsa sa izlaza za ispitivanje; određuje se relativna razlika između ove energije i registrovane energije. Ova relativna razlika ne sme biti veća od jedne desetine osnovne maksimalno dozvoljene greške. Provera se izvodi pri jednoj proizvoljnoj struji $I \geq I_{tr}$.“. I_{tr} je prelazna struja pri kojoj i iznad koje je proizvođač naznačio da brojilo bude u okviru najmanje NDG koja odgovara klasi tačnosti brojila. Najmanja potrebna EE za proveru registra EE iz [4] data je kasnije u tekstu u jednačini (1) u odeljku *III-1*, a može neposredno da se dobije iz date definicije, uzimajući da je najmanja moguća razlika EE iz registra i sa ispitnog izlaza jednaka rezoluciji registra EE [16,17].

Ispitivanje konstanti brojila u postupku overavanja brojila u ovoj preporuci definisano je na isti način kao i provera registara EE brojila, uz kriterijum od 1/10 NDG brojila, samo sa različitim imeniocem u relativnom odnosu, jer u tom slučaju u imeniocu nije EE sa ispitnog izlaza brojila, već EE iz registra brojila.

Međunarodni i srpski standardi posebnih zahteva za opremu za merenje EE su:

- SRPS EN 50470-3:2022 za statička brojila naizmenične aktivne EE klasa tačnosti A, B i C [9];
- SRPS EN IEC 62053-21:2022 za statička brojila naizmenične aktivne EE klasa tačnosti 0,5, 1 i 2 [10];
- SRPS EN IEC 62053-22:2022 za statička brojila naizmenične aktivne EE klasa tačnosti 0,1S, 0,2S i 0,5S [11] i
- SRPS EN IEC 62053-23:2022 za statička brojila naizmenične reaktivne EE klasa tačnosti 2 i 3 [19].

Oni se svi pozivaju na međunarodni i srpski standard opštih zahteva za opremu za merenje EE SRPS EN IEC 62052-11:2022 [5]. U njemu se u članu 7, „Metrološki zahtevi i ispitivanje radnih osobina“, definiše ispitivanje konstante brojila na isti način kao u odgovarajućoj međunarodnoj preporuci OIML-a [4], samo bez eksplicitnog navođenja jednačine (1) iz odeljka *III-1*.

U trećem pasusu ovog odeljka opisano je da je ispitivanje konstanti brojila (tj. optičkog i električnog davača brojila) slično proveri registra EE [4], samo je pitanje koji se podatak o izmerenoj EE uzima kao referentni; ovde je to podatak EE iz registra, a pri proveri registra EE to je podatak EE sa ispitnog izlaza brojila. Ako se traži ispitivanje konstante brojila na ovaj način, u odnosu na zabeleženu EE u registru brojila, to znači da relativna razlika EE sa ispitnog izlaza brojila i EE iz registra brojila treba da zadovoljava upravo kriterijum da bude manja od 1/10 NDG (jer se slučajne greške brojila u EE dobijenoj sa ispitnog izlaza brojila i EE koja je zabeležena u registru brojila poništavaju u brojiocu pri proračunu relativne greške). Pri tome je zadato da se koristi jedan od uređaja za skeniranje impulsa (koji mogu da dolaze sa optičkog ispitnog izlaza ili elektronskog ispitnog izlaza brojila).

Kao praktičan primer poštovanja odgovarajuće međunarodne preporuke OIML-a i standarda [4,5], u Češkoj Republici, stalnoj članici Evropske unije i OIML-a, na isti način se definiše provera brojača u odgovarajućem češkom pravilniku, broj 0111-OOP-C022-24, za brojila aktivne EE klasa tačnosti A, B, C, 2, 1, 0,5, 0,5S i 0,2S i reaktivne energije klasa tačnosti 0,5S, 1S, 2 i 3 [20].

III ISTORIJA PROBLEMA NEPODESNOG NAČINA PROVERE REGISTRA EE U PRAKSI I NEDOSLEDNOSTI U DOMAĆIM PRAVILNICIMA

Biće razmatrana pre svega brojila EE za koja je KT EMS AD akreditovan i ovlašćen za overavanje, i to brojila aktivne EE klasa tačnosti 0,2S, 0,5S, 1, B i C i reaktivne EE klasa tačnosti 2 i 3.

Kao jedan od motiva za pisanje ovog odeljka, treba samo napomenuti da ni u poslednjem domaćem pravilniku, objavljenom u Službenom glasniku br. 14/2024 [7], za klase tačnosti brojila aktivne EE A, B, C, 2, 1 i 0,5S (videti odeljak *III-10*), nisu uvek izneta sva tri gledišta iz prvog pasusa *II* poglavlja u definicijama za proveru registra EE. Umesto da se u domaćim pravilnicima propisani postupci za proveru registra EE što više preciziraju, vidi se da tokom vremena oni postaju sve neodređeniji. Pitanje je ko ima koristi od ovako propisanih načina provere registara EE brojila, kada je poznato da poverenje proizvođača EE, korisnika brojila i potrošača EE u rezultate merenja raste samo ako je ono metrološki pouzdano, precizno i tačno.

III-1 Zahtevi domaćeg pravilnika i istorija provere registara aktivne EE brojila klase tačnosti 0,2S u KT-u EMS AD

U prvom pasusu odeljka 7, Priloga 3 „Overavanje brojila“, Pravilnika o brojilima aktivne električne energije klase tačnosti 0,2S od 23.12.2016. godine [6] (tri dana pre nego što je autor ovog rada počeo da radi u KT-u EMS AD i koji kasnije nikada nije rukovodio KT-om), piše: „Provera registra vrši se tako što se u brojilo dovede energija da bi se utvrdila jednakost impulsnog izlaza i registra energije.“ U drugom pasusu se navodi najmanja energija potrebna za proveru registra koja se izračunava prema obrascu (1), koji je isti kao u međunarodnoj preporuci OIML-a [4], tj.

$$E_{min} = \frac{1000 \cdot R}{b\ [\%]}\ [Wh] \qquad (1)$$

gde su: R – rezolucija registra energije izražena u [Wh]; b [%] – NDG izražena u [%]. Jednačina (1) se izvodi iz uslova da relativna razlika očitanih EE iz registra i sa ispitnog izlaza brojila bude manja od 1/10 NDG (videti literaturu [16,17]).

Međutim, kontradiktorno prvom pasusu, u trećem pasusu ovog Pravilnika [6] piše: „Razlika između zadate energije i očitane energije na registru ne može biti veća od jedne desetine dozvoljene greške pri nominalnim vrednostima.“ Takođe, piše i: „Ispitivanje se vrši na jednoj vrednosti struje $I \geq 0{,}05\ I_n$.“ Umesto EE sa nekog od ispitnih impulsnih izlaza brojila (optičkog ili električnog za daljinsko merenje), tj. izlazne EE brojila iz prvog pasusa ovog Pravilnika [6], u trećem pasusu pominje se ulazna (zadata) EE brojilu koja se meri preko etalona EE. EE očitana sa registra brojila sadrži, pored neto greške registra, i slučajnu grešku brojila (koju sadrži i EE skenirana sa ispitnog izlaza). S druge strane, vrednost merena etalonom ne sadrži slučajnu grešku brojila. Dakle, pošto se poredi relativna razlika EE iz registra, koja je zbir neto EE iz registra (koja se traži) i slučajne greške brojila, i ulazne energije koja se dovodi brojilu, a koja ne sadrži slučajnu grešku brojila, propisani kriterijum iz trećeg

pasusa Pravilnika [6], da ona ne sme biti veća od 1/10 NDG, praktično je teško ostvariv, netačan, neprecizan i nepouzdan.

Stari domaći propis pod nazivom „Metrološko uputstvo za overavanje elektronskih (statičkih) višefunkcijskih brojila električne energije“, koji je bio na snazi do 31.12.2024. godine, za brojila klasa tačnosti 0,2S, 0,5S, 1 i 2 za aktivnu EE i brojila klasa tačnosti 2 i 3 za reaktivnu EE, objavljen je 2007. godine [21]. U njemu je, u odeljku 3.4.1., za ispitivanje brojčanika propisano: „Ispitivanje se vrši postupkom neprekidnog opterećenja naznačenom (osnovnom) strujom brojila. Vreme trajanja ovog ispitivanja treba izabrati tako da se odnos vrednosti energije koju registruje brojčanik brojila i vrednosti energije koja se dobije množenjem konstante davača impulsa i broja impulsa koje je registrovao brojač impulsa priključen na davač impulsa za daljinsko merenje, može odrediti sa tačnošću koja je najmanje 4 puta veća od klase tačnosti ispitivanog brojila, za svaki brojač.“ Prva rečenica je protivrečna rečenici izloženoj u odeljku 3.2.5.3., koja glasi: „Ispitivanje prikazivača vrši se pri opterećenju 100 % I_n, cosφ=1 ili I_m, cosφ=1, za brojila aktivne EE i pri opterećenju 100 % I_n, sinφ=1 ili I_m, sinφ=1, za brojila reaktivne EE“. Dakle, gledajući oba navedena odeljka ovog Metrološkog uputstva [21], kriterijum za izračunatu relativnu grešku ublažen je 2,5 puta za klasu brojila 0,2S u odnosu na odgovarajuću međunarodnu preporuku OIML-a i SRPS IEC standard [4,5]. Dakle, preko definicije vremena ispitivanja brojača, posredno su navedeni merilo relativne greške i referenca za relativno poređenje EE pri proveri registra, tj. električni davač impulsa za daljinsko merenje.

III-2 Suština problema primene nedovoljno pouzdane i precizne metode provere registra EE u KT-u EMS AD za brojila svih klasa tačnosti za koje je ono akreditovano

Treba imati na umu da je greška prikazane EE u registru zbir:

- neto greške registra koja se pri proveri registra traži i
- slučajne greške brojila EE.

Pri proveri tačnosti (slučajne greške) brojila preko nekog od dva ispitna izlaza (optičkog ili električnog za daljinsko merenje), uslov je da relat. razlika EE sa ispitnog izlaza brojila (koja ne sadrži neto grešku registra) i EE izmerene etalonom bude manja od NDG.

Da se ne bi uzimao kriterijum od 1/10 NDG za relativno poređenje EE iz registra brojila i ulazne EE izmerene etalonom koja se dovodi brojilu, kao prema Pravilniku [6], u KT-u EMS AD se kao kriterijum primenjivalo poređenje sa NDG brojila. Međutim, slučajna greška brojila koju obuhvata EE iz registra može da bude npr. samo 1,68 puta manja od NDG, ali i 200 puta manja od NDG (Slika 2 iz *III-5*). Zato takav metod nije dovoljno metrološki tačan, precizan i pouzdan, jer se poredi EE iz registra brojila koja sadrži zbir grešaka brojila (tj. neto grešku registra EE i slučajnu grešku brojila, koje mogu da budu i različitog znaka) sa ulaznom EE koju meri etalon-brojilo, a koja ne sadrži slučajnu grešku brojila ni neto grešku registra brojila. Zato je to gruba metoda kojom se dopuštaju velike neto greške pokazivanja registra EE, zamaskirane ukupnom greškom registra, uz predugo vreme provere registra EE brojila.

Na još veće iznenađenje, najmanje potrebno vreme provere registra u KT-u EMS AD računato je prema najmanjoj potrebnoj energiji za proveru registra EE prema jednačini (1) iz odeljka *III-1*, koja važi za mnogo stroži metod (pri 1/10 NDG), tj. onaj zadat odgovarajućom međunarodnom preporukom OIML-a i SRPS standardom [4,5]. Na taj način dobijeno je predugačko vreme trajanja ovakve provere registra EE u KT-u EMS AD, čak i uz primenu najveće struje brojila, za cosφ=1. Jednačina (1) može lako da se izvede preko načina relativnog poređenja EE iz registra u odnosu na EE dobijenu sa ispitnog impulsnog izlaza brojila i strogog kriterijuma 1/10 NDG, što je prikazano u literaturi [16,17].

Ova opisana gruba metoda korišćena u KT-u EMS AD za brojila EE svih klasa tačnosti za koje je KT EMS AD akreditovan i ovlašćen za overavanje, uz primenu jednačine (1), prećutno je podržana od strane DMDM-a – državnog organa uprave i ATS-a.

III-3 Razvrstavanje metoda razmatranih u ovom radu za proveru registra EE pametnih brojila

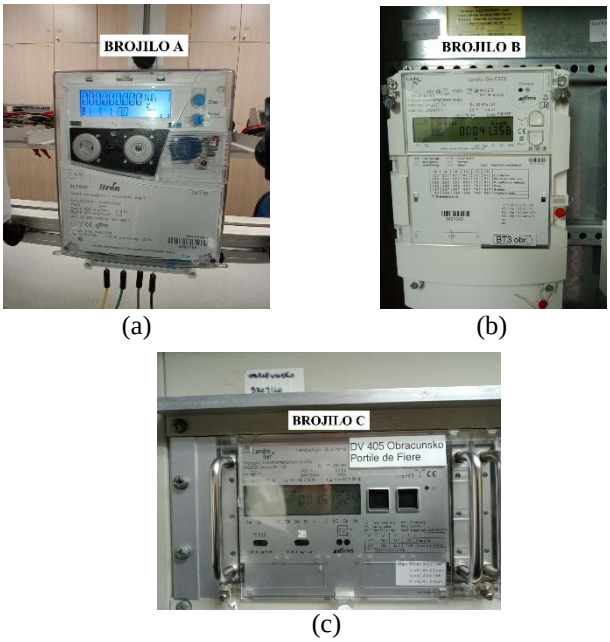
U ovom radu razmatraju se četiri metode za proveru registra EE:

- Metoda 1 koja se primenjuje u KT-u EMS AD, a koja izlazi iz okvira domaćih pravilnika [6-8], opisana u odeljku *III-2*;
- Metoda 2 za procenu tačnosti primene Metode 1, koja se zasniva na oduzimanju slučajne greške brojila, izmerene u posebnom merenju provere tačnosti brojila preko optičkog ispitnog izlaza brojila, od ukupne greške registra EE brojila dobijene iz Metode 1, pri istom naznačenom naponu, najvećoj struji u sve tri faze i faktoru snage 1;
- Metoda 3 koja je definisana odgovarajućom međunarodnom preporukom OIML-a i SRPS IEC standardom [4,5]; to je metoda relativnog poređenja EE na registru brojila i EE dobijene na nekom od impulsnih ispitnih izlaza brojila, i tu je razumno postavljen uslov da relativna greška bude manja od 1/10 NDG, jer se slučajne greške u razlici dveju dobijenih EE poništavaju u brojiocu;
- Nova Metoda 4, koja je objašnjena u poglavlju IV.

III-4 Posledice sekundarnog podešavanja registara EE brojila A klase 0,2S i kako je vreme provere registara brojila A vraćeno na ono prema starom domaćem propisu posle 4,5 godine

Najčešći slučaj u prenosnom sistemu Srbije je brojilo EE koje je sekundarno podešeno u kWh, klase 0,2S, naznačenog faznog napona 57,735 V, struje 1 A, maksimalne struje 2 A i konstante 10000 impulsa/kWh [13-18]. Kada je u pitanju brojilo A, na slici 1a, koje nema radni režim sa registrom EE sa rezolucijom većom od 3 decimalna mesta, pa tako ni ispitni režim za prebacivanje na 4 decimalna mesta, najmanje vreme provere registra EE, prema Pravilniku [6], iznosilo bi neprekidno 14 sati i 26 minuta, što predstavlja veliko radno opterećenje za kontrolora [13-18], a za obično dve tarife i dva smera električne struje, to vreme je za četiri posebna registra EE četvorostruko, tj. 57 sati i 44 minuta. Kada su u pitanju brojila B i C sa slika 1b-c, koja imaju radni režim i ispitni režim u slučaju potrebe prebacivanja rezolucije na 4 decimalna mesta (ali to ne bi smelo da bude praksa, da se brojila podešavaju sa rezolucijom manjom od 4 decimalna mesta zbog tačnosti očitavanja i proračuna gubitaka EE na elementima mreže [15,18]), ova vremena ispitivanja su 10 puta manja, tj. 1 sat i 27 minuta za 1 registar, odnosno 5 sati i 47 minuta za 4 registra. Brojila proizvođača sa slike 1 se dosta dugo ugrađuju za

merenje EE u prenosnom sistemu Republike Srbije. 2005. godine nabavljeno je 770 ovakvih brojila [22]. Kasnije je kupljeno npr. 405 komada od 2015-2023. g., npr. za rezervu i kao dodatna, tzv. kontrolna brojila.



(a) (b) (c)

Slika 1. (a) Brojilo A bez mogućnosti, a (b) i (c) brojila B i C s mogućnošću prikaza EE u registru brojila u radnom režimu ili ispitnom režimu s rezolucijom i na četiri decimalna mesta

Posle izlaganja autora ovog članka o problemu opisanom u prethodnom pasusu za brojila A pomenutih naznačenih osobina, 24.6.2021. godine na međunarodnoj konferenciji ENERGETIKA 2021 [13], dakle, posle više od 4,5 godina, upućen je zvanični pismeni zahtev EMS AD-a DMDM-u, pod brojem 900-00-OPP-1566/2021, zaveden 20.7.2021. Posle izlaganja autora ovog rada na konferenciji CIRED Srbija 2.9.2021. [14] i e-pošte autora DMDM-u o ovom problemu, tek 10.9.2021. DMDM je poslao instrukciju EMS AD-u, zavedenu pod brojem 393-4/0-05-2947/2, prema kojoj se dozvoljava smanjenje vremena provere registra EE brojila A 2,5 puta [15,16]. Dakle, posebnom instrukcijom DMDM-a, vreme provere registra EE brojila A ponovo je vraćeno na vreme zadato prema starom domaćem propisu opisanom u 3. pasusu odeljka *III-1* [15,16,21]. U instrukciji se ne spominje način relativnog poređenja EE iz registra brojila. Deo sadržaja instrukcije DMDM-a, kojom je omogućeno smanjenje vremena provere registra EE, pre svega zbog nepoštovanja čl. 66 Zakona o radu u pogledu dužine dnevnog odmora, dat je u literaturi [15].

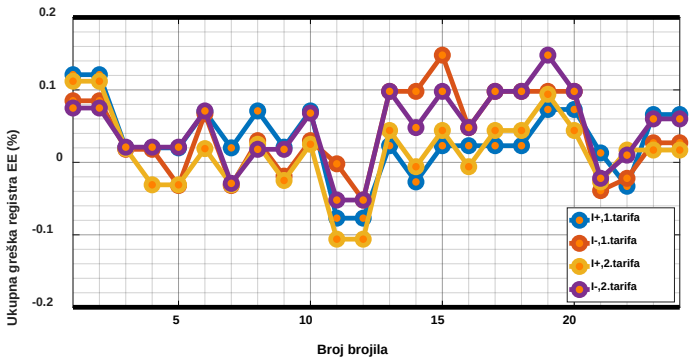
Razlog koji je naveden u instrukciji DMDM-a je: „Etaloni i merna oprema koji čine merni sistem za pregled brojila imaju odgovarajuću tačnost tako da proširena merna nesigurnost mernog sistema za pregled brojila bude najmanje tri puta manja od najveće dozvoljene greške brojila.“ Ovo je rečenica iz Priloga 2 Pravilnika [6]. Pominjanjem tačnosti merne opreme u instrukciji DMDM-a, na posredan način se shvata da DMDM podržava poređenje pokazivanja registra EE brojila sa etalonom merene EE na ulazu brojila. Ono što se ne pominje, a što je ključno, jeste dozvoljeni kriterijum odstupanja relativne greške dobijene ovakvim poređenjem. U Metodi 3, iz odeljka *III-3*, prema odgovarajućoj međunarodnoj preporuci OIML-a i standardu [4,5], porede se veličine EE koje meri samo brojilo, tj. EE iz registra ekrana brojila i EE dobijene na ispitnom izlazu brojila, što nema neposredne veze sa mernim sistemom, jer se porede izmerene vrednosti EE sa brojila na njegova dva izlaza – ekranu brojila i ispitnom izlazu.

U [23], za najnepovoljniju mernu tačku 1, pri cosφ=1, za struju 1 A i uključene sve tri faze, dokazano je da je proširena merna nesigurnost analiziranog mernog sistema (sa etalonom aktivne EE klase tačnosti 0,02) za ispitivanje brojila u KT-u EMS AD daleko manja od najvećeg odstupanja od ±33,3 % NDG brojila i iznosi svega 12,7 % NDG (tj. 2,62 puta manje). Uprošćen pristup DMDM-a ovom problemu, koji se prema njihovoj instrukciji smatra ispravnim, bazira se na odnosu mernih nesigurnosti. Budući da je proširena merna nesigurnost merne opreme u KT-u EMS AD 2,62 puta manja od granične vrednosti, vreme provere registra EE brojila može se smanjiti za isti taj faktor.

III-5 1. Primer primene Metode 1 za proveru registra EE brojila i Metode 2 za procenu efekata Metode 1

Na slici 2 i slici 3 prikazani su rezultati dobijeni primenom Metode 1 i Metode 2 (iz odeljka *III-3*), respektivno, za proveru registra EE brojila, za ukupnu i neto grešku registara EE kod 24 brojila A. Brojila su za dve tarife i dva smera struje (tj. pozitivan smer od elektroenergetske mreže ka mernom mestu i negativan smer od mernog mesta ka mreži), različitih godina proizvodnje od 2004. do 2020. godine, overena u periodu 2021–2023. godine, sa naznačenim podacima iz prvog pasusa odeljka *III-4*.

Pri Metodi 1, koja se primenjuje u KT-u EMS AD, ali sa velikim stepenom neodređenosti, svi rezultati su u okvirima ±NDG, tj. smatraju se ispravnim, što odgovara i kontroloru. Da je uzeto 2,5 puta duže vreme, rezultati bi mogli biti samo još dalje od ±NDG.

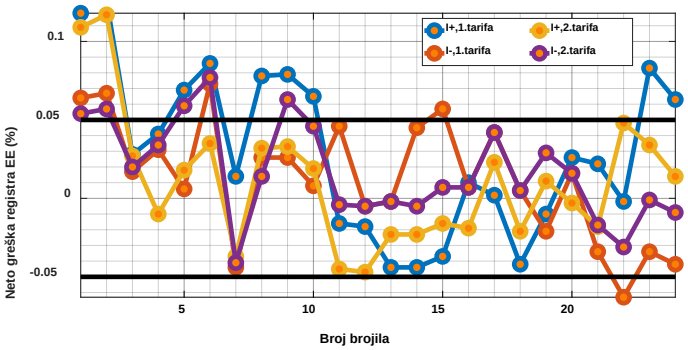


Slika 2. Metoda 1: Ukupna greška 4 registra aktivne EE za 24 brojila A za dve tarife i pozitivan i negativan smer struje, overena u periodu 2021–2023. g., sa nazivnim osobinama iz odeljka *III-4*

Slučajna greška 24 brojila A kretala se u opsegu od [-0,061–0,119] %, što je [-3,28–1,68] puta manje od |±NDG| brojila. Najmanja izmerena slučajna greška bila je 0,001 %, tj. 200 puta manja od |±NDG|.

Pri Metodi 2, da bi važila jednačina (1), za 2,5 puta manju uzetu najmanju potrebnu EE brojila, potrebno je kriterijum za relativno poređenje podići 2,5 puta, tj. uzeti ±¼ NDG, tj. ±0,05 %, umesto

±0,02 %. Ako je rezultat za neto grešku jednog od 4 registra prevazišao donje ili gornje ograničenje koja su označena crnim linijama, ta brojila, u ovom slučaju čak 10, trebalo je ponovo ispitati u dužem vremenskom periodu ili proglasiti neispravnim.

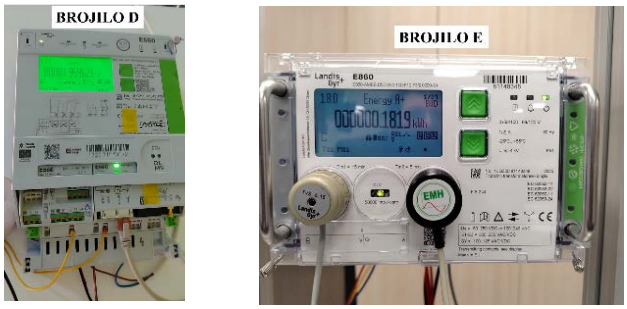


Slika 3. Metoda 2: Neto greška četiri registra aktivne EE za 24 brojila A za dve tarife i pozitivan i negativan smer struje, overena u periodu 2021-2023. g., sa nazivnim osobinama iz odeljka *III-4*

III-6 2. Primer primene Metode 1 za proveru registra EE brojila i Metode 2 za procenu efekata Metode 1

U EMS AD-u je od 2025. započeta postepena ugradnja 808 novih pametnih brojila D i E, prikazanih, respektivno, na slici 4a i slici 4b, i opisanih u literaturi [24]. Ona su klase tačnosti 0,2S, od toga 530 za naznačenu (najveću) struju 1(2) A (i od toga 119 brojila E), sa mogućnošću prikaza EE u registru brojila sa rezolucijom na 6 decimalnih mesta i sa 10–11 cifara EE na ekranu. Predstavljaju unapređene verzije brojila B i C sa većim mogućnostima u praćenju kvaliteta EE. Godine 2025. sprovedena je prva overa 49 brojila D i 24 brojila E za ugradnju u postrojenjima za EMS AD.

Umesto ranije korišćenih visokopreciznih brojila C, od 2025. godine počela je ugradnja visokopreciznih brojila E na mestima međudržavne razmene energije [25], tako da je njihova tačnost bitna u oba smera električne struje, tj. prenosa EE.

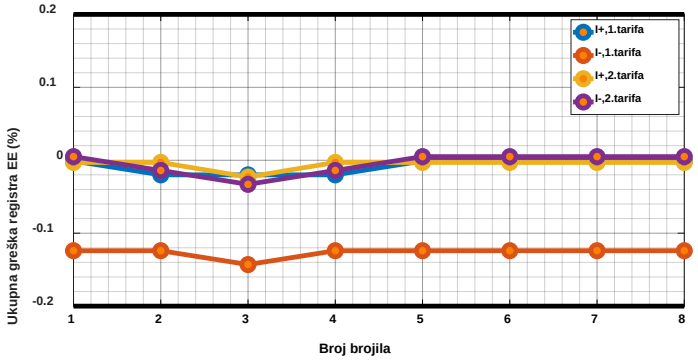


(a) (b)

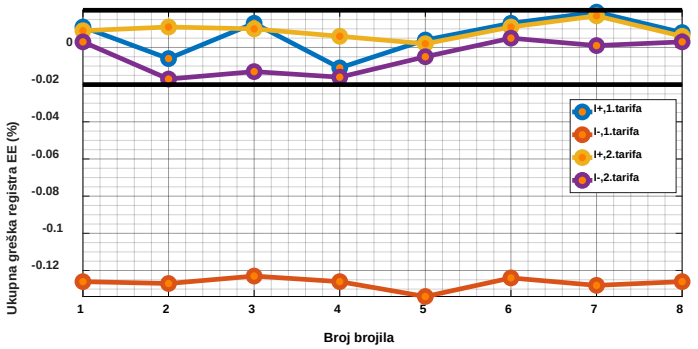
Slika 4. (a) Brojilo D i (b) brojilo E sa mogućnošću prikaza EE u registru brojila sa rezolucijom od šest decimalnih mesta

U sledećem primeru razmatra se 8 pametnih brojila E, sekundarno podešenih u kWh i sa rezolucijom na 4 decimalna mesta, sa naznačenim međufaznim naponom 100 V, naznačenom strujom 1 A, maksimalnom strujom 2 A i konstantom 50000 impulsa/kWh.

Na slici 5 i slici 6 prikazani su rezultati za ukupnu i neto grešku registara EE za dve tarife i dva smera struje za 8 brojila E, iste 2025. godine proizvodnje, pri overi 2025. god., uz običnu Metodu 1 i naknadnu Metodu 2 provere registra, respektivno. Pri Metodi 1 KT-a EMS AD, pogodnoj za kontrolora, ali sa velikim stepenom neodređenosti, svi rezultati su u okviru ±NDG, odnosno ispravni.



Slika 5. Obična Metoda 1: Ukupna greška 4 registra aktivne EE za 8 brojila E, za dve tarife i dva smera struje, overenih 2025. g



Slika 6. Naknadna Metoda 2: Neto greška 4 registra aktivne EE za 8 brojila E, za dve tarife i dva smera struje, overenih 2025. g.

Slučajna greška za 8 brojila E bila je u opsegu [-0,033–0,01] %, što je [-6,06–20] puta manje od |±NDG| brojila. Najmanja slučajna greška bila je 0,000, tj. beskonačno puta manja od |±NDG|.

Pri naknadnoj Metodi 2 iz *III-3*, kriterijum za relativno poređenje pooštren je na ±1/10 NDG, tj. ±0,02 %. Rezultati za neto grešku registara EE (u %) svih osam brojila za prvu tarifu (T1) i negativan smer struje (I-) daleko su prevazišli donje ograničenje relativne greške označeno crnom linijom, i svih 8 brojila trebalo je ponovo ispitati u dužem vremenskom trajanju ili proglasiti neispravnim. Iz ovakvih rezultata ispitivanja pokazuje se da su sva brojila prema Metodi 2 neispravna zbog prekoračenja neto greške registra EE i do 2,48 puta u odnosu na ograničenje. To znači da bi se pri uvozu EE dobijala ispravna pokazivanja registara EE, a pri izvozu EE uz nedozvoljenu i do 2,48 puta veću neto grešku registra EE (T1, I-).

III-7 Koji je razlog i kako su problemi predugog trajanja provere registara EE i smanjene tačnosti proračuna gubitaka EE na elementima mreže primenom brojila A klase 0,2S još pre 20 godina mogli da budu izbegnuti u EMS AD-u?

Razlog sekundarnog podešenja registara EE je što, npr., zaposleni za obračunsko i kontrolno merenje EE u EMS AD-u ne moraju da misle o prenosnom odnosu brojila koja odnose na teren radi ugradnje, niti o posebnom podešavanju prenosnih odnosa mernih transformatora u samim brojilima pre davanja brojila na overu (jer se oba prenosna odnosa stavljaju kao 1:1). Međutim, zaposleni u EMS AD-u u Sektoru za obračun EE i pristup prenosnom sistemu moraju o tome da misle i da vrše naknadnu ispravku u obračunu.

Problem sa predugom proverom registara EE bio bi pet puta manji da su nadležni službenici ova brojila A, radi merenja EE i njene naplate u prenosnom sistemu u EMS AD-u, rešili da ih primarno podešavaju na dva ili tri decimalna mesta, zavisno od količine EE koja protiče na datom mernom mestu [15,18]. To je moguće jer imaju devetocifreni ekran, i tada bi ovo vreme provere registra EE bilo pet puta kraće za rezoluciju registra na dva decimalna mesta, tj. po jednom registru 2 sata i 54 minuta za brojilo A, za 400 kV i 220 kV mreže. Kada bi rezolucija primarno podešenog registra bila na tri decimalna mesta, vreme provere registra bilo bi 50 puta kraće, tj. 17 minuta i 20 sekundi, za npr. 110 kV mrežu.

Potrebno je ispuniti uslov da registar beleži i prikazuje, počevši od nule, najmanje 1500 h vrednosti aktivne ili reaktivne energije koja odgovara maksimalnoj električnoj struji na referentnom električnom naponu i $\cos\varphi = 1$ ili $\sin\varphi = 1$, respektivno [6,8]. Za brojila sa osobinama iz *III-4* to je 520 kWh sekundarne EE [18].

Pored 5–50 puta kraćeg vremena provere registra EE kod brojila A (ako se pretpostavi da se poslednja vidljiva cifra zaokružuje na ekranu brojila, a ako ne, to je 10–100 puta), primarno podešavanje registra EE brojila A, kao u 1. pasusu, ima i sledeće prednosti:

- smanjile bi se greške pri proračunu gubitaka EE na elementima mreže [15,18]. (Ova tvrdnja važi i za brojila D i E kada se u radnom režimu podešavaju na sekundarni način sa rezolucijom na 3, umesto na 4 decimalna mesta, odnosno ako se ne bi podešavala na primarni način sa rezolucijom na 2–4 decimalna mesta, zavisno od vrednosti konstante);
- povećala bi se pouzdanost obračuna EE i zaštite zakonski relevantnog softvera brojila, jer bi podatak o pravim prenosnim odnosima mernih transformatora bio overen [15];
- tada bi bila ispunjena tačka 8.6.8. Pravila o radu prenosnog sistema, gde piše: „EMS AD je odgovoran za čuvanje, odnosno ažuriranje konfiguracije merne opreme, tako da ona uvek bude kompatibilna sa karakteristikama mesta priključenja.“ [12]. (Ova tvrdnja važi za sva brojila A-E.)

III-8 Kako je problem tačnosti pokazivanja EE brojila B i C još pre 20 godina mogao da bude strogo izbegnut u EMS AD-u?

Nikakvog opravdanog razloga nije bilo niti ima za sekundarno podešavanje brojila B i C u radnom režimu na tri decimalna mesta, kada je zahtev za očitavanje ovih brojila pre prolaska kroz nulu brojčanika svega 520 kWh (videti uslov iz 3. pasusa odeljka *III-7*), a što je rađeno kako bi se usaglasili rezultati na brojilima A, B i C po broju decimalnih mesta. To je onda, pri proveri registara EE, uključivalo privremenu promenu rezolucije registara EE brojila B i C na četiri decimalna mesta, pa posle provere registara EE vraćanje brojila B i C u radni režim na tri decimalna mesta.

Isključivim sekundarnim podešavanjem brojila B i C na četiri decimalna mesta, smanjile bi se greške pri proračunu gubitaka EE na elementima elektroenergetskog sistema (EES-a) 5–10 puta. Npr., i kada bi takvo brojilo podešeno na 4 decimalna mesta radilo godinu dana sa najvećom strujom, što je malo verovatno, zabeležilo bi svega 3034,5 kWh za godinu dana, tj. 3,3 puta manje od maksimalnog opsega cifara tako podešenog registra EE brojila.

III-9 Zašto bi bio najbolji primarni način podešavanja brojila D i E u elektroenergetskoj mreži pod nadzorom EMS AD-a?

Brojila D i E imaju prikaz registra ekrana na novim verzijama od 11 cifara, tako da je primarno podešavanje ovih brojila lako ostvarivo i poželjno i za najveće protoke EE na mernim mestima, tj. u prenosnom EES-u sa najvišim naznačenim naponom 400 kV, i to na tri decimalna mesta za brojila sa konstantom 10000 imp./kWh, a za veće konstante brojila do 100000 imp./kWh i na 4 decimalna mesta kod 11-cifarskog registra EE brojila. Time bi se smanjile greške pri proračunu gubitaka na elementima EES-a [15,18] i povećala bi se pouzdanost obračuna EE i zaštita zakonski relevantnog softvera brojila (videti 2. tačku iz 4. pasusa odeljka *III-7*). I pored znatno unapređenog beleženja i pokazivanja EE u registrima u pogledu broja cifara na ekranu, nažalost, brojila D i E se u EMS AD-u uglavnom i dalje podešavaju na sekundarni način pokazivanja EE u registrima.

III-10 Zahtevi domaćeg pravilnika za proveru registara aktivne EE brojila klasa tačnosti A, B, C, 2, 1 i 0,5S

Prema Pravilniku o overavanju brojila aktivne električne energije klase tačnosti A, B, C, 2, 1 i 0,5S [7], koji je na snazi od 1.1.2025. godine, u tabeli 5 odeljka 2.3.4.: „Provera registra“, pri jediničnom faktoru snage i najvećoj struji brojila, navodi se:

- za elektronska brojila klasa A, B i C daje se način poređenja EE iz registra i kriterijum, tj. piše da: „Relativna razlika između zabeležene energije na registru i energije koja je propuštena kroz brojilo klase A, B i C, u vidu broja impulsa na izlazu za ispitivanje, ne sme biti veća od 1/10 NDG.“. Ovo odgovara definiciji provere registra EE u odgovarajućoj međunarodnoj preporuci OIML-a i SRPS IEC standardu [4,5] s obzirom na referencu relativnog poređenja pri proveri registra EE brojila i kriterijum za ocenu relativne greške ovog poređenja. Najmanje potrebno vreme provere može se dobiti preko najmanje potrebne energije koju treba propustiti kroz brojilo prema jednačini (1), koja se izvodi iz definicije;
- za elektronska brojila klase tačnosti 2 i 1 daje se samo vreme ispitivanja, tj. piše: „Ispitivanje prikazivača se vrši u vremenskim intervalima koji nisu kraći od 20 s.“ Slično je napisano u tački 3.2.5.4. starog propisa opisanog u 3. pasusu odeljka *III-1* [21], ali piše: „Ispitivanje tačnosti mora se vršiti u vremenskim intervalima koji nisu kraći od 20 s.“, a to je relativno poređenje EE sa ispitnog izlaza brojila u odnosu na EE izmerenu etalonom i predstavlja slučajnu grešku brojila, tj. ne obuhvata neto grešku registra što je osnov provere registra EE brojila. Dakle, nema ni kriterijuma provere registra brojila, ni reference relativnog poređenja pri proveri registra brojila. Zadato vreme je kraće 207,84 puta od

vremena provere registra prema starom Metrološkom uputstvu [21], za zamišljena brojila istih osobina i podešavanja kao za brojilo „A“ sa slike 1a, ali klase tačnosti 1. To odgovara kriterijumu 52 NDG, umesto 1/10 NDG prema odgovarajućoj međunarodnoj preporuci OIML-a i SRPS IEC standardu [4,5];

- za elektronska brojila klase tačnosti 0,5S daje se samo vreme ispitivanja, tj. piše: „Vreme ispitivanja treba izabrati tako da se odnos vrednosti energije (zabeležene na registru i energije – ovaj deo je ispušten u ovom Pravilniku [7]) koja je dobijena množenjem konstante davača impulsa i broja impulsa koje je registrovao brojač impulsa priključen na davač impulsa za daljinsko merenje, može odrediti sa tačnošću najmanje 2%.“. Dakle, preko određenja za vreme ispitivanja registra EE brojila, posredno su navedeni kriterijum provere registra EE i referenca relativnog poređenja pri proveri EE registra, a to je EE sa električnog davača impulsa za daljinsko merenje. Kriterijum je 16 puta blaži nego prema starom propisu [21], tj. 4 puta veći od NDG, a 40 puta veći od 1/10 NDG prema međunarodnoj preporuci OIML-a i SRPS IEC standardu [4,5].

Na kraju je u Napomeni 4 Pravilnika [7] predstavljen način provere konstante brojila ili konstante električnog davača za daljinsko merenje, koji je sada zajednički za klase tačnosti A, B, C, 2, 1 i 0,5S aktivne EE. On je identičan kao u starom primenjivanom propisu (koji se odnosio na klase 2, 1, 0,5S i 0,2S aktivne EE), opisanom u 3. pasusu odeljka *III-1* [21], u odeljku 3.4.1. (zato se neće ponavljati). Dakle, preko određenja za vreme ovog ispitivanja posredno su navedeni kriterijum provere konstante brojila (¼ NDG) i referenca relativnog poređenja pri proveri konstante brojila, tj. električni davač impulsa za daljinsko merenje. Dakle, sugeriše se definicija različita od one date odgovarajućom međunarodnom preporukom OIML-a i SRPS IEC standardom [4,5].

I na još veće iznenađenje, na kraju Napomene 4 Pravilnika [7] piše novost: „Davač impulsa za daljinsko merenje ne treba ispitivati, ako se ispitivanje tačnosti brojila barem u jednoj ispitnoj tački obavi preko impulsa iz davača impulsa za daljinsko merenje.“. Ovo opisano merenje, koje je deo uobičajene overe brojila, neuporedivo je brže (reda do 15 min.) od provere konstante davača za daljinsko merenje, pa poništava potrebu za njom ako se izvede.

III-11 Zahtevi domaćeg pravilnika za proveru registara reaktivne EE brojila klase tačnosti 2 i 3

Prema „Pravilniku o brojilima reaktivne električne energije klase tačnosti 2 i 3“, „Provera registra se vrši da bi se utvrdio odnos između registra i ispitnog izlaza, tako što se kroz brojilo propusti energija E, gde je $E \geq E_{min}$.“ [8]. Zatim se navodi jednačina (1) iz odeljka *III-1*, pri $I \geq 0{,}2I_n$. Na kraju piše: „Relativna razlika između zabeležene energije na registru i energije koja je propuštena kroz brojilo u vidu broja impulsa na ispitnom izlazu, ne može biti veća od jedne desetine NDG.“. Ova definicija odgovara odgovarajućoj međunarodnoj preporuci OIML-a i SRPS IEC standardu [4,5].

IV PREDLOG I PRIMER PRIMENE NOVE METROLOŠKI POUZDANE METODE 4 ZA PROVERU REGISTARA EE PAMETNIH BROJILA

Nova Metoda 4 zasniva se na relativnom poređenju EE iz registra sa zadatom ulaznom EE brojila, merenom etalonom, a zatim se od te ukupne greške registra oduzima, preko optičkog ispitnog izlaza, merena srednja slučajna greška brojila iz dve vrednosti merene tokom 80 % vremena provere registra.

Nova Metoda 4 proverena je na primeru brojila F klase 0,5S, sa slike 7, sa sledećim naznačenim veličinama: struja 5 A, najveća struja 6 A, fazni napon 57,735 V. Konstanta brojila je 40000 imp./kWh, a konstanta impulsnog davača za daljinsko merenje je 10000 imp./kWh. Proizvedeno je 2004. godine i služi kao probno brojilo u KT-u EMS AD. Ovo brojilo je sekundarno podešeno u radnom režimu sa rezolucijom registra EE na 4 decimalna mesta.



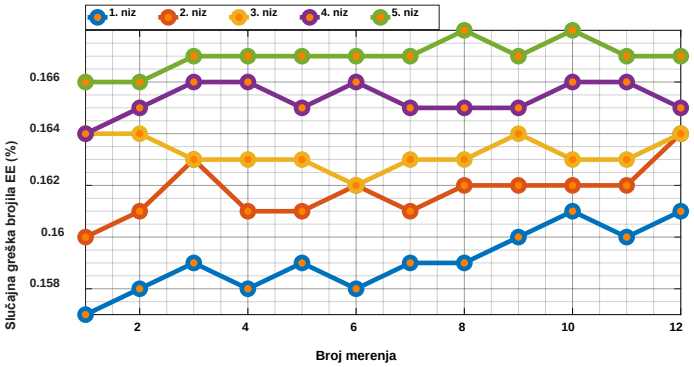
Slika 7. Ogledna postavka za istraživanje nove Metode 4 za proveru registra EE koju čini brojilo F (iste vrste kao brojilo B, ali drugih parametara) na ispitnoj stanici „B“ u KT-u EMS AD

Na slici 8 prikazano je pet grupa od po 12 uzastopnih merenja slučajne greške brojila pomoću optičkog ispitnog izlaza, pri čemu je svako merenje trajalo po pet minuta. Vidi se kolebanje greške u prvoj, drugoj i ostalim grupama od po 12 merenja za najviše 0,004 %, 0,003 % i 0,002 %, respektivno. Takođe, dolazi i do podizanja krivih na slici 8 tokom merenja i stalnog opterećenja brojila najvećom strujom, tj. do blagog porasta srednje vrednosti 12 slučajnih grešaka iz ovih grupa merenja sa 0,159 % na 0,167 %.

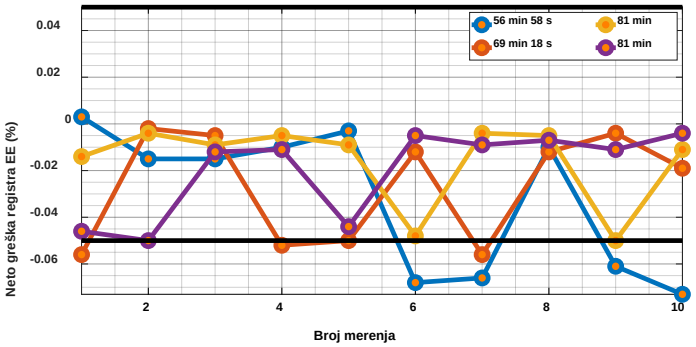
Vreme provere registra EE brojila, izračunato prema najmanjoj potrebnoj EE iz jednačine (1), iznosi 11 minuta i 33 sekunde. Na slici 9 prikazana je neto greška registra aktivne EE brojila (u %) za 1. tarifu EE, dobijena preko Metode 3 u tri vremenska perioda od po 10 mernih tačaka prema odgovarajućoj međunarodnoj preporuci OIML-a i SRPS IEC standardu [4,5], tj. neposrednim relativnim poređenjem sadržaja iz registra EE i aktivne EE sa optičkog ispitnog izlaza brojila. Utvrđeno je iz mnogih merenja, pri I_m i $\cos\varphi = 1$, da tek za vreme od otprilike 81 minut više ne dolazi do prekoračenja kriterijuma 1/10 NDG ni u jednoj tački u dve grupe od po 10 merenja. Ovo je 7 puta duže od najmanjeg potrebnog vremena izračunatog preko EE iz jednačine (1), što je nepraktično. Pri samom brojanju impulsa optičkim davačem može doći do greške pri otpočinjanju i završetku protoka električne struje kroz brojilo, što otežava zadovoljenje strogog kriterijuma.

Da bi se izbeglo predugačko trajanje provere registra preko Metode 3 i uprošćeno, nedovoljno pouzdano merenje primenom Metode 1, predlaže se nova Metoda 4. Na slici 10 prikazane su

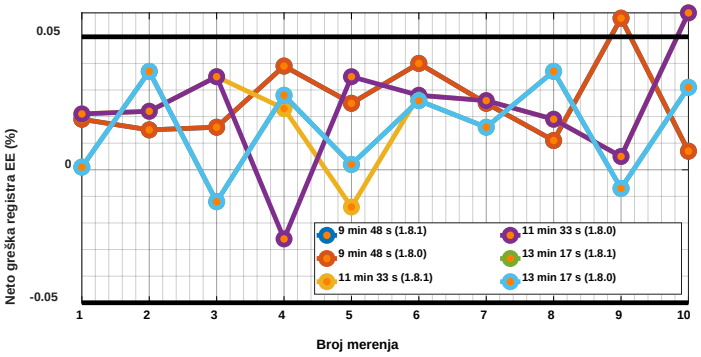
neto greške registara aktivne EE brojila za 1. tarifu EE (1.8.1) i ukupnu EE (1.8.0) za tri vremenska perioda od po 10 merenja.



Slika 8. Pet grupa od po 12 uzastopnih merenja slučajne greške brojila F preko optičkog ispitnog davača u trajanju od po 5 min



Slika 9. Neto greška registra aktivne EE brojila F za 1. tarifu EE, prema Metodi 3 iz preporuke OIML-a i standarda [4,5]



Slika 10. Neto greške registara aktivne EE brojila F za 1. tarifu EE i ukupnu EE prema novoj Metodi 4 za tri vremenska perioda

Negde se krive za 1. tarifu EE i ukupnu EE poklapaju za ista vremena provere registara EE brojila. Rezultati u granicama greške od 1/10 NDG brojila dobijeni su za 15 % duže vreme od onog prema jednačini (1). Međutim, ova Metoda 4 metrološki je tačnija i pouzdanija od Metode 1, jer se zasniva na istoj referenci poređenja (kao posrednoj) i istom merilu odstupanja relativne neto greške registra EE od 1/10 NDG, što je određeno odgovarajućom međunarodnom preporukom OIML-a i SRPS standardom [4,5].

V ZAKLJUČAK

U ovom radu predlaže se novi postupak radi unapređenja metrološke tačnosti, pouzdanosti i preciznosti provere registara EE pametnih brojila, sa težnjom određivanja objektivne granice za najmanje potrebno vreme provere registara. Ovo je neophodno da bi se osiguralo poverenje proizvođača, korisnika i potrošača u tačnost, pouzdanost i preciznost registara EE brojila i sveli rokovi overavanja brojila na najmanju moguću meru. Dakle, s jedne strane neophodna je primena odgovarajućeg postupka ocenjivanja usaglašenosti registara EE sa važećim domaćim pravilnicima, ali je s druge strane važan i razvoj novih, unapređenih postupaka koji bi u budućnosti bili propisani u domaćim i stranim pravilnicima.

Na osnovu vrednosti EE iz registara pametnih brojila vrši se obračun EE za snabdevanje potrošača, gubitaka EE u mreži i EE u međudržavnoj razmeni. Zato je neophodno da ta brojila ispunjavaju visoke zahteve u pogledu tačnosti registara EE.

Srbija je članica OIML-a i kandidat za članstvo u Evropskoj uniji. Za razne klase tačnosti brojila i vrste EE, nedovoljna i ponekad nedosledna razjašnjenja u domaćim pravilnicima u pogledu provere registara EE mogu da dovedu do proizvoljnih načina njihovog izvođenja. Ovo dovodi do metrološki nepouzdanih kriterijuma i rezultata, prema kojima ne mogu dovoljno precizno i tačno da se odrede neto greške registara EE brojila, koje bi trebalo da se uklope u opštepoznati kriterijum 1/10 NDG iz odgovarajuće međunarodne preporuke OIML-a, kao i SRPS IEC standarda [4,5].

Npr. Pravilnikom [6] (iz 2016. god.), pri proveri registra EE brojila klase 0,2S nametnuta je metoda relativnog poređenja pokazivanja EE iz registra sa zadatom EE koja se meri etalonom, a da kriterijum bude 1/10 NDG, dok se u praksi u KT-u EMS AD koristi NDG. DMDM je 10.9.2021. posebnom instrukcijom KT-u EMS AD smanjio vreme provere registra brojila A (iz odeljka *III-4*) 2,5 puta, kao prema starom Metrološkom uputstvu [21]. Dalje, u Pravilniku [7] objavljenom 2024. godine, zadato je čak 16 puta kraće najmanje potrebno vreme provere registra EE brojila klase 0,5S u odnosu na staro metrološko uputstvo iz 2007. godine, a čak 64 puta kraće u odnosu na vreme zadato preporukom OIML-a i SRPS standardom [21,4,5]. S druge strane, za brojila klasa 2 i 1 zadato je najmanje potrebno vreme provere registra od 20 s [7].

Ne treba postavljati cilj da se overi brojilo po svaku cenu, što pre i bilo kako, već osnovni cilj treba da bude poštovanje strogih pravila radi postizanja metrološke preciznosti, tačnosti i pouzdanosti. Usvajanjem metode za proveru registara EE brojila po Metodi 1 sa kriterijumom NDG umesto 1/10 NDG, uz prećutnu saglasnost nadležnih državnih organa, kao u KT-u EMS AD, dobijaju se nedovoljno precizni rezultati, zamaskirani slučajnom greškom brojila. Ovo je podstaknuto strahom da ne dođe do eventualnog ponavljanja merenja sa još dužim vremenom provere registra EE i da se overa ne završi u okviru ugovorenog roka.

U primerima brojila različitih proizvođača i konstanti brojila pokazano je kako primenom Metode 1, koja se primenjuje u KT-u EMS AD, svih 24 brojila A i 8 brojila E imaju ispravne rezultate kada se relativna ukupna greška registra brojila poredi

sa ±NDG brojila. Međutim, kada se primeni Metoda 2, tada 10 brojila A i nijedno od brojila E ne ispunjavaju postavljeni zahtev da neto greška svih registara EE brojila (dobijena oduzimanjem slučajne greške) bude manja od ±1/10 NDG. Kod brojila A uzeta je 2,5 puta manja EE koja prolazi kroz brojilo od one kada bi kriterijum bio ±1/10 NDG, zbog 2,5 puta kraćeg vremena provere registra EE datog prema instrukciji DMDM-a. Pri tome je slučajna greška koja je oduzeta od ukupne greške brojila dobijena iz provere tačnosti brojila ranije, uz iste uslove merenja kao pri proveri registra EE.

Predložena Metoda 4 provere registara EE brojila je nova jer nije neposredno preporučena u odgovarajućim važećim domaćim pravilnicima, međunarodnoj preporuci OIML-a i SRPS IEC standardu. Primena nove Metode 4 predstavljena je na probnom brojilu F, klase 0,5S. Pokazalo se da je potrebno vreme provere registra ovog brojila 15 % duže od najmanje potrebnog, datog jednačinom (1) za EE, kao u međunarodnoj preporuci OIML-a [4].

Ovom novom Metodom 4 za proveru registra EE brojila postiže se sledeće:

- relativno se poredi vrednost EE dobijena iz registra brojila i posredno dobijena vrednost EE na ispitnom izlazu brojila, kao razlika ukupne greške registra brojila i srednje slučajne greške brojila, koja je merena uporedo 80 % vremena;
- poredi se neto relativna greška registra brojila sa strogim uslovom, tj. treba da bude manja od 1/10 NDG brojila;
- značajno se smanjuje vreme provere registra EE u odnosu na primenu Metode 3 neposrednog merenja EE preko broja impulsa sa ispitnog izlaza brojila, uzetog za referencu.

Primenom nove Metode 4 izbegla bi se dosadašnja neprecizna i slabo pouzdana merenja na osnovu kojih nije bilo moguće da se tačno i nedvosmisleno utvrdi stvarna (neto) greška registra EE.

LITERATURA

[1] Popović, P., Živković V. *Osnovi standardizacije i metrologije*, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2011.

[2] Zakon o metrologiji, Službeni glasnik RS, br. 15/2016. https://www.paragraf.rs/propisi_download/zakon_o_metrologiji.pdf [pristupljeno 19.02.2026]

[3] Zakon o tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanju usaglašenosti, „Službeni glasnik RS“, br. 49/2021. https://pravno-informacioni-sistem.rs/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2021/49/2 [pristupljeno 19.02.2026]

[4] International organization of legal metrology. *OIML R 46-1/-2: Active electrical energy meters*, 2012. https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/r046-1-2-e12.pdf [pristupljeno 19.02.2026]

[5] SRPS EN IEC 62052-11:2022. Oprema za merenje električne energije – Opšti zahtevi, ispitivanja i uslovi ispitivanja – Deo 11: Merna oprema, https://iss.rs/sr_Cyrl/project/show/iss:proj:63393 [pristupljeno 19.02.2026]

[6] Pravilnik o brojilima aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S, Službeni glasnik RS, br. 104/2016. https://www.dmdm.rs/images/dokumenti/podzakonski_propisi/pravilnik_o_brojilima_aktivne_elektricne_energije_klase_tacnosti_02_s.pdf [pristupljeno 19.02.2026]

[7] Pravilnik o overavanju brojila aktivne električne energije klase tačnosti A, B, C, 2, 1 i 0,5 S, Službeni glasnik RS“, br. 14/2024. https://www.dmdm.rs/sr/dokumenti/podzakonski-propisi [pristupljeno 19.02.2026]

[8] Pravilnik o brojilima reaktivne električne energije klase tačnosti 2 i 3, Službeni glasnik RS, br. 118/2013 i 86/2014. https://www.dmdm.rs/images/dokumenti/podzakonski_propisi/Pravilnik_o_brojilima_reaktivne_elektricne_energije.pdf [pristupljeno 19.02.2026]

[9] SRPS EN 50470-3:2022 Electricity metering equipment - Part 3: Particular requirements - Static meters for AC active energy (class indexes A, B and C), 2022. https://iss.rs/en/project/show/iss:proj:67613 [pristupljeno 19.02.2026]

[10] SRPS EN IEC 62053-21:2022 Electricity metering equipment - Particular requirements - Part 21: Static meters for AC active energy (classes 0.5, 1 and 2), 2022. https://iss.rs/sr_Cyrl/project/show/iss:proj:63394 [pristupljeno 19.02.2026]

[11] SRPS EN IEC 62053-22:2022 Electricity metering equipment - Particular requirements - Part 22: Static meters for AC active energy (classes 0.1S, 0.2S and 0.5S), 2022. https://webstore.iec.ch/en/publication/29987 [pristupljeno 19.02.2026]

[12] Pravila o radu prenosnog sistema, 2023. file:///V:/DOWNLOADS/Pravila-o-radu-prenosnog-sistema-07.11.2023-1.pdf [pristupljeno 19.02.2026]

[13] Dukanac, Đ. Analiza vremena ispitivanja i greške očitavanja pametnih brojila električne energije u zavisnosti od njihovog podešenja, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 21, No. 1, pp. 50-55, 2021. https://doi.org/10.46793/EEE21-1.50D

[14] Dukanac, Đ. Analiza vremena provere registara aktivne električne energije i greške očitavanja električnih brojila pri različitim načinima podešenja prenosnih odnosa mernih transformatora u brojilima, in Proc. *XII savetovanje o elektrodistributivnim mrežama sa regionalnim učešćem,* Srbija, Vrnjačka Banja 30 avgust - 3 septembar 2021. https://www.cired.rs/wp-content/uploads/Radovi/VB2021/STK4/R-4.17_20373_Djordje%20Dukanac_ANALIZA%20VREMENA%20PROVERE%20I%20TACNOSTI%20REGISTARA%20AKTIVNE%20ENERGIJE%20ELEKTRICNIH%20BROJILA%20PRI%20RAZLICITIM%20NACINIMA%20PO.pdf [pristupljeno 19.02.2026]

[15] Dukanac, Đ. Drawbacks of Using Smart Meters of Accuracy Class 0.2S, Phase Current 1 A, and Phase Voltage 58 V in High-Voltage Stations That Display Secondary Electrical Energy With a Resolution of Three Decimal Places, in Proc. *37th Conference CIGRE Serbia 2025*, Kopaonik, Serbia, pp. 889–905, May 26-30, 2025. https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B5.12

[16] Dukanac, Đ. Challenges in Verifying Electrical Energy Registers in the Process of Verifying Smart Meters in Terms of Domestic Regulations and Measurement Capabilities and by Comparison With International Standards and Regulations, in Proc. *37th Conference CIGRE Serbia 2025*, Kopaonik, Serbia, pp. 869–888, May 26-30, 2025. https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B5.11

[17] Dukanac, Đ. Mogućnosti za unapređenje kontrolisanja brojila električne energije klasa tačnosti 0,2S i 0,5S, in proc. *Energetika 2022 - dugoročni i kratkoročni izazovi započete energetske tranzicije u Srbiji*, Zlatibor, Srbija, 21-24. jun 2022. [pristupljeno 19.02.2026]

[18] Dukanac, Đ. Optimalno podešavanje rezolucije registra električne energije pametnog brojila, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. XXIV (2022), No. 2, pp. 75–85, 2022. https://doi.org/10.46793/EEE22-2.75D

[19] SRPS EN IEC 62053-23:2022 Electricity metering equipment - Particular requirements - Part 23: Static meters for reactive energy (classes 2 and 3), 2022. https://iss.rs/en/project/show/iss:proj:63396 [pristupljeno 19.02.2026]

[20] Czech Metrology Institute. Measure of a general nature, number: 0111-OOP-C022-24, laying down the metrological and technical requirements for specified instruments, including test methods for type-approval, verification and checking of specified measuring instruments: ‘electricity meters’, 2024. https://infosnake.net/services/wtomonitor/?id=86130 [pristupljeno 19.02.2026]

[21] Metrološko uputstvo za overavanje elektronskih (statičkih) višefunkcijskih brojila električne energije, „Glasnik ZMDM“ 1/07. https://www.dmdm.rs/images/dokumenti/podzakonski_propisi/MUP_elbrojila_el_en_visenamenski_1_07.pdf [pristupljeno 19.02.2026]

[22] Jurišević, I., Stanojević, V., Ignjatović, A. Novi sistemi za daljinsko prikupljanje i obradu podataka sa brojila na prenosnoj mreži Srbije, Elektroprivreda, Vol. 58, No. 4, 2006.

[23] Dukanac, Đ. Analiza ispunjenosti uslova za mernu nesigurnost sistema za kontrolu pametnih brojila i smanjenje vremena provere registra, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 24, No. 2, pp. 61-70, 2024. https://doi.org/10.46793/EEE24-2.61D

[24] Dukanac, Đ. Advantages of Applying Smart Energy Meters of High Accuracy Classes to Collect Data on Power Quality in Electric Power

System, in Proc. *37th Conference CIGRE Serbia 2025*, Kopaonik, Serbia, pp. 849-868, May 26-30, 2025. https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B5.10

[25] Landis+Gyr E860, https://www.landisgyr.com/us/en/home/devices/asia-pacific/e860 [pristupljeno 19.02.2026]

AUTORI

Đorđe Dukanac - doktor elektrotehnike i računarstva, Akcionarsko društvo „Elektromreža Srbije“ Beograd, Srbija, djordje.dukanac@ems.rs, ORCID: 0000-0002-1090-3129

Improving the Accuracy of Checking Electrical Energy Registers of Smart Meters Using a New Procedure

Abstract – In this paper, a new, metrologically more reliable procedure is proposed for checking the electric energy (EE) registers of smart meters of different accuracy classes in the meter verification procedure, in relation to those prescribed by the corresponding valid domestic regulations and the international recommendation of the OIML and the SRPS IEC standard. The applicant for meter verification often sets short deadlines for the completion of the verification and requests the lowest possible verification price, without considering the reliability of the verification methods used. In domestic regulations, as many as four different definitions have been introduced for checking registers of active EE accuracy classes A, B, C, 2, 1, 0.5S, and 0.2S, including those of reactive EE accuracy classes 2 and 3. For example, in the domestic Rulebook on active electricity meters of accuracy class 0.2S from December 23, 2016, a comparison of the set energy and the energy read on the meter register is prescribed, with the criterion that the relative difference should be less than 1/10 of the MPE (maximum permissible error) of the meter. However, in the inspection body "Elektromreža Srbije", in order to obtain results in a wider range of tolerance, MPE is taken as a criterion, and the minimum test time is taken according to the same formula from the Rulebook. Thus, a rough, poorly reliable method is obtained, the use of which is tacitly supported by the supervisory authority, i.e., the Directorate for Measures and Precious Metals. The new procedure is based on synchronous measurement of the mean random error and its indirect removal from the total register error, using a strict 1/10 MPE criterion for relative error.

Index Terms – Test (pulse) output, Inspection body, Register check, Maximum permissible error, Smart electricity meter

Rad primljen: 12.03.2026., prihvaćen: 01.09.2026.