

**UTICAJ RADA SOLARNIH ELEKTRANA NA PARAMETRE KVALITETA NAPONA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI****THE INFLUENCE OF THE OPERATION OF SOLAR POWER PLANTS ON THE VOLTAGE QUALITY PARAMETERS IN THE DISTRIBUTION NETWORK**Oliver Krezović, Dejan Jerkan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratka sadržaj** – U radu su prikazani rezultati merenja parametara kvaliteta napona distributivne mreže na mestima priključena male solarne elektrane na teritoriji operatora distributivnog sistema ZP „Elektrokrajina“ a.d. Banja Luka. Merenje je izvršeno uređajem MI (Metrel) 2292, dok je obrada podataka izvršena korišćenjem programa PowerLink prema standardu EN 50160.

**Ključne reči:** parametri kvaliteta napona, distributivna mreža, male solarne elektrane, MI (Metrel) 2292

**Abstract** The paper presents the results of measuring the voltage quality parameters of the distribution network at the places where small solar power plants are connected to the territory of the DSO ZP "Elektrokrajina" a.d. Banja Luka. The measurement was performed with the device MI (Metrel) 2292, while the data processing was performed using the PowerLink program according to the EN 50160 standard.

**Keywords:** voltage quality parameters, distribution network, small solar power plants, MI (Metrel) 2292

**1. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE**

S obzirom na prirodnu obnovljivost, izvori energije se dele na neobnovljive izvore energije i obnovljive izvore energije. Neobnovljivi izvori energije (fosilna goriva) su izvori energije koji se ne mogu regenerisati niti ponovo proizvesti. Njihovim sagorevanjem nastaju čađ, prašina, buka, štetne hemijske reakcije koji prouzrokuju kisele kiše, a najviše doprinose emisije štetnih gasova u atmosferu koji su posledica klimatskih promena.

Pod pojmom „obnovljivi izvori energije“ (OIE) podrazumeva se energija koja je stvorena iz prirodnih izvora. OIE danas proizvode samo mali deo ukupne svetske energije. Neobnovljivih izvora energije ima sve manje i njihove rezerve su na izmaku. Njihov štetni uticaj na životnu sredinu je sve izraženiji u poslednjih nekoliko godina.

Samim tim, udeo OIE u ukupnoj proizvodnji energije će u budućnosti morati da se poveća. Pet glavnih tipova OIE su: sunce, vetar, biomasa, geotermalna energija i voda (hidroenergija) [1] [2].

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada, čiji mentor je bio dr Dejan Jerkan, docent.

**1.1. Solarna energija i solarne elektrane**

Energija sunčevog zračenja (solarna energija) je energija elektromagnetnog zračenja sunca, koja dospeva na Zemljinu površinu. Ona predstavlja osnovu gotovo svih drugih izvora energije na zemlji. Kao akumulisani oblik solarne energije javljaju se fosilna goriva. Kao indirektni oblik pojave sunčeve energije na zemlji postoji energija vetra, energija vodenih tokova i energija biomase. Za proizvodnju toplotne energije iz sunčevog zračenja obično se koriste solarni kolektori za pripremu tehničke tople vode, dok se proizvodnja električne energije se najjednostavnije obavlja uz pomoć solarnih (fotonaponskih) panela, i takav vid transformacije je praktično postao sinonim za solarne elektrane.

Svaki fotonaponske sistem, tj. solarna elektrana se sastoji od različitih elemenata. Osnovni element svakog sistema predstavljaju solarni (fotonaponski) paneli, a pored njih prisutne su i pomoćne komponente – regulatori, baterije, invertori, noseće strukture i sl.

Za pretvaranje sunčeve energije u električnu energiju potrebna je solarna (fotonaponska) ćelija koja je osnovna komponenta svakog fotonaponskog panela. U solarnoj ćeliji se sunčeva energija pretvara direktno u jednosmerni napon (12 V). Princip rada solarne ćelije (solarnih panela) se zasniva na fotonaponskom efektu, pri kojem poluprovodnici pretvaraju osvetljaj u električnu struju.

Postoje tri preovlađujuća tipa solarnih ćelija i to: monokristalne ćelije, polikristalne ćelije i ćelije od amornog (nekrystalnog) silicijuma. Odnos proizvedene električne snage i snage kojim sunce zrači na solarnu ćeliju naziva se stepen korisnog dejstva. Ova veličina, za standardne ćelije na tržištu, iznosi 12-18%, u zavisnosti od tipa izrade.

Invertor (Pretvarač) predstavlja najosetljiviji deo solarne elektrane. Primarna funkcija mu je pretvaranje jednosmernog napona od 12 V, koji proizvode solarni paneli, u stabilni naizmjenični napon, sinusnog oblika, sinhronizovan sa distributivnom mrežom [3] [4].

**2. KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE**

Električna energija je proizvod koji se po svojim specifičnim karakteristikama razlikuje od bilo kog drugog proizvoda. Najčešće se proizvodi daleko od mesta potrošnje, a pored toga do mesta potrošnje dolazi preko kilometarskih nadzemnih i kablovskih vodova prenosne i distributivne mreže prošavši pri tome niz transformacija s jednog na drugi naponski nivo. Prolaskom kroz taj put može doći do narušavanja kvaliteta električne energije

koji je neophodan zbog kvalitetnog rada električnih prijemnika/uređaja.

Snabdevanje električnom energijom u Republici Srpskoj vrši se u skladu sa Zakonom o električnoj energiji, Opštim uslovima za isporuku i snabdevanje električne energije, Tarifnim sistemom za prodaju električne energije i ugovorom koji zaključuju snabdevač i kupac. Snabdevanje električnom energijom podrazumeva isporuku i prodaju električne energije.

Kvalitet električne energije u distributivnim mrežama zavisi od:

- karakteristika uređaja kupaca priključenih na mrežu, posebno od industrijskih potrošača sa pogonima u kojima dominiraju energetske pretvarači, pogona sa velikim udarnim opterećenjima, uređaja koji svoju funkciju zasnivaju na dejstvu električnog luka, snažnih jednofaznih prijemnika;
- topologije i karakteristika same mreže (dužina i presek vodova, stepen opterećenja vodova i transformatora, nesimetričnost opterećenja po fazama);
- naponskih prilika na vezi sa prenosnom mrežom kao i elektranama priključenim na mrežu.

Merenje kvaliteta električne energije provodi se prikupljanjem merenih veličina (napona, struje, frekvencije) unutar određenog vremenskog intervala. Prikupljeni podaci se, uz raspoloživu programsku podršku, računarski obrađuju, pri čemu se rezultati izvršenih merenja upoređuju sa standardnim propisanim referentnim vrednostima i utvrđuje nivo njihovog odstupanja od vrednosti koje su standardima definisane kao dopuštena.

Evropski komitet za standardizaciju u elektrotehnici CENELEC doneo je standard EN 50160 – Karakteristike napona u javnim elektrodistributivnim mrežama, kojom se određuju karakteristike napona na NN i SN mreži i koja je opšteprihvaćena u Evropskoj Uniji. Ovaj standard definiše bitne veličine distributivnog napona na mestu predaje potrošaču u javnim NN i SN mrežama pri normalnim pogonskim uslovima. Svrha ovog standarda je da utvrdi i opiše karakteristike distributivnog napona u pogledu frekvencije, veličine, talasnog oblika, simetrije triju napona faznih provodnika [5] [6].

### **3. PRIKLJUČENJE DISTRIBUIRANIH ENERGETSKIH RESURSA NA DISTRIBUTIVNU MREŽU REPUBLIKE SRPSKE**

Pod pojmom „Distribuirana proizvodnja smatra se proizvodnja i skladištenje električne energije koju obavljaju različiti mali uređaji povezani na distributivnu mrežu koji se nazivaju distribuirani energetske resursi (DER). Pod ovim pojmom podrazumevaju se sva postrojenja za proizvodnju električne energije iz OIE (elektrane) [7].

Distributivnom mrežom Republike Srpske operativno upravlja pet operatora distributivnog sistema (ODS). DER-ovi u Republici Srpskoj se na distributivnu mrežu priključuju spram „Pravilnika o uslovima za priključenje elektrane na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske“. Ovaj pravilnik objedinjuje zahteve važećih zakona, tehničkih propisa, pravilnika, preporuka i priznatih svetskih standarda u ovoj oblasti, definišući minimalne uslove koje mora ispuniti Proizvođač kako bi projektovao,

izgradio, priključio i vodio u pogonu elektranu paralelno sa distributivnom mrežom nazivnog napona 0,4 kV, 10 kV, 20 kV ili 35 kV, s ciljem da se izbegnu, odnosno ograniče negativna povratna dejstva na distributivnu mrežu i postojeće korisnike.

Pravilnik se odnosi na priključenje svih tipova elektrana koje proizvode električnu energiju iz OIE na distributivnu mrežu. Njime su propisani osnovni kriterijumi za priključenje elektrane, funkcionalni zahtevi za rad elektrane, osnovni tehnički zahtevi za izvođenje priključka elektrane, tehnički zahtevi za merno mesto, zaštitni uređaji i uslovi za pogon elektrane. Takođe, propisan je i redosled postupaka za izdavanje dokumenata za priključenje elektrane na distributivnu mrežu [8].

Zaključno sa 01.07.2023. godine, na distributivnu mrežu Republike Srpske priključeno je ukupno 353 elektrane, ukupne instalisane snage 146 MW, i to:

- 54 MHE, ukupne instalisane snage 101,5 MW,
- 296 MSE, ukupne instalisane snage 42,4 MW i
- 2 KPB i 1 BGE, ukupne instalisane snage 2,1 MW [9].

### **4. MERENJE KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE U MH “ELEKTROPRIVREDA REPUBLIKE SRPSKE” NA MESTIMA PRIKLJUČENJA DISTRIBUIRANIH ENERGETSKIH RESURSA**

Za potrebe analiza u okviru ovog rada merenja su izvršena u mestu priključenja MSE „BLC“ na teritoriji ODS-a ZP „Elektrokrajina“ a.d. Banja Luka. Merna lokacija je odabrana sa ciljem analize uticaja MSE na kvalitet električne energije u distributivnoj mreži.

Generalno, uticaj koji mogu imati DER-ovi na distributivnu mrežu sledeći:

- Zbog sposobnosti generatora da proizvode i troše reaktivnu energiju, u distributivnim mrežama može doći do trajno povišenih ili sniženih napona koji ugrožavaju rad ostalih korisnika na mreži, ali mogu izazvati i prorađivanje zaštitnih uređaja, što za posledicu ima prekide u napajanju potrošača;
- Priključenje na mrežu ili isključenje generatora sa mreže može izazvati propade ili poraste napona u mreži;
- DER-ovi u distributivnim mrežama izazivaju pojavu flikera – dugotrajnih fluktuacija napona, koji takođe imaju negativan uticaj na rad opreme;
- DER-ovi i njihova prateća oprema u distributivnoj mreži izazivaju harmonijsku distorziju napona;
- Priključenjem DER-ova povećava se snaga kratkog spoja distributivne mreže, što pozitivno utiče na kvalitet električne energije, ali ukoliko je nova snaga kratkog spoja veća od one na koju je oprema dimenzionisana, izaziva dodatne troškove;
- Ako se na mrežu spoji više jednofaznih generatora koji nisu izbalansirani po fazama, dolazi do pojave nesimetrije u mreži sa negativnim uticajem na ostale korisnike.

Pored navedenih uticaja DER-ova na distributivnu mrežu, loš kvalitet električne energije u mreži ima negativan uticaj na rad DER-ova, što može dovesti do neželjenih ispada generatora sa mreže.

Merenje je izvršeno u periodu 17.07.2023-24.07.2023. godine mernim uređajem MI (Metrel) 2292 (Slika 1), dok

je obrada podataka izvršena korišćenjem programa PowerLink prema standardu EN 50160.



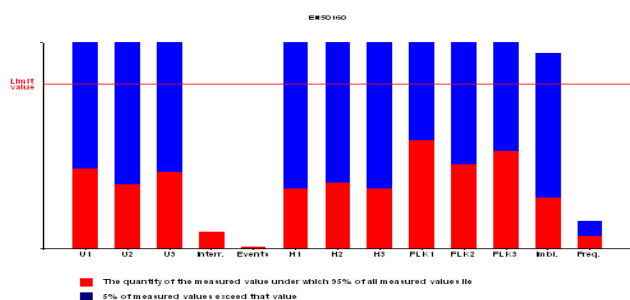
Slika 1. MI (Metrel) 2292 [10]

#### 4.1. Analiza rezultata za mernu lokaciju – mesto priključenja MSE „BLC“

MSE „BLC“ nalazi se u Banja Luci, na objektu visokoškolske ustanove „Banja Luka Koledž“. Instalirana snaga ove MSE je 20 kW, a elektrana je priključena na NN distributivnu mrežu 2014. godine i predstavlja jednu od prvih elektrana koje su priključene na distributivnu mrežu Republike Srpske.

Energiju koju proizvede ova elektrana, oko 21 MWh godišnje, otkupljuje Operator sistema podsticaja u sklopu MH ERS Matično preduzeće.

Na Slici 2. grafički je dat sumarni prikaz rezultata merenja.



Slika 2. Grafički sumarni prikaz rezultata merenja [9]

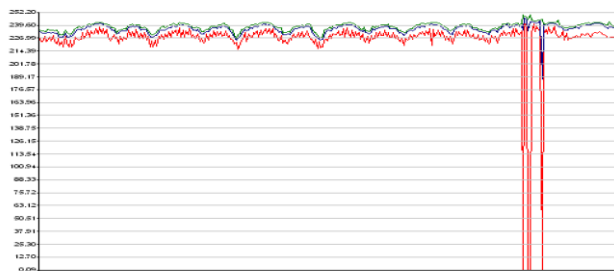
Crvena linija predstavlja graničnu vrednost parametara prema standardu EN 50160, koja mora biti zadovoljena u 95% mernog perioda (7 dana). Crveni stubići prikazuju vrednosti koje su bile postignute tokom 95% posmatranog vremena, u odnosu na preporučenu vrednost. Plavi stubići prikazuju vrednosti koje su bile zabeležene u ostalih 5% posmatranih vremenskih intervala.

Na bazi grafičkog sumarnog prikaza rezultata merenja na mestu priključenja ove MSE zaključeno je da kvalitet napona, tokom sedmodnevnog perioda posmatranja, u potpunosti zadovoljava zahteve propisane standardom EN 50160.

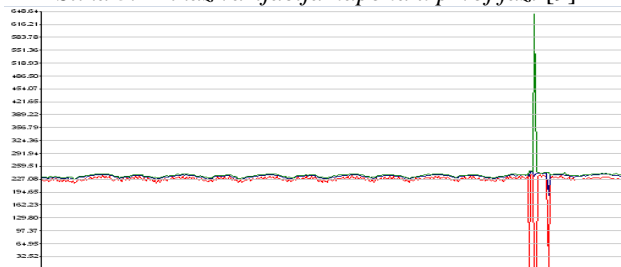
U nastavku je analiziran svaki od parametara kvaliteta napona pojedinačno.

Dijagrami minimalne, srednje i maksimalne efektivne vrednosti napona po fazama prikazani su na slikama 3, 4 i 5, pri čemu minimalne i maksimalne veličine predstavljaju najmanje i najveće efektivne vrednosti napona zabeležene u desetominutnom intervalu.

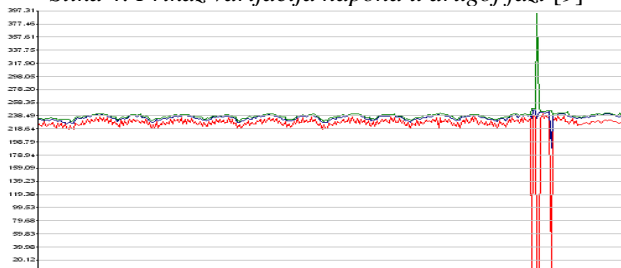
Za ocenu kvaliteta, potrebno je poznavati srednje vrednosti napona u desetominutnom mernom intervalu, pri čemu te vrednosti trebaju biti u granicama od 207 V do 253 V.



Slika 3. Prikaz varijacija napona u prvoj fazi [9]



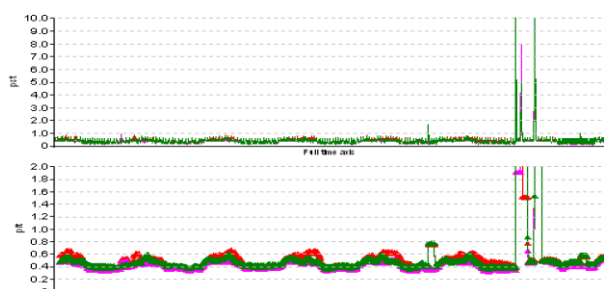
Slika 4. Prikaz varijacija napona u drugoj fazi [9]



Slika 5. Prikaz varijacija napona u trećoj fazi [9]

Posmatrajući prethodno prikazana tri dijagrama, može se uočiti da su varijacije napona značajnije izražene, ali i da je napon po pitaju varijacija tokom perioda posmatranja u 95% intervala bio u propisanim granicama.

Takođe, sa dijagrama se može uočiti da su 23.07.2023. godine zabeleženi naponski događaji koji nisu uticali na dozvoljene granice u 95% intervalu propisanom standardom EN 50160. Napon koji je uređaj zabeležio bio je izuzetno nizak, te se ovaj događaj može okarakterisati kao kratkotrajn naponski prekid trajanja reda minute. Tokom perioda posmatranja nije bilo propada napona.



Slika 6. Dugotrajni i kratkotrajni flikeri (po fazama) [9]

Na Slici 6. prikazani su indeksi kratkotrajne (Pst) i dugotrajne (Plt) jačine treperenja (flikeri). Prema standardu EN 50160 indeks dugotrajne jačine treperenja ne smije prelaziti vrednost  $Plt = 1$  u 95% vremenskog intervala.

Na grafičkom prikazu sa Slike 5. može se videti da su vrednosti indeksa dugotrajne Plt i kratkotrajne Pst jačine treperenja po fazama, u periodu kada su se dogodili ranije pomenuti kratkotrajni prekidi i preveliki porasti napona,

znatno veće od granične vrednosti 1. Prema raznim preporukama u pogledu praćenja kvaliteta napona za regulatorne svrhe, predlaže se markiranje intervala u kojim se dogodio naponski događaj (prekid napajanja, naponski propad ili porast napona), tako da se vrednosti dobijene u ovim intervalima ne koriste u statistici prilikom poređenja sa graničnim vrednostima propisanim standardom EN 50160. U skladu sa standardom, ranije pomenute vrednosti indeksa  $Plt > 1$  se izbacuju iz statistike zbog markiranja naponskog prekida/porasta.

Iz programskog paketa se mogu pročitati sledeće vrednosti indeksa  $Plt$  u 95% vremenskom intervalu: faza  $L1=0,66$ ;  $L2=0,51$  i faza  $L3=0,59$ , te se nakon završenog markiranja može izvesti zaključak da su indeksi kratkotrajnog i dugotrajnog treperenja zadovoljili standard EN 50160, odnosno u granicama su standardom dopuštenih vrednosti.

Kada je reč o nesimetriji napona, korišćenjem programa PowerLink, moguće je očitati prosečnu vrednost tokom posmatranog perioda. Analizom prikupljenih podataka o merenim veličinama na mestu priključenja ove MSE u 95% mernom intervalu, nesimetrija napona iznosi 0,61%. Prema standardu EN 50160, dozvoljena granična vrednost koja se ne sme preći iznosi 2%, te je za ovu mernu lokaciju zahtev standarda zadovoljen.

Najveća vrednost THD faktora u 95% perioda merenja jednaka 2,81%  $Un$  ( $L2$ ), što je ispod dozvoljene vrednosti od 8%  $Un$  (vrednost THD faktora u 100% perioda merenja jednaka je 3,05%  $Un$ , takođe manje od 8% vrednosti nominalnog napona) [9].

## 5. ZAKLJUČAK

U radu su opisani obnovljivi izvori energije, sa posebnim osvrtom na solarnu energiju. Uz to, objašnjen je i način dobijanja električne energije iz solarne energije uz pomoć fotonaponskih sistema (solarnih elektrana).

Takođe, akcenat je dat i na kvalitet električne energije koji se zahteva od strane svih krajnjih korisnika ovog proizvoda. Prikazan je i uticaj koji distribuirani energetske resursi mogu imati na parametre kvaliteta električne energije.

Na kraju su prikazani rezultati obavljenog sedmodnevnog merenja parametara kvaliteta napona za mernu lokaciju – mesto priključenja MSE „BLC“ u Banja Luci uz pomoć mernog uređaja MI (Metrel) 2292. Obrada podataka je izvršena korišćenjem programa PowerLink prema standardu EN 50160. Analizom rezultata merenja zaključeno je da kvalitet napona, tokom sedmodnevnog perioda posmatranja, u potpunosti zadovoljava zahteve propisane ovim standardom.

## 6. LITERATURA

- [1] Neobnovljivi izvori energije  
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Neobnovljivi\\_izvori\\_energij](https://hr.wikipedia.org/wiki/Neobnovljivi_izvori_energij)
- [2] Obnovljivi izvori energije  
[www.industrija.rs/vesti/clanak/oie-energija-buducnosti](http://www.industrija.rs/vesti/clanak/oie-energija-buducnosti)
- [3] Solarna energija  
[http://www.zelenaenergija.pks.rs/ZelenaEnergija.aspx?id=48&p=3&#\\_ftn1](http://www.zelenaenergija.pks.rs/ZelenaEnergija.aspx?id=48&p=3&#_ftn1)
- [4] Ispitni materijal za pripremu ispita „Obnovljivi izvori energije“; prof. dr Vladimir Katić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad
- [5] „Mjerenje kvaliteta električne energije“ MH „Elektroprivreda Republike Srpske“ a.d. Trebinje
- [6] Standard EN 50160 „Karakteristike napona u javnim elektrodistributivnim mrežama“
- [7] Distribuirani energetske resursi  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed\\_generation](https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_generation)
- [8] „Pravilnik o uslovima za priključenje elektrana na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske“
- [9] MH „Elektroprivreda Republike Srpske“ Matično preduzeće a.d. Trebinje
- [10] MI (Metrel) 2292  
<http://blutel.net/products-page/loggers-snimaci-parametara-elektricnih-mreza/metrel-mi-2292-power-plus/>

### Kratka biografija:

**Oliver Krezović** je rođen u Pljevljima 1987. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektroenergetika – Distribuirani energetske resursi i pametne mreže odbranio je 2023. god.

**Dejan Jerkan** je vanredni profesor na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na Katedri za Energetsku elektroniku i pretvarače. Oblast interesovanja su mu modelovanje i dijagnostika električnih mašina, kao i metoda konačnih elemenata.