Broj rada: R2-05
DOI:10.46793/CIRED2026.R2-05_269

REGULATORNI OKVIR KVALITETA ISPORUKE ELEKTRIČNE ENERGIJE U CRNOJ GORI I EU: STANDARDI, PODZAKONSKI AKTI I IZAZOVI ZA POTROŠAČE I KUPCE-PROIZVOĐAČE

REGULATORY FRAMEWORK FOR ELECTRICITY SUPPLY QUALITY IN MONTENEGRO AND THE EU: STANDARDS, BY-LAWS, AND CHALLENGES FOR CONSUMERS AND PROSUMERS

Miljana MLADENOVIĆ*, Crnogorski elektrodistributivni sistem, Crna Gora
Dražen JOVANOVIĆ*, Crnogorski elektrodistributivni sistem, Crna Gora
Vaso ZEKOVIĆ, Crnogorski elektrodistributivni sistem, Crna Gora
Iva VUJOVIĆ, Crnogorski elektrodistributivni sistem, Crna Gora

KRATAK SADRŽAJ

Kvalitet isporuke električne energije predstavlja ključni element pouzdanog funkcionisanja distributivnih sistema, posebno u kontekstu sve većeg udjela distribuiranih izvora i aktivnih korisnika mreže. Ovaj rad daje pregled relevantne domaće i evropske regulative koja definiše parametre kvaliteta napona, kontinuitet snabdijevanja i obaveze operatora distributivnog sistema. Poseban fokus stavljen je na standard EN 50160, kao i na crnogorske podzakonske akte koji operacionalizuju zahtjeve u pogledu kvaliteta isporuke, uključujući metodologije, pravilnike i tehničke uslove. Rad obuhvata detaljna objašnjenja ključnih standardizovanih parametara kvaliteta (naponske devijacije, harmonici, flikeri, nesimetrija, prekidi), uz analizu njihove primjene u realnim uslovima distribucione mreže. Prikazani su primjeri tipičnih problema kod različitih kategorija potrošača, od klasičnih rezidencijalnih korisnika do industrijskih pogona, kao i specifični izazovi koje uvode kupci-proizvođači, uključujući povratne tokove snage, lokalne prenapone i povećanu osjetljivost na harmonike. Kroz studije slučaja i praktične primjere, u radu su identifikovani najčešći uzroci odstupanja od propisanog kvaliteta, kao i ograničenja postojećeg regulatornog okvira u pogledu nadzora, mjerenja i odgovornosti. Na kraju, diskutuje se o potrebnim unapređenjima regulative i tehničkih standarda kako bi se omogućila veća integracija distribuiranih izvora i osigurao stabilan rad mreže u uslovima energetske tranzicije.

Ključne reči: Kvalitet napona, EN50160, regulativa, kupci- proizvođači, pouzdanost

ABSTRACT

The quality of electricity supply represents a key element of the reliable operation of distribution systems, particularly in the context of the growing share of distributed energy resources and active network users. This paper provides an overview of the relevant national and European regulations that define voltage quality parameters, supply continuity, and the obligations of distribution system operators. Special emphasis is placed on the EN 50160 standard, as well as Montenegrin by-laws that operationalize quality-of-supply requirements, including methodologies, rulebooks, and technical conditions. The paper includes detailed

* Miljana Mladenović, miljana.mladenovic@cedis.me
* Dražen Jovanović, drazen.jovanovic@cedis.me

explanations of key standardized quality parameters (voltage deviations, harmonics, flicker, unbalance, interruptions), along with an analysis of their application under real distribution network conditions. Examples of typical issues encountered by different categories of consumers - from conventional residential users to industrial facilities - are presented, as well as the specific challenges introduced by prosumers, including reverse power flows, local overvoltages, and increased sensitivity to harmonics. Through case studies and practical examples, the paper identifies the most common causes of deviations from prescribed quality levels, as well as the limitations of the existing regulatory framework in terms of monitoring, measurement, and accountability. Finally, it discusses the necessary improvements to regulations and technical standards to enable greater integration of distributed energy resources and ensure stable network operation in the context of the ongoing energy transition.

Keywords: Electricity quality, EN50160, regulation, prosumers, reliability

UVOD

Kvalitet isporuke električne energije predstavlja jedan od ključnih elemenata pouzdanog funkcionisanja distributivnih sistema, posebno u uslovima ubrzane energetske tranzicije i sve većeg udjela distribuiranih izvora energije. Stabilnost napona, kontinuitet snabdijevanja i kontrola harmonika postaju sve važniji kako se povećava broj kupaca- proizvođača, fotonaponskih elektrana, električnih vozila i drugih izvora povratnog djelovanja na distributivnu mrežu. U takvom okruženju, kvalitet napona više nije samo tehnički parametar, već i regulatorna obaveza, tržišni zahtjev i preduslov za integraciju novih tehnologija.

Crnogorski regulatorni okvir, zasnovan na Zakonu o energetici, Pravilima za funkcionisanje distributivnog sistema i Pravila o minimumu kvaliteta isporuke i snabdijevanja električnom energijom, definiše osnovne obaveze operatora distributivnog sistema u pogledu mjerenja, nadzora i odgovornosti za kvalitet napona [1-3]. Međutim, u praksi se pokazuje da postoje značajne nejasnoće u pogledu metodologije mjerenja, kriterijuma za ocjenu kvaliteta i postupanja po prigovorima korisnika. Istovremeno, evropski standard EN 50160 [4], koji predstavlja referentni dokument za kvalitet napona, uvodi niz parametara koji se u domaćoj regulativi ne primjenjuju u potpunosti, što stvara praznine u nadzoru i otežava rješavanje problema u realnim mrežnim uslovima.

Ovaj rad daje pregled regulatornog okvira, analizu ključnih parametara kvaliteta napona i prikaz tipičnih problema u crnogorskim distributivnim mrežama, sa posebnim osvrtom na izazove koje uvode kupci- proizvođači i dugi niskonaponski vodovi. Kroz tri karakteristična nalaza iz mjerenja kvaliteta napona ukazuje se na ograničenja postojećih pravila i potrebu za njihovim unapređenjem. Na kraju se daju konkretni predlozi za izmjene regulative kako bi se obezbijedila veća usklađenost sa EN 50160 i omogućila stabilna integracija distribuiranih izvora energije

1 REGULATORNI OKVIR I PRIMJENA STANDARDA EN 50160

Domaća regulativa zasniva se na dva ključna podzakonska akta: Pravilima za funkcionisanje distributivnog sistema i Pravilima o minimumu kvaliteta isporuke i snabdijevanja električnom energijom. Ova dva dokumenta definišu obaveze operatora distributivnog sistema u pogledu mjerenja kvaliteta napona, postupanja po prigovorima korisnika i granica dozvoljenih odstupanja od nominalnog napona.

Pravila za funkcionisanje distributivnog sistema propisuju da operator distributivnog sistema mora izvršiti mjerenje kvaliteta napona na zahtjev korisnika i dostaviti izvještaj u roku koji je definisan pravilima o minimumu kvaliteta. Međutim, iako se navodi obaveza mjerenja, ne definiše se metodologija, trajanje mjerenja, niti kriterijumi koji se primjenjuju. Ovakva formulacija ostavlja prostor za različita tumačenja i otežava dosljednu primjenu standarda.

Pravila o minimumu kvaliteta isporuke propisuju da operator mora utvrditi da li je napon na mjestu isporuke u granicama dozvoljenih odstupanja. Granice napona su definisane članom 17 Pravila za funkcionisanje distributivnog sistema i iznose ±10% za niskonaponsku mrežu i srednjenaponsku mrežu.

U pogledu primjene EN 50160, domaća regulativa preuzima samo dio parametara, uglavnom spore promjene napona, dok ostali parametri- kao što su flikeri, harmonici, nesimetrija i kratkotrajni prekidi nisu jasno definisani kao obavezni elementi mjerenja. Time se stvara situacija u kojoj operator distributivnog sistema formalno ispunjava obaveze, ali ne prati sve parametre koji su ključni za stabilan rad mreže u uslovima visokog udjela distribuiranih izvora

2 KLJUČNI PARAMETRI KVALITETA NAPONA PREMA STANDARDU EN 50160

Kvalitet napona u distributivnim mrežama definiše se skupom standardizovanih parametara koji opisuju odstupanja od idealnih sinusoidalnih uslova napajanja. Prema standardu EN 50160, jedan od osnovnih parametara su naponske devijacije, koje predstavljaju spore promjene efektivne vrijednosti napona i moraju se u najvećem dijelu vremena zadržavati unutar granica ±10% od nominalne vrijednosti. Ova odstupanja najčešće su posljedica promjena opterećenja, dužine vodova i uticaja distribuirane proizvodnje.Harmonici predstavljaju izobličenja sinusnog oblika napona uzrokovana nelinearnim potrošačima, poput energetske elektronike i industrijskih uređaja. Njihovo prisustvo se kvantifikuje ukupnim harmonijskim izobličenjem (THD), a povećane vrijednosti mogu dovesti do dodatnih gubitaka, zagrijavanja opreme i smanjenja njenog vijeka trajanja. Flikeri opisuju brze promjene napona koje izazivaju vidljivo titranje osvjetljenja i nelagodnost kod korisnika. Nastaju usljed naglih promjena opterećenja, poput rada zavarivačkih aparata ili velikih elektromotornih pogona, a ocjenjuju se kroz kratkoročne i dugoročne indikatore (Pst i Plt).Nesimetrija napona odnosi se na neravnomjernost faznih napona u trofaznom sistemu, što može biti posljedica nebalansiranog opterećenja ili neadekvatnog rasporeda potrošača po fazama. Povećana nesimetrija negativno utiče na rad trofaznih mašina i može uzrokovati dodatne gubitke i vibracije. Konačno, prekidi napajanja predstavljaju potpuni gubitak napona i dijele se na kratkotrajne i dugotrajne, u zavisnosti od trajanja. Oni direktno utiču na kontinuitet snabdijevanja i predstavljaju jedan od najvažnijih pokazatelja pouzdanosti distributivnog sistema.

3 KARAKTERISTIČNI PROBLEMI KVALITETA NAPONA U REALNIM DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

U crnogorskim distributivnim mrežama identifikovana su tri tipična problema kvaliteta napona koji se javljaju u različitim kategorijama potrošača i različitim topologijama mreže.

Prvi problem odnosi se na prenapone u mrežama sa visokim udjelom fotonaponskih elektrana. U periodima niske potrošnje i visoke proizvodnje dolazi do lokalnog porasta napona, posebno na krajevima dugih niskonaponskih vodova. Ovaj fenomen je posebno izražen u ruralnim područjima gdje su vodovi dugi, presjeci provodnika mali, a broj kupaca- proizvođača raste. U takvim uslovima napon često prelazi dozvoljenih +10%, što dovodi do isključenja invertora, prekida proizvodnje i nezadovoljstva korisnika.

Drugi problem odnosi se na podnapone kod klasičnih potrošača, posebno u zimskim mjesecima kada je opterećenje visoko. Dugi niskonaponski vodovi, veliki padovi napona i nedovoljna transformaciona snaga dovode do toga da napon na krajnjim tačkama mreže pada ispod dozvoljenih granica. Ovaj problem je prisutan i u urbanim sredinama, posebno u starijim dijelovima mreže gdje nije izvršena rekonstrukcija.

Treći problem odnosi se na povećanu prisutnost harmonika i nesimetrije, posebno kod industrijskih potrošača i kod kupaca- proizvođača sa invertorima sa simetričnom transformacijom. Pojedini slučajevi pokazuju da harmonici prelaze dozvoljene vrijednosti, što utiče na rad osjetljive opreme, povećava gubitke i može dovesti do pregrijavanja transformatora.

Ovi problemi jasno ukazuju da se kvalitet napona ne može posmatrati samo kroz spore promjene napona, već da je potrebno pratiti sve parametre definisane EN 50160, uključujući flikere, harmonike, nesimetriju i kratkotrajne prekide.

3.1 Primjeri slučaja iz prakse

U cilju sagledavanja stvarnog stanja kvaliteta napona u distributivnoj mreži Crne Gore, izvršena su terenska mjerenja kod različitih kategorija korisnika u nadležnosti CEDIS-a (Crnogorskog elektrodistributivnog sistema). Analiza je sprovedena u skladu sa zahtjevima standarda EN 50160, koji definiše dozvoljene granice odstupanja osnovnih parametara kvaliteta napona u javnim distributivnim mrežama.

Mjerenja su obuhvatila tri karakteristične kategorije korisnika: kupca–proizvođača (prozjumer), tipičnog potrošača iz kategorije domaćinstva i velikog industrijskog potrošača. Cilj je bio da se identifikuju eventualna odstupanja i sagledaju specifični izazovi u zavisnosti od tipa priključenog korisnika.

3.1.1 Kupac- proizvođač (prozjumer)

Potrošač se nalazi na traforeonu koji ima 57 potrošača. Maksimalno opterećenje trafoa za posmatrani period mjerenja iznosilo je 84.8 kW, što je 84.8 % od instalisane snage trafoa koja iznosi 100 kVA. Korisnik posjeduje fotonaposnku elektranu priključenu na distributivnu mrežu, na 0,4 kV naponskom nivou, instalisane snage 11.6 kWp.

U tabeli 1. su dati rezultati sporih promjena napona i flikera kod kupca- proizvođača

Tabela I – Spore promjene napona

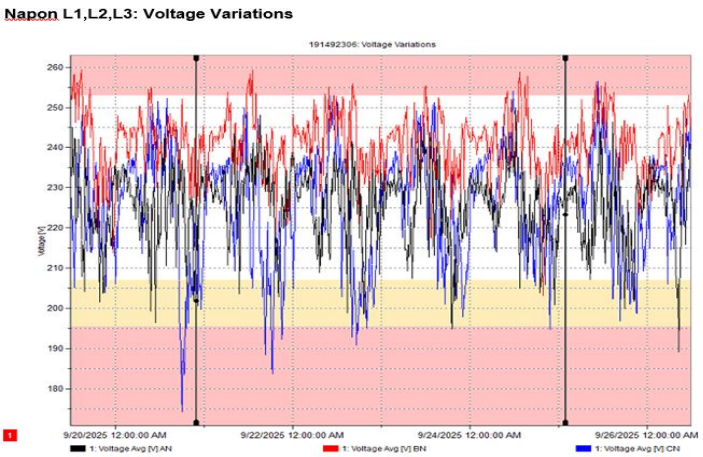
	95% (90%-110%) Un			100% (85%-110%) Un		
	AN (faza 1)	BN (faza 2)	CN (faza 3)	AN (faza 1)	BN (faza 2)	CN (faza 3)
Rezultat	**Zadovoljava**	**Ne zadovoljav**	**Ne zadovoljav**	**Ne zadovoljav**	**Ne zadovoljav**	**Ne zadovoljav**
% Unutar limita	96.03%	**93.95%**	**88.99%**	**99.80%**	**94.15%**	**97.62%**
Maksimum 95% / 100%	249.91V (8.66%)	**253.39V (10.17%)**	**256.47V (11.51%)**	249.91V (8.66%)	**259.53V (12.84%)**	**256.47V (11.51%)**
Vrijeme				9/24/2025 12:30:00	9/21/2025 13:10:00	9/25/2025 10:50:00
Minimum 95% / 100%	208.48V (-9.35%)	209.79V (-8.79%)	**202.01V (-12.17%)**	**189.13V (-17.77%)**	203.22V (-11.64%)	**174.27V (-24.23%)**
Vrijeme				9/26/2025 08:40:00	9/24/2025 19:50:00	9/20/2025 18:10:00

U tabeli 2. su date vrijednosti flikera za kupca- proizvođača, koji su van granica.

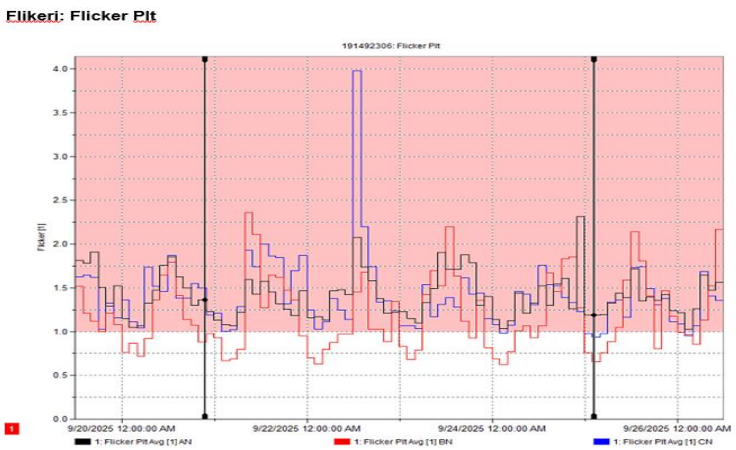
Tabela II – Flikeri

	95% Vrijednosti			Maksimalna vrijednost		
	AN	BN	CN	AN	BN	CN
Rezultat	**Ne zadovoljava**	**Ne zadovoljava**	**Ne zadovoljava**			
% Unutar	**0.00%**	**42.86%**	**5.95%**			
Vrijednost	**1.88**	**2.11**	**1.87**	2.32	2.36	3.98
Vrijeme				9/24/2025 23:50:00	9/21/2025 09:50:00	9/22/2025 13:50:00

Na slikama 1 i 2 su dati grafici sporih promjena napona i vrijednosti flikera.



Slika I – Promjene napona po fazama L1,L2,L3



Slika II – Flikeri

Mjerenja kvaliteta napona izvršena kod korisnika koji posjeduje fotonaponski sistem priključen na niskonaponsku mrežu ukazuju na odstupanja od zahtjeva definisanih standardom EN 50160,

pri čemu je ukupan rezultat ocijenjen kao nezadovoljavajući. Frekvencija mreže tokom perioda mjerenja u potpunosti je zadovoljavala zahtjeve standarda EN 50160, pri čemu je 100% vremena bila unutar dozvoljenih granica odstupanja. Registrovana maksimalna vrijednost iznosila je 50,10 Hz (+0,20%), dok je minimalna izmjerena vrijednost bila 49,89 Hz (−0,22%), što ukazuje na stabilan rad elektroenergetskog sistema sa aspekta regulacije frekvencije. Iako je frekvencija kao sistemski parametar koji se reguliše na nivou interkonekcije u potpunosti unutar dozvoljenih granica, zabilježena su značajna odstupanja efektivne vrijednosti napona, sa prekoračenjima do +12.84% i padovima do -24.23%, pri čemu pojedine faze ne zadovoljavaju kriterijum od 95% vremena unutar dozvoljenog opsega. Ovakav naponski profil ukazuje na izražen uticaj distribuirane proizvodnje, gdje u periodima maksimalne proizvodnje dolazi do porasta napona usljed povratnog toka snage i lokalnog 'podizanja' napona, dok se u periodima povećanog opterećenja javljaju padovi napona. Dodatno, registrovani su problemi sa nesimetrijom napona i flikerima, što se može dovesti u vezu sa neravnomjernim faznim opterećenjem i varijabilnošću proizvodnje iz fotonaponskog sistema. Kod nesimetrije napona registrovana su odstupanja od zahtjeva standarda EN 50160, pri čemu je samo 76,98% vremena vrijednost bila unutar dozvoljene granice od 2%. Izmjerena vrijednost nesimetrije za 95% vremena iznosila je 2,89%, dok je maksimalno zabilježena vrijednost dostigla 5,04%. Ukupno harmonijsko izobličenje napona (THD) tokom perioda mjerenja bilo je unutar granica propisanih standardom EN 50160 za sve tri faze. Vrijednosti THD za 95% vremena iznosile su 4,12% na fazi AN, 3,72% na fazi BN i 4,16% na fazi CN, dok su maksimalno registrovane vrijednosti bile 4,75%, 4,13% i 4,69%, respektivno, što ukazuje da harmonijska izobličenja nisu predstavljala značajan problem u posmatranoj mreži. Rezultati ukazuju na potrebu za unapređenjem upravljanja naponom u niskonaponskoj mreži, uključujući primjenu naprednih funkcionalnosti invertora i adekvatnije planiranje priključenja prozjumera.

3.1.2 Tipičan potrošač iz kategorije domaćinstva

Potrošač se nalazi na traforeonu 220902A NJEGUŠI II koji ima 120 potrošača. Maksimalno opterećenje trafoa za posmatrani period mjerenja iznosilo je 152 kW, što je 24.13 % od instalisane snage trafoa koja iznosi 630 kVA.

U tabeli 3. su dati rezultati sporih promjena napona kod potrošača.

Tabela III – Spore promjene napona

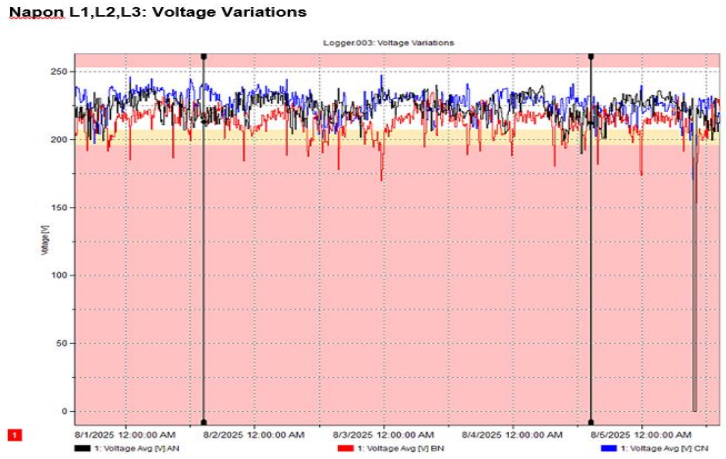
	95% (90%-110%) Un			100% (85%-110%) Un		
	AN (faza 1)	BN (faza 2)	CN (faza 3)	AN (faza 1)	BN (faza 2)	CN (faza 3)
Rezultat	**Zadovoljava**	**Ne zadovoljava**	**Zadovoljava**	**Ne zadovoljava**	**Ne zadovoljava**	**Zadovoljava**
% Unutar limita	96.77%	**81.35%**	98.38%	**99.85%**	**95.45%**	100.00%
Maksimum 95% / 100%	241.56V (5.03%)	234.89V (2.13%)	247.36V (7.55%)	241.56V (5.03%)	234.89V (2.13%)	247.36V (7.55%)
Vrijeme				8/1/2025 00:50:00	8/3/2025 09:10:00	8/2/2025 23:40:00
Minimum 95% / 100%	208.74V (-9.24%)	**196.23V (-14.68%)**	211.27V (-8.14%)	**189.86V (-17.45%)**	**169.89V (-26.13%)**	197.06V (-14.32%)
Vrijeme				8/4/2025 12:50:00	8/2/2025 23:40:00	7/31/2025 18:10:00

U tabeli 4. su date vrijednosti flikera za potrošača, koji su van granica.

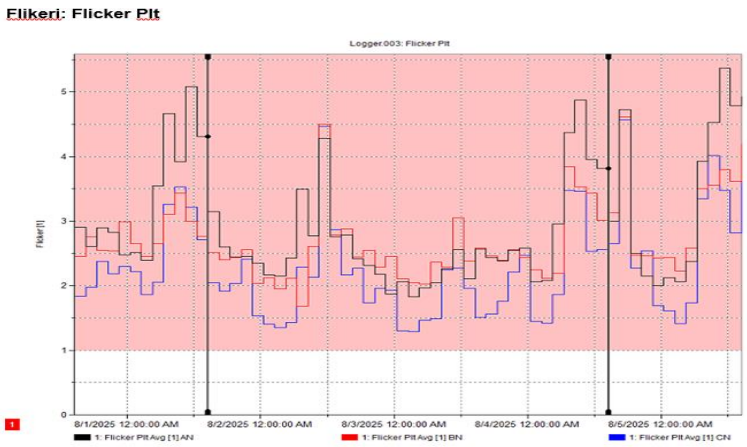
Tabela IV – Flikeri

	95% Vrijednosti			Maksimalna vrijednost		
	AN	BN	CN	AN	BN	CN
Rezultat	**Ne zadovoljava**	**Ne zadovoljava**	**Ne zadovoljava**			
% Unutar	0.00%	0.00%	0.00%			
Vrijednost	4.73	3.84	3.53	5.08	4.62	4.57
Vrijeme				8/1/2025 12:30:00	8/4/2025 18:30:00	8/4/2025 18:30:00

Na slikama 3 i 4 su dati grafici sporih promjena napona i vrijednosti flikera.



Slika III – Promjene napona po fazama L1,L2,L3



Slika IV– Flikeri

Mjerenja kvaliteta napona kod potrošača iz kategorije domaćinstva u ruralnoj mreži, na udaljenosti većoj od 1 km od trafostanice, ukazuju na izražena odstupanja od zahtjeva definisanih standardom EN 50160, pri čemu je ukupan rezultat ocijenjen kao nezadovoljavajući. Frekvencija mreže tokom perioda mjerenja kod navedenog potrošača u

potpunosti je zadovoljavala zahtjeve standarda EN 50160, pri čemu je 100% vremena bila unutar dozvoljenih granica odstupanja. Maksimalna registrovana vrijednost iznosila je 50,10 Hz (+0,20%), dok je minimalna izmjerena vrijednost bila 49,87 Hz (−0,26%), što potvrđuje stabilnost frekvencije u posmatranom periodu. Međutim, dominantan problem predstavljaju spore promjene napona, posebno na drugoj fazi, gdje je ispunjenost kriterijuma od 95% vremena unutar dozvoljenog opsega svega 81.35%, uz izražene padove napona do -26.13%, što značajno premašuje dozvoljene granice. Za razliku od urbanih mreža i priključaka kupaca-proizvođača, u ovom slučaju nisu dominantna prekoračenja gornjih naponskih granica, već učestali padovi napona, koji su tipični za duge niskonaponske vodove sa velikim impedansama i opterećenjem na krajevima mreže. Dodatno, nezadovoljavajući rezultat flikera ukazuje na prisustvo varijacija napona, vjerovatno usljed promjenljivog opterećenja u mreži. Nesimetrija napona uglavnom je bila unutar granica definisanih standardom EN 50160, pri čemu je 97,36% vremena zadovoljen kriterijum maksimalnog odstupanja od 2%. Vrijednost nesimetrije za 95% vremena iznosila je 1,84%, dok je maksimalno registrovana vrijednost dostigla 2,86%. Ukupno harmonijsko izobličenje napona (THD) kod domaćinskog potrošača bilo je značajno ispod graničnih vrijednosti definisanih standardom EN 50160 za sve tri faze. Vrijednosti THD za 95% vremena iznosile su 2,35% na fazi AN, 2,20% na fazi BN i 2,23% na fazi CN, dok su maksimalno registrovane vrijednosti bile 2,75%, 2,66% i 2,67%, respektivno, što ukazuje na veoma nizak nivo harmonijskog izobličenja u mreži. Dobijeni rezultati jasno ukazuju na ograničenja postojeće distributivne infrastrukture u ruralnim područjima i potrebu za njenim unapređenjem, kroz rekonstrukciju vodova, smanjenje dužina napojnih pravaca ili približavanje izvora napajanja krajnjim korisnicima.

3.1.3 Veliki potrošač

Potrošač se nalazi na traforeonu 200077A BRAJŠE I koji ima 65 potrošača. Maksimalno opterećenje trafoa za posmatrani period mjerenja iznosilo je 90.5 kW, što je 56.56 % od instalisane snage trafoa koji iznosi 160 kVA.

U tabeli 5. su dati rezultati sporih promjena napona kod velikog potrošača.

Tabela V – Spore promjene napona

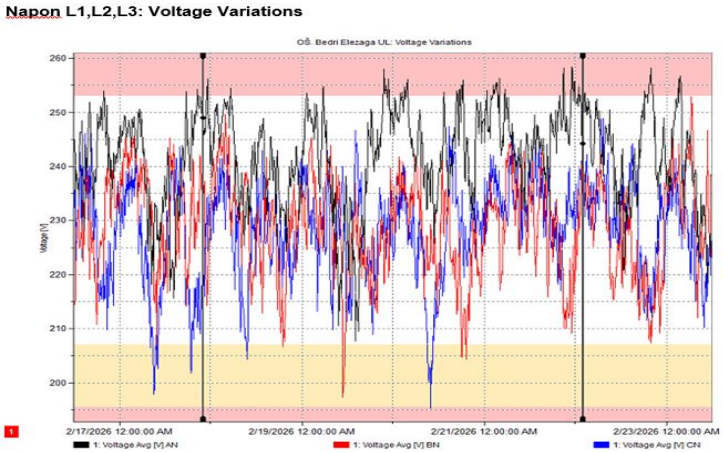
	95% (90%-110%) Un			100% (85%-110%) Un		
	AN (faza 1)	BN (faza 2)	CN (faza 3)	AN (faza 1)	BN (faza 2)	CN (faza 3)
Rezultat	**Ne zadovoljava**	**Zadovoljava**	**Zadovoljava**	**Ne zadovoljava**	**Zadovoljava**	**Ne zadovoljava**
% Unutar limita	**92.66%**	99.01%	97.82%	**92.66%**	100.00%	**99.90%**
Maksimum 95% / 100%	**253.79V (10.34%)**	246.69V (7.26%)	247.41V (7.57%)	**258.44V (12.37%)**	252.92V (9.97%)	248.99V (8.26%)
Vrijeme				2/21/2026 23:10:00	2/23/2026 06:50:00	2/22/2026 07:30:00
Minimum 95% / 100%	207.64V (-9.72%)	213.06V (-7.36%)	211.46V (-8.06%)	207.64V (-9.72%)	197.29V (-14.22%)	**195.27V (-15.10%)**
Vrijeme				2/19/2026 14:20:00	2/19/2026 11:00:00	2/20/2026 10:10:00

U tabeli 6. su date vrijednosti flikera za velikog potrošača, koji su van granica.

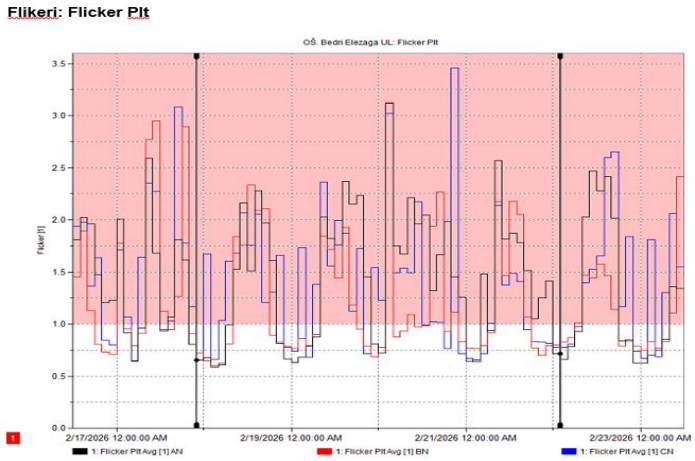
Tabela VI – Flikeri

	95% Vrijednosti			Maksimalna vrijednost		
	AN	BN	CN	AN	BN	CN
Rezultat	**Ne zadovoljava**	**Ne zadovoljava**	**Ne zadovoljava**			
% Unutar	**38.10%**	**55.95%**	**32.14%**			
Vrijednost	**2.41**	**2.42**	**2.60**	3.12	3.13	3.46
Vrijeme				2/20/2026 04:00:00	2/20/2026 04:00:00	2/20/2026 22:00:00

Na slikama 5 i 6 su dati grafici sporih promjena napona i vrijednosti flikera.



Slika V – Promjene napona po fazama L1,L2,L3



Slika VI– Flikeri

Mjerenja kvaliteta napona kod velikog potrošača priključenog na niskonaponsku mrežu (poluindirektno mjerenje) ukazuju na značajna odstupanja od zahtjeva definisanih standardom EN 50160, pri čemu je ukupan rezultat ocijenjen kao nezadovoljavajući. Frekvencija mreže kod velikog potrošača tokom perioda mjerenja u potpunosti je zadovoljavala zahtjeve standarda EN 50160, pri čemu je 100% vremena bila unutar dozvoljenih granica odstupanja. Maksimalna

izmjerena vrijednost iznosila je 50,07 Hz (+0,15%), dok je minimalna vrijednost bila 49,90 Hz (−0,21%), što ukazuje na stabilne frekvencijske uslove u posmatranoj mreži. Međutim, registrovana su odstupanja u pogledu sporih promjena napona, sa prekoračenjima gornje granice do +12.37% i padovima do -15.10%, pri čemu pojedine faze ne zadovoljavaju kriterijum od 95% vremena unutar dozvoljenog opsega. Posebno je izražen problem nesimetrije napona (do 2.98%), što ukazuje na neravnomjernu raspodjelu opterećenja po fazama, tipičnu za objekte sa značajnim jednofaznim ili nebalansiranim trofaznim potrošačima. Najizraženiji problem predstavlja fliker, gdje su izmjerene vrijednosti značajno iznad dozvoljene granice (Plt > 2), uz veliki broj registrovanih događaja i brzih promjena napona, što jasno ukazuje na dinamičke promjene opterećenja karakteristične za rad većih električnih uređaja. Ukupno harmonijsko izobličenje napona (THD) kod velikog potrošača bilo je unutar dozvoljenih granica definisanih standardom EN 50160 za sve tri faze. Vrijednosti THD za 95% vremena iznosile su 3,33% na fazi AN, 3,14% na fazi BN i 3,42% na fazi CN, dok su maksimalno registrovane vrijednosti bile 3,91%, 3,46% i 3,83%, respektivno, što ukazuje na umjeren nivo harmonijskog izobličenja bez prekoračenja propisanih limita. Kod velikog potrošača registrovana nesimetrija napona nije u potpunosti zadovoljila kriterijume standarda EN 50160, pri čemu je samo 91,57% vremena vrijednost bila unutar dozvoljene granice od 2%. Vrijednost nesimetrije za 95% vremena iznosila je 2,19%, dok je maksimalno izmjerena vrijednost dostigla 2,98%, što ukazuje na izraženije fazno neravnotežno opterećenje u odnosu na prethodne slučajeve. Ukupni rezultati sugerišu da veliki potrošač ima značajan uticaj na kvalitet napona u lokalnoj mreži, te ukazuju na potrebu za tehničkim mjerama kao što su balansiranje opterećenja, ublažavanje flikera i optimizacija režima rada potrošačkih uređaja.

3.2 Uporedna analiza i diskusija

Analizom sva tri slučaja može se zaključiti da problemi kvaliteta napona nisu ograničeni na jednu kategoriju korisnika, već predstavljaju sistemski izazov. Kod kupaca- proizvođača dominira problem povećanog napona usljed distribuirane proizvodnje, dok se kod u ruralnim mrežama kod domaćinstava češće javljaju problemi niskog napona usljed velike udaljenosti od izvora napajanja i visokih impedansi vodova. Nasuprot tome, kod velikih potrošača dominantan problemi su flikeri, nesimetrija i dinamičke promjene napona uzrokovane promjenljivim opterećenjem. Iako su frekvencija i harmonici u svim slučajevima u dozvoljenim granicama, rezultati jasno ukazuju da savremeni izazovi kvaliteta napona proizilaze iz povećane integracije distribuiranih izvora, neravnomjernog opterećenja i nedovoljno prilagođene mrežne infrastrukture.

4 UNAPREĐENJE NADZORA NAPONSKIH PRILIKA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

S obzirom na visoku cijenu profesionalne mjerne opreme, čija primjena zahtijeva značajne resurse, potrebno je razviti pristupe koji omogućavaju češće i ekonomski održivije praćenje kvaliteta napona. U analiziranim primjerima naponi su mjereni PQ analizatorom klase A, desetominutne rezolucije mjerenja. PQ analizatori su uređaji za mjerenje i analizu kvaliteta električne energije (Power Quality). Koriste se za praćenje napona, struje, harmonika, flikera, prekida, prenapona i drugih poremećaja u mreži. PQ analizatori klase A su najprecizniji analizatori definisani standardom IEC 61000-4-30. Njihove glavne karakteristike su: visoka tačnost i ponovljivost mjerenja, standardizovane metode mjerenja, mogućnost registrovanja svih važnih poremećaja u mreži, sinhronizovano vrijeme mjerenja, pogodni za službena i ugovorna mjerenja između operatora i korisnika, mjerenje harmonika, flikera, propada, preskoka i prekida prema međunarodnim standardima. Međutim savremena elektronska brojila

predstavljaju praktičnu alternativu jer, pored mjerenja energije, registruju naponske vrijednosti u kratkim intervalima. Na osnovu tih podataka moguće je dobiti reprezentativne profile napona bez dodatne opreme. Integracijom naponskih podataka iz brojila u MDM (Meter Data Management) mogu se formirati automatizovani indikatori poput učestalosti prekoračenja granica ±10% ili trajanja naponskih propada, što omogućava bržu identifikaciju problematičnih područja i efikasniji odgovor na prigovore korisnika. Dodatno, uspostavljanje stalnih mjernih tačaka na ključnim čvorovima mreže- izlazima iz trafostanica, krajnjim tačkama vodova i zonama sa visokim udjelom distribuirane proizvodnje, omogućava preciznije lociranje izvora odstupanja i razlikovanje mrežnih i korisničkih problema.

Iako brojila obezbjeđuju 10-minutne vrijednosti napona, THD i osnovne događaje, što pokriva samo dio zahtjeva standarda EN 50160, ovi podaci su dovoljni za praćenje naponskih događaja i identifikaciju izvora poremećaja. Prikupljanje podataka sa brojila na niskom naponu je još u razvoju, dok je na srednjem naponu već široko primijenjeno, ali dominantno kroz brojila, a ne kroz posebne PQ analizatore.

Zbog toga je važno da zakonski i podzakonski akti jasno definišu kategorije i vrste mjerenja kvaliteta napajanja. To uključuje obavezno postavljanje statičkih PQ analizatora klase A (EN 61000-4-30) na srednjem naponu, pored brojila i kod proizvođača, kao i praćenje kvaliteta napona u NN blokovima TS SN/NN, bilo analizatorima ili brojilima sa registrima napona. Ovo je ključno jer rast distribuirane proizvodnje mijenja tokove energije tokom dana, pa mreža prelazi iz pasivne u aktivnu i zahtijeva precizniju identifikaciju izvora poremećaja.

5 ZAKLJUČAK

Kvalitet isporuke električne energije postaje sve važniji u uslovima energetske tranzicije i rasta distribuiranih izvora. Iako postojeći regulatorni okvir u Crnoj Gori postavlja osnovu za praćenje kvaliteta, on još uvijek ne obuhvata sve parametre i metodologije potrebne za stabilan rad mreže. Analiza tri tipična slučaja – kupac- proizvođač sa fotonaponskim sistemom, standardno domaćinstvo i industrijski potrošač – jasno pokazuje da se u praksi javljaju različiti oblici odstupanja: prenaponi usljed povratnog toka snage, podnaponi na dugim vodovima, povećani harmonici i izražena nesimetrija faza. U prvom slučaju, odstupanja su dostizala +12.84% i -24.23%, što ukazuje na snažan uticaj varijabilne proizvodnje i nedovoljnu regulaciju napona u NN mreži.
Ovi rezultati potvrđuju da je neophodno unaprijediti pravila i uskladiti ih sa EN 50160, uz jasno definisane postupke mjerenja, kategorije mjerenja i odgovornosti učesnika. Posebno je važno obezbijediti kombinovano praćenje kvaliteta napona- kroz pametna brojila, stalne mjerne tačke i PQ analizatore klase A – kako bi se pouzdano identifikovali izvori poremećaja i pravovremeno reagovalo na promjene u mreži. Time se stvaraju preduslovi za sigurnu integraciju distribuiranih izvora, pouzdan rad distributivne mreže i bolju zaštitu krajnjih korisnika.

LITERATURA

[1]Zakon o energetici (2016). Službeni list Crne Gore, br. 5/16, 51/17, 82/20, 59/21.
[2]Pravila za funkcionisanje distributivnog sistema (2017). Službeni list Crne Gore, br. 70/17, 84/18, 24/19.
[3]Pravila o minimumu kvaliteta isporuke i snabdijevanja električnom energijom (2017). Službeni list Crne Gore, br. 26/17.
[4]EN Std. 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 2022.