

# Usporedna analiza kriterijuma za priključenje kupaca-proizvođača na elektrodistributivnu mrežu propisanih kroz domaću i stranu regulativu

Doroteja Zarev, Milica Jevtić, Miloš Ječmenica, Nedžad Hadžiefendić, Jovan Trifunović

Katedra za energetske pretvarače i pogone  
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet  
Beograd, Srbija

[doroteja.zarev@etf.bg.ac.rs](mailto:doroteja.zarev@etf.bg.ac.rs), [m.jevtic@etf.bg.ac.rs](mailto:m.jevtic@etf.bg.ac.rs), [jecmenica@etf.bg.ac.rs](mailto:jecmenica@etf.bg.ac.rs), [nedzad@etf.bg.ac.rs](mailto:nedzad@etf.bg.ac.rs), [jovan.trifunovic@etf.bg.ac.rs](mailto:jovan.trifunovic@etf.bg.ac.rs)

**Sažetak**—U radu je dat pregled najvažnijih kriterijuma za priključenje kupaca-proizvođača na elektrodistributivnu mrežu koji su propisani od strane Operatora distributivnog sistema u Republici Srbiji kroz dokument „Pravila o radu distributivnog sistema“, sa jedne strane, kao i kriterijuma koje propisuje nemački VDE standard, sa druge strane. Dat je pregled njihovih sličnosti i razlika, kao i rezultati proračuna prema navedenim kriterijumima za konkretan primer priključenja tipičnog kupca-proizvođača na mrežu. Cilj sprovedene analize jeste poređenje kriterijuma propisanih kroz dve različite regulative i donošenje zaključaka o njihovoj rigoroznosti u određenim situacijama u praksi. Dobijeni rezultati predstavljaju dobar temelj za dalja istraživanja i potencijalno unapređenje i pojednostavljenje propisane procedure u slučaju zahteva za priključenje kupaca-proizvođača.

**Ključne reči:** kupac-proizvođač; elektrodistributivna mreža; kriterijumi za priključenje; Pravila o radu distributivnog sistema; VDE standard

## I. UVOD

Svaki objekat priključen na elektrodistributivni sistem (EDS), bilo da je proizvođač, potrošač, ili i jedno i drugo, (npr. domaćinstva sa instaliranom fotonaponskom (PV od eng. *photovoltaic*) elektranom) ima uticaj na parametre elektrodistributivne mreže. Iz tog razloga je potrebno sagledati na koji će način novopriključeni objekat na EDS doprineti promeni veličina, koje su od interesa u pogledu stabilnosti, dimenzionisanja opreme, kvaliteta električne energije i slično. Režim rada kupca-proizvođača (eng. *prosumer*) podrazumeva paralelan rad sa elektrodistributivnim sistemom, gde se deo električne energije predaje elektrodistributivnom sistemu, a deo koristi za napajanje sopstvenih potreba. U ovom radu je izvršena usporedna analiza kriterijuma za priključenje kupaca-proizvođača na mrežu, koji su propisani od strane Operatora distributivnog sistema (ODS) kroz dokument „Pravila o radu distributivnog sistema“ [1] (u Republici Srbiji) i VDE standarda [2] i [3] (u Nemačkoj). Prikazani su i rezultati proračuna za primer priključenja kupca-proizvođača na mrežu, dobijeni korišćenjem obe regulative. Značaj ove

analize jeste u tome što se mogu doneti zaključci u kojim situacijama koja od regulativa propisuje rigoroznije kriterijume, kao i u dobijanju smernica za dalja istraživanja u cilju unapređenja i pojednostavljenja postojeće zakonske regulative u ovoj oblasti.

## II. KRITERIJUMI ZA PRIKLJUČENJE KUPACA-PROIZVOĐAČA NA ELEKTRODISTRIBUTIVNU MREŽU

Kako bi operator mreže bio siguran da će i nakon priključenja kupca-proizvođača na elektrodistributivnu mrežu biti održana stabilnost iste, naponi u dozvoljenim granicama, a kvalitet isporuke električne energije ostalim korisnicima u mreži zagarantovan, novopriključeni kupci-proizvođači moraju ispuniti određene kriterijume koje operator mreže proverava prilikom razmatranja pojedinačnih zahteva za priključenje. U nastavku su uporedno prikazani kriterijumi propisani kroz [1]–[3], a to su:

- A – kriterijum snage kratkog spoja,
- B – kriterijum maksimalno dozvoljene snage generatora u odnosu na snagu kratkog spoja,
- C – kriterijum dozvoljenih vrednosti napona u stacionarnom stanju,
- D – kriterijum dozvoljenog strujnog opterećenja,
- E – kriterijum dozvoljenih struja viših harmonika i interharmonika, i
- F – kriterijum flikera.

### A. Kriterijum snage kratkog spoja

#### A.1. Pravila o radu distributivnog sistema [1]

Kriterijumom snage kratkog spoja proverava se ukupna vrednost jačine struje (snage) trofaznog kratkog spoja na mestu priključenja kupca-proizvođača. Vrednost ove jačine struje (snage) ne sme preći maksimalne dozvoljene vrednosti za koje je dimenzionisana oprema u EDS-u. Tipizirane vrednosti maksimalnih dozvoljenih jačina struja (snaga) trofaznih simetričnih struja (snaga) kratkih spojeva su sledeće:

- mreža 0,4 kV: 26 kA (18 MVA) za kablovske mreže i 16 kA (11 MVA) za nadzemne mreže,
- mreža 10 kV: 14,5 kA (250 MVA),
- mreža 20 kV: 14,5 kA (500 MVA),
- mreža 35 kV: 12 kA (750 MVA), i
- mreža 110 kV: 26,5 kA (5000 MVA).

Prema [1], snaga trofaznog kratkog spoja ( $S_{ks}$ ) se računa na sledeći način:

$$I_k = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (1)$$

$$S_{ks} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k \quad (2)$$

- $I_k$  – struja kratkog spoja,  
 $c$  – koeficijent koji uvažava najnepovoljniji slučaj u pogledu napona, odnosno uzima se da je u trenutku nastanka kvara napon jednak maksimalnom radnom naponu, koji je 10% veći od nominalnog, te zato uzima vrednost od 1,1,  
 $U_n$  – nominalni napon, 0,4 kV za niskonaponsku (NN) mrežu,  
 $Z_k$  – impedansa petlje kvara, i  
 $S_{ks}$  – snaga trofaznog kratkog spoja.

Trofazni kratak spoj se razmatra u proračunima, jer ova vrsta kvara daje najveće vrednosti struje kratkog spoja koje su od interesa za dimenzionisanje opreme (u slučaju dvofaznih i jednofaznih kratkih spojeva se javljaju manje struje kvara koje neće ugroziti opremu ukoliko je ona dimenzionisana da podnese struje koje se javljaju pri trofaznom kratkom spoju).

#### A.2. VDE standard [2]

Prema [2], snaga trofaznog kratkog spoja se računa kao:

$$S_{ks} = \frac{U_n^2}{Z_k} \quad (3)$$

gde je značenje parametara isto kao za jednačine (1) i (2).

Iz načina na koji se računa snaga trofaznog kratkog spoja, može se zaključiti da će se u slučaju iste tačke nastanka kvara, dobiti manja vrednost snage trofaznog kratkog spoja prema [2], nego prema [1]. Razlog tome jeste što [1] nalaže da se proračun radi sa maksimalnim radnim naponom, dok [2] nalaže da se proračuni rade sa nominalnim naponom za tačku mreže u kojoj se desio kvar. Prema tome, VDE standard ostaje na strani sigurnosti, jer daje manju vrednost snage kratkog spoja, koja je od interesa za razmatranje kriterijuma maksimalno dozvoljene snage generatora u odnosu na snagu kratkog spoja, koji je direktno povezan sa dinamičkom stabilnošću mreže i napona napajanja.

### B. Kriterijum maksimalno dozvoljene snage generatora u odnosu na snagu kratkog spoja

#### B.1. Pravila o radu distributivnog sistema [1]

Da bi se održala dinamička stabilnost mreže i napona, postoje zahtevi u pogledu minimalne snage trofaznog kratkog spoja u delovima mreže koja je pokazatelj „jačine“ mreže. Što je mreža „jača“ u nekoj tački, snaga trofaznog kratkog spoja je veća, što implicira da se u tom delu mreže mogu priključiti proizvođači/potrošači, u zavisnosti od njihove snage.

Prema [1], maksimalno dozvoljena prividna snaga PV elektrane ( $S_{ngm}$  u MVA), računa se na sledeći način:

$$S_{ngm} = \frac{S_{ks}}{50 \cdot k}, \text{ za slučaj priključenja elektrane na srednji napon} \quad (4)$$

$$S_{ngm} = \frac{S_{ks}}{33,3 \cdot k}, \text{ za slučaj priključenja elektrane na niski napon} \quad (5)$$

- $S_{ks}$  – snaga trofaznog kratkog spoja u tački priključenja na EDS bez uticaja razmatrane elektrane (u MVA), i  
 $k$  – količnik polazne (struje uključenja) i nazivne struje generatora. Ukoliko  $k$  nije dato, odnosno ukoliko nije data polazna struja na osnovu koje se  $k$  izračunava, za jednosmerne generatore koji su na mrežu priključeni preko invertora, uzima se vrednost  $k=1$ .

#### B.2. VDE standard [2]

Za kriterijum maksimalno dozvoljene snage generatora u odnosu na snagu kratkog spoja, VDE standard propisuje sledeće zahteve:

1. da snaga kratkog spoja na niskonaponskim sabirnicama lokalnog distributivnog transformatora srednjeg na niski napon bude minimum 10 puta veća od sume prividnih snaga svih jedinica za proizvodnju električne energije koje su povezane na tu niskonaponsku mrežu:

$$S_{ks \text{ NN sabirnice}} \geq 10 \cdot \Sigma S_{pv \text{ NN}} \quad (6)$$

- $S_{ks \text{ NN sabirnice}}$  – snaga lokalnog distributivnog transformatora srednjeg na niski napon, i  
 $\Sigma S_{pv \text{ NN}}$  – suma snaga svih jedinica za proizvodnju električne energije koje su povezane na posmatranu niskonaponsku mrežu;

2. da snaga kratkog spoja u tački priključenja jedinice za proizvodnju električne energije (PV elektrane u ovom slučaju) bude minimum 10 puta veća od sume prividnih snaga svih jedinica za proizvodnju električne energije čije se priključenje vrši u toj tački i „nizvodno“ od nje:

$$S_{ks \text{ u tački priključenja}} \geq 10 \cdot \Sigma S_{pv} \quad (7)$$

- $S_{ks \text{ u tački priključenja}}$  – snaga kratkog spoja u tački priključenja jedinice za proizvodnju električne energije, i  
 $\Sigma S_{pv}$  – suma prividnih snaga jedinica za proizvodnju električne energije čije se priključenje vrši u posmatranoj tački i „nizvodno“ od nje.

### C. Kriterijum dozvoljenih vrednosti napona u stacionarnom stanju

#### C.1. Pravila o radu distributivnog sistema [1]

Kriterijumom dozvoljenih vrednosti napona u stacionarnom stanju se proverava da li su, u okviru normalnog pogona, vrednosti napona u bilo kojoj tački EDS-a u dopuštenim granicama koje su definisane uslovima isporuke i snabdevanja električnom energijom. Za proveru tog kriterijuma potrebno je izvršiti proračune tokova snaga za minimalno i maksimalno opterećenje EDS-a.

Zahteva se da se pri uključenju generatora, napon na mestu priključenja, ne uzimajući u obzir uticaj ostalih generatora u posmatranom delu mreže, ne promeni više od 2% za srednji napon i više od 3% za niski napon.

Kada su u pitanju ostale tačke EDS-a, zahteva se da promena napona u bilo kojoj tački EDS-a ne prelazi vrednost od 5% (za niski i srednji napon napajanja), uvažavajući uticaj svih elektrana koje su priključene na razmatrani deo EDS-a.

Ukoliko postoji više od jedne elektrane, ukupna vrednost promene napona se izračunava sumiranjem vrednosti izračunatih za svaku elektranu.

Za proveru kriterijuma dozvoljene vrednosti napona u stacionarnom stanju, mogu se koristiti sledeći izrazi:

$$\Delta u_m = \frac{S_E \cdot (R_k \cdot \cos |\varphi| - X_k \cdot \sin |\varphi|)}{U_n^2} \quad (8)$$

za režim u kojem elektranu troši reaktivnu snagu iz mreže (potpobuđeni režim),

$$\Delta u_m = \frac{S_E \cdot (R_k \cdot \cos |\varphi| + X_k \cdot \sin |\varphi|)}{U_n^2} \quad (9)$$

za režim u kojem elektranu predaje reaktivnu snagu mreži (natpobuđeni režim), pri čemu je:

$\Delta u_m$  – promena napona koju jedna elektranu izaziva u nekoj tački EDS-a,

$S_E$  – prividna snaga elektrane u [MVA],

$R_k$  – ekvivalentna otpornost distributivne mreže od tačke u kojoj se reguliše napon (kruta tačka, sa konstantnim naponom), do posmatrane tačke u [ $\Omega$ ],

$X_k$  – ekvivalentna reaktansa distributivne mreže od tačke u kojoj se reguliše napon (kruta tačka, sa konstantnim naponom), do posmatrane tačke u [ $\Omega$ ],

$\varphi$  – fazni ugao napona i struje elektrane, u [ $^\circ$ ], i

$U_n$  – nazivni napon mreže u razmatranoj tački EDS-a, u [kV].

Prilikom proračuna tokova snaga i naponskih prilika, usvaja se da je  $\cos \varphi = 0,95$ , za režim u kojem elektranu injektira snagu u mrežu (natpobuđeni režim). Za minimalno opterećenje EDS-a može se usvojiti da elektranu radi sa  $\cos \varphi = 1$ .

#### C.2. VDE standard [2],[3]

Za neometan rad mreže, napon u tački priključenja nove PV elektrane na NN mrežu, u stacionarnom režimu, uvažavajući postojeće elektrane priključene na NN mrežu razmatranog dela EDS-a, ne sme da se promeni više od 3% u

odnosu na napon koji je u toj tački postojao pre priključenja elektrane. Za srednjonaponsku (SN) mrežu, maksimalna promena napona ne sme preći 2%.

Kriterijum se može proveriti na osnovu sledeće formule:

$$\Delta u_m = \frac{S_E \cdot (R_k \cdot \cos |\varphi| - X_k \cdot \sin |\varphi|)}{U_n^2} \quad (10)$$

pri čemu veličine koje figurišu u formuli imaju isto značenje kao i kod [1] (prikazano iznad).

Pri proveru ovog kriterijuma se prema VDE standardu ne uzima u obzir opterećenje mreže, a proračuni se vrše za  $\cos \varphi = 0,9$  induktivno.

Detaljna analiza kriterijuma dozvoljenih vrednosti napona u stacionarnom stanju prikazana je u [4].

### D. Kriterijum dozvoljenog strujnog opterećenja

#### D.1. Pravila o radu distributivnog sistema [1]

Pri planiranju integracije novih PV elektrana u elektroenergetski sistem, treba proveriti da li su kapaciteti postojeće opreme zadovoljavajući i u stanju da podnesu integraciju novih PV elektrana. Ukoliko postojeći elementi i kapaciteti elektroenergetskog sistema nisu dovoljni da podrže rastuću potrošnju, a samim tim i proizvodnju električne energije, sistem se mora proširiti. Prilikom planiranja razvoja elektrodistributivne mreže, mora se uzeti u obzir postojanje PV elektrana, koje, kao pojedinačne, nemaju veliki uticaj na mrežu, ali zbirno, njihov uticaj može biti značajan.

Za proveru ovog kriterijuma se uzima da je maksimalna vrednost struje koju PV elektranu injektira u mrežu ( $I_{Amax}$ ), jednaka:

$$I_{Amax} = n \cdot (1,5 \cdot I_n) \quad (11)$$

$I_n$  – nominalna struja invertora, i

$n$  – broj identičnih PV elektrana koje se u istoj tački priključuju na mrežu.

#### D.2. VDE standard [2]

U zavisnosti od režima rada jedinica za proizvodnju električne energije, može se dogoditi porast opterećenja vodova, transformatora i ostale elektroenergetske opreme. Iz tog razloga, operator sistema treba da proveriti prenosnu moć elemenata mreže, uzimajući u obzir i postojanje PV elektrana. Za proračune opterećenja se u slučaju PV elektrana uvažava faktor opterećenja (koji predstavlja količnik srednjeg i maksimalnog opterećenja u nekom periodu) i njegova vrednost je  $m = 0,7$ .

Pri proračunima se uzima da je maksimalna struja koju jedna PV elektranu povezana na NN mrežu injektira ( $I_{Amax}$ ), jednaka:

$$I_{Amax} = \frac{S_{Amax}}{\sqrt{3} \cdot 400V} \quad (12)$$

$S_{Amax}$  – maksimalna prividna snaga koju PV elektranu injektira u mrežu.

## E. Kriterijum dozvoljenih struja viših harmonika i interharmonika

### E.1. Pravila o radu distributivnog sistema [1]

Kriterijumom dozvoljenih struja viših harmonika i interharmonika (harmonici koji se javljaju na učestanosti koja nije celobrojni umnožak osnovne učestanosti) je propisana maksimalna vrednost struje određenog višeg harmonika ili interharmonika koju PV elektrana sme da injektira u mrežu. Ovaj kriterijum se proverava merenjem struje koju PV elektrana injektira u mrežu i od interesa je kada je ona u pogonu. Kriterijum se proverava pomoću sledećeg izraza:

$$I_{vhg} \leq I_{vhdoz} = I_{vhs\ v,\mu} \cdot S_{ks} \quad (13)$$

gde je:

$I_{vhg}$  – stvarna vrednost struje višeg harmonika/interharmonika koju generator injektira u EDS, svedena na mesto priključenja, u [A],

$I_{vhdoz}$  – dozvoljena vrednost struje višeg harmonika/interharmonika na mestu priključenja, u [A],

$I_{vhs\ v,\mu}$  – dozvoljena vrednost struje višeg harmonika/interharmonika svedena na jediničnu snagu kratkog spoja na mestu priključenja na EDS, u [A/MVA], i

$S_{ks}$  – snaga trofaznog kratkog spoja sa priključenom elektranom.

Ukoliko je nekoliko generatora ili elektrana priključeno u istoj tački, koristi se sledeća formula:

$$I_{vhg} \leq I_{vhdoz} = I_{vhs\ v,\mu} \cdot S_{ks} \cdot \frac{S_{ng}}{S_{sum}} \quad (14)$$

$S_{ng}$  – prividna snaga razmatranog generatora na mestu priključenja, i

$S_{sum}$  – zbir prividnih snaga svih generatora na mestu priključenja.

Vrednosti  $I_{vhs\ v,\mu}$  su date tabelarno za različite naponske nivoe i redove harmonika i mogu se naći u [1]. Ukoliko kriterijum nije zadovoljen, potrebno je ugraditi filter za smanjenje viših harmonika elektrane.

### E.2. VDE standard [3]

Provera ovog kriterijuma se ni prema [3] ne vrši u toku razmatranja zahteva za priključenje PV elektrane na mrežu, već je potrebno izvršiti merenja kada se elektrana poveže na mrežu i na taj način utvrditi kolike su vrednosti struja viših harmonika koje se injektiraju u EDS.

U cilju određivanja maksimalno dozvoljenih vrednosti viših harmonika u talasnom obliku struje, može se koristiti sledeća formula (za parne i neparne harmonike):

$$I_{vdoz} = \frac{P_v}{1000} \frac{1}{k_v} \frac{1}{\sqrt{(k_B + k_E + k_S)}} \cdot \sqrt{\frac{S_{ks}}{S_A}} \cdot I_A \quad (15)$$

gde je:

$I_{vdoz}$  – dozvoljena struja harmonika reda  $v$ ,

$P_v$  – faktor proporcionalnosti za parne i neparne harmonike reda  $v$ ,

$S_{ks}$  – prividna snaga kratkog spoja u tački povezivanja,

$I_A$  – struja sistema kupca-proizvođača proračunata na osnovu snage priključka,

$S_A$  – prividna snaga priključka PV elektrane kupca-proizvođača,

$k_v$  – faktor rezonanse za harmonik reda  $v$ ,

$k_B$  – deo snage distributivnog transformatora koji se odnosi na sopstvenu potrošnju električne energije,

$k_E$  – deo snage distributivnog transformatora koji se odnosi na proizvodnju električne energije od strane PV elektrane, i

$k_S$  – deo snage distributivnog transformatora koji se odnosi na skladištenje električne energije.

Koeficijenti proporcionalnosti na osnovu kojih se dobijaju dozvoljene struje viših harmonika prikazani su tabelarno u [3].

Relacije za izračunavanje dozvoljenih struja interharmonika i superharmonika (viših harmonika na prekidačkim učestanostima koji se javljaju kao posledica priključenja PV elektrane na mrežu preko invertora), kao i neophodni koeficijenti, mogu se pronaći u [3] i [5].

Vrednosti struje viših harmonika, interharmonika i superharmonika koju PV elektrane injektiraju u mrežu, moraju biti manje od dozvoljenih – u suprotnom je potrebno ugraditi filtere u cilju njihovog smanjenja.

## F. Kriterijum flikera

Fluktuacije napona (flikeri) su periodične varijacije envelope napona ili serija nasumičnih promena napona, pri čemu se amplituda nalazi između vrednosti od 0,9 relativnih jedinica (r.j.) i 1,1 r.j. Frekvencijski opseg flikera se nalazi između 0 Hz i 25 Hz (za 50 Hz sistem napajanja). Naziv ove pojave potiče od uticaja fluktuacije napona na izvore svetlosti, što ljudsko oko primećuje kao treperenje.

### F.1. Pravila o radu distributivnog sistema [1]

Prema [1], elektrana sa  $n$  generatora ukupne prividne snage  $S_E$  može da se priključi na EDS, ukoliko je ispunjen uslov:

$$A_{lt} = (C_{fE} \cdot \frac{S_E}{S_{ks}})^3 = (\frac{C_{fg}}{\sqrt{n}} \cdot \frac{S_E}{S_{ks}})^3 \leq 0,1 \quad (16)$$

$A_{lt}$  – dugotrajni faktor smetnji elektrane,

$C_{fE}$  – koeficijent flikera elektrane (dobija se od proizvođača invertora),

$C_{fg}$  – koeficijent flikera generatora (dobija se od proizvođača invertora), i

$S_{ks}$  – prividna snaga trofaznog kratkog spoja sa priključenom elektranom.

Koeficijent flikera označava osobinu elektrane da proizvodi flikere. Kod PV elektrana obavezan je atest kojim se dokazuje da elektrana zadovoljava kriterijum flikera.

Kriterijum flikera je zadovoljen ako je koeficijent flikera generatora  $C_{fg} \leq 20$ .

### F.2. VDE standard [3]

Prema ovom standardu, dozvoljene neželjene emisije flikera pojedinačnih instalacija korisnika koji su deo srednjonaponske mreže, mogu se dobiti pomoću sledeće formule:

$$P_{sti} = 0,8 \cdot \frac{1}{\sqrt{k_B + k_E + k_S}} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_{rt}}} \cdot \sqrt{\frac{1}{g}} \quad (17)$$

$$P_{lti} = 0,65 \cdot P_{sti} \quad (18)$$

$S_{rT}$  – naznačena prividna snaga distributivnog transformatora,

$S_A$  – prividna snaga priključka PV elektrane kupca-proizvođača, i

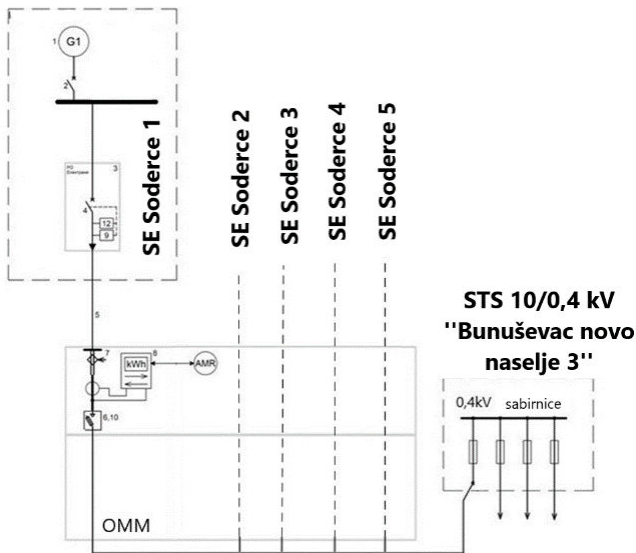
$g$  – faktor jednovremenosti susednih izvora flikera, za PV elektrane iznosi 0,9.

Koeficijenti  $k_B$ ,  $k_E$  i  $k_S$  imaju isto značenje kao u delu gde je objašnjen kriterijum viših harmonika i interharmonika.

Maksimalna dozvoljena neželjena emisija flikera jedne instalacije iznosi  $P_{sti} = 0,75$  ili  $P_{lti} = 0,5$ .

### III. PRIMER PRIKLJUČENJA PV ELEKTRANE NA ELEKTRODISTRIBUTIVNU MREŽU

U ovom delu će biti analiziran primer realne PV elektrane priključene na EDS, dobijen od „EPS Distribucija“ d.o.o. Beograd [6]. Radi se o elektrani SE Soderce 1, nazivne snage 30 kW, koja se priključuje na elektrodistributivnu mrežu, na način prikazan na Sl. 1. Pored te elektrane, priključuju se još 4 identične PV elektrane (SE Soderce 2–5), čiji će se uticaj uzeti u obzir u proračunima koji to zahtevaju.



Slika 1. Priklučenje SE Soderce 1 na mrežu [6]

TABELA I.

REZULTATI PRORAČUNA [7]

| Rezultati proračuna za priključenje elektrane SE Soderce 1 prema proceduri iz Pravila o radu distributivnog sistema i prema proceduri iz VDE standarda  |  |                                    |
|---|--|------------------------------------|
| Kriterijum iz poglavlja II  | 1. Pravila o radu distributivnog sistema [1]   | 2. VDE standard [2],[3]            |
| <b>A</b> Snaga kratkog spoja u tački priključenja   | 6,43 MVA   | 5,82 MVA                           |
| <b>B</b> Maksimalna snaga PV elektrane koja može da se priključi na mrežu   | 129 kVA  | 582 kVA                            |
| <b>C</b> Kriterijum maksimalnog odstupanja napona u tački priključenja u stacionarnom režimu, uzimajući u obzir samo elektranu koja se u toj tački priključuje  | 0,33% < 3%<br>(bez opterećenja)<br>0,26% < 3%<br>(sa opterećenjem)                         | ne proverava se u okviru procedure |
| <b>C</b> Kriterijum maksimalnog odstupanja napona u tački priključenja, kao I u bilo kojoj drugoj tački EDS-a, u stacionarnom režimu, uzimajući u obzir sve elektrane priključene na razmatrani deo EDS | za kapacitivni režim<br>1,65% < 5%<br>(bez opterećenja)<br>0,86% < 5%<br>(sa opterećenjem) | za induktivni režim<br>-0,35%      |
| <b>D</b> Maksimalna struja koja se injektira u mrežu  | 75 A   | 48,1 A                             |

Proračuni su izvršeni prema proceduri iz [1], kao i prema proceduri iz [2] i [3]. Dobijeni rezultati su prikazani u Tabeli I [7].

Prema rezultatima proračuna, kada je u pitanju prvi kriterijum, iz razloga koji su objašnjeni ranije u tekstu, u proceduri iz [1] se dobijaju veće vrednosti snage trofaznog kratkog spoja. Može se smatrati da je [2] na strani sigurnosti kada se radi o ovom kriterijumu.

Maksimalna snaga PV elektrane koja može da se priključi na mrežu je znatno manja kada se računa prema proceduri iz [1], nego kada se računa prema proceduri iz [2]. Ne može se jednoznačno reći da je procedura iz jednog dokumenta rigoroznija od procedure iz drugog. Naime, [1] dozvoljava manju snagu priključenja, ali se proračuni vrše samo za tačku priključenja PV elektrane, ne vodeći računa o tome šta se dešava „nizvodno“ od tačke priključenja. Sa druge strane, [2] uzima u obzir sve generatore priključene u posmatranoj tački i „nizvodno“ od nje. Ukoliko „nizvodno“ nemamo priključene druge generatore, kriterijum iz [1] je rigorozniji od onog u okviru [2], ali ukoliko postoji još PV elektrana ili drugih jedinica za proizvodnju električne energije „nizvodno“ od tačke priključenja, [1] ostaje na strani sigurnosti, time što dozvoljava manju snagu priključenja u razmatranoj tački.

Kada su u pitanju razlike između procedura za proračune odstupanja napona u stacionarnom režimu, propisane kroz [1] i [2], [2] pri proračunima ne uzima u obzir opterećenje u mreži i rigorozniji je u pogledu dozvoljenih granica (posmatra se uticaj svih elektrana u delu mreže od interesa na promenu napona u tački priključenja nove PV elektrane, dok se prema [1] razmatra samo uticaj one elektrane koja se

priključuje). Sa druge strane, [2] kao relevantan slučaj uzima induktivni režim rada (režim kada PV elektrana preuzima reaktivnu snagu iz mreže), dok [1] kao kritičan slučaj uzima kapacitivni režim rada (režim kada PV elektrana injektira reaktivnu snagu u mrežu), pa se sa te tačke gledišta mogu dobiti veće vrednosti promene napona primenom procedure iz [1].

Proračunima maksimalne struje koja se injektira u mrežu se u svim slučajevima dobija veća vrednost prema proceduri iz [1], nego prema proceduri [2].

Provera kriterijuma viših harmonika i interharmonika, kao ni kriterijum flikera, nisu razmatrani u okviru primera priključenja kupca-proizvođača analiziranog u ovom radu, jer su posmatrani samo uslovi za priključenje elektrane na mrežu, a to su provere koje se vrše nakon priključenja i puštanja elektrane u rad. Kod PV elektrana obavezan je atest kojim se dokazuje da elektrana zadovoljava kriterijum flikera, dok se za proveru kriterijuma dozvoljenih viših harmonika i interharmonika moraju izvršiti merenja kako bi se utvrdilo da li su struje viših harmonika koje PV elektrana injektira u mrežu manje od dozvoljenih.

#### IV. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj rad prikazani su kriterijumi koje kupci-proizvođači treba da zadovolje da bi njihov zahtev za priključenje elektrane na mrežu bio odobren od strane ODS-a. Za konkretan primer priključenja kupca-proizvođača sprovedene su analize propisane kroz domaću i stranu regulativu. Procedure za proračun su vršene prema [1]–[3].

Može se zaključiti da [1] propisuje rigoroznije kriterijume u odnosu na [2] i da bi jedan kupac-proizvođač pre ispunio uslove propisane kroz [2], nego kroz [1]. Sa druge strane, u praksi postoji i određeni broj situacija u kojima je suprotno. Kako bi se procedura priključenja kupca-proizvođača na mrežu pojednostavila i kako pojedini zahtevi ne bi bili potencijalno neopravdano odbijeni, treba razmotriti primenu nekih procedura iz VDE standarda (ukoliko stanje i kapaciteti elektroenergetskog sistema Republike Srbije to dozvoljavaju) i na zahteve koji se podnose Elektrodistribuciji Srbije.

#### ZAHVALNICA

Rad prikazuje delove Poglavlja 6 Studije integracije kupca-proizvođača u elektrodistributivni sistem Republike Srbije [7], koju je Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu izradio za potrebe korisnika EDS – Elektrodistribucija d.o.o. Beograd, naručioca GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH, a koji je finansiralo nemačko Savezno ministarstvo za ekonomsku saradnju i razvoj. Objavljivanje ovog rada je finansijski podržalo i Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije pod brojem ugovora: 451-03-47/2023-01/200103.

#### LITERATURA

- [1] Pravila o radu distributivnog sistema "EPS Distribucija", d.o.o. Beograd, jul 2017.

- [2] VDE-AR-N 4105:2018-11: Generators connected to the low-voltage distribution network – Technical requirements for the connection to and parallel operation with low-voltage distribution networks
- [3] VDE-AR-N 4110:2018-11: Technical requirements and operation of customer installations to the medium voltage network (TCR medium voltage)
- [4] D. Zarev, M. Jevtić, M. Ječmenica, N. Hadžiefendić, J. Trifunović „Uticaj opterećenja na promene napona u stacionarnom stanju izazvane priključenjem kupaca-proizvođača na elektrodistributivnu mrežu“, 23<sup>rd</sup> International Symposium INFOTEH-JAHORINA, 20-22 March 2024, prihvaćen za objavljivanje
- [5] VDE-0847-4-7:2019-03: Electromagnetic compatibility (EMC)
- [6] Анализа оптималних услова прикључења објекта за производњу електричне енергије за соларну електрану „Содерце 5“, „ЕПС Дистрибуција“ д.о.о. Београд, јун 2023.
- [7] Studija integracije kupca-proizvođača u distributivni sistem Republike Srbije, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2023.

#### ABSTRACT

This paper presents an overview of the most important criteria for the prosumer connection to the distribution network prescribed by Distribution System Operator in the Republic of Serbia through the document „*Distribution Grid Code*“, on one side, and the criteria prescribed by German VDE Standards, on the other side. Overview of their similarities and differences, as well as the calculation results according to the above mentioned criteria for the specific example of prosumer connection to the distribution network, are given. The aim of the conducted analysis is the comparison of the same criteria prescribed through the two mentioned regulations and making conclusions on their strictness in certain situations. The obtained results represent good foundation for further research and possible enhancement and simplification of the procedure prescribed through domestic regulations regarding prosumer connection requirements.

#### COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CRITERIA FOR PROSUMER CONNECTION TO THE DISTRIBUTION NETWORK PRESCRIBED THROUGH DOMESTIC AND INTERNATIONAL REGULATIONS

Doroteja Zarev, Milica Jevtić, Miloš Ječmenica, Nedžad Hadžiefendić, Jovan Trifunović