

## **UTICAJ VISOKOG NIVOVA PENETRACIJE VARIJABILNIH PV DISTRIBUIRANIH IZVORA NA NAPONSKE PRILIKE NISKONAPONSKE MREŽE**

J. GAJOVIĆ, EPCG, FC Distribucija, Crna Gora  
S. MIJALLOVIĆ, EPCG, FC Distribucija, Crna Gora

### **UVOD**

Priključivanje fotonaponskih (PV) izvora na niskonaponsku (NN) mrežu sve je više zastupljeno. PV izvori (ili PV sistemi) su pripadnici obnovljivih izvora energije, komercijalni su i pristupačni za privatno vlasništvo. Mogu doprinijeti smanjenju potreba za fosilnim gorivima i očuvanju životne sredine, kao i povećanju sigurnosti snabdijevanja. Stoga, jasan je javni interes za subvencionisanje PV proizvodnje.

Operatori distributivnog sistema prihvataju onoliko energije koliko je moguće proizvesti iz obnovljivih izvora, bez obzira na to da li su oni u javnom ili privatnom vlasništvu. Oslanjanje na obnovljive izvore se smanjuje jedino u slučaju ograničenja dostupnosti prenosa ili iz razloga pouzdanosti. PV izvore karakteriše nemogućnost precizne kontrolabilnosti od strane operatora distributivnog sistema, ali njihova proizvodnja je prihvaćena kao proizvodnja, koja ima niske troškove i koja se mora pokrenuti i prihvatiti. Priključivanjem PV izvora na mrežu, njihovi vlasnici imaju mogućnost da obezbijede sopstvenu, besplatnu proizvodnju električne energije i tako smanje potrebu za kupovinom energije od snabdjevača. Osim toga, višak energije koju PV izvor proizvede u odnosu na potrebe domaćinstva, biće otkupljen od vlasnika izvora i plasiran u mrežu.

PV sistem je statički izvor električne energije, koji je, za razliku od elektrana zasnovanih na tradicionalnim sinhronim mašinama, zasnovan na pretvaračkoj tehnologiji. Najvažnije sastavne komponente PV sistema su solarni modul i inverter. Za optimalni plasman proizvedene aktivne snage iz solarnog modula zadužen je inverter. Inverter funkcioniše kao statička komponenta sa jediničnim faktorom snage, iako ima mogućnost da promjenom faktora snage obezbijedi doprinos reaktivne snage i samim tim pruži podršku napona. Važeći standardi ne dozvoljavaju regulisanje napona reaktivnom snagom iz PV sistema (1) (2) (3).

Za PV izvore je tipično da su varijabilni, rade samo tokom dana, a maksimalnu proizvodnju ostvaruju oko podneva. U slučaju prolazne oblačnosti, može doći do brzih promjena snage koju izvor predaje mreži, tj. da u kratkom

vremenskom intervalu snaga izvora mijenja vrijednost u rasponu od maksimalne vrijednosti do nule. Promjene injektirane snage iz PV izvora, prate promjene napona, koje su umjerene sve dok je nivo proizvodnje mali. Međutim, povećanje udjela energije iz PV izvora, koji se priključuju kod potrošača, može izazvati značajne promjene u naponskim prilikama NN mreže.

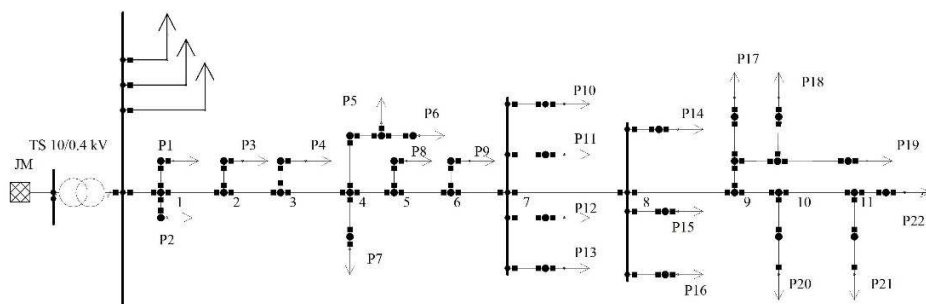
Niskonaponska mreža je pasivnog karaktera. Naponski profil, koji je tipičan za NN mreže je takav da je na 0.4 kV sabirnicama TS vrijednost napona najveća, a opada duž izvoda do krajnjeg potrošača. Karakterišu je NN (0.4 kV) vodovi radijalnog tipa na koje se priključuju potrošači. NN vodovi imaju mali odnos reaktivnog i aktivnog otpora ( $X/R$ ). Obično je  $X \leq R$  ili  $X \ll R$ , što uslovljava da na naponske prilike značajno utiču tokovi i aktivnih i reaktivnih snaga, za razliku od prenosnih vodova gdje je  $X/R > 5$ , pa je dominantniji uticaj reaktivne energije. Pad napona od TS do krajnjeg potrošača, a usljed dužine vodova i opterećenja, predstavlja glavni problem, sa kojim se susreće takva mreža. U periodu velikog opterećenja može doći do nedozvoljeno velikog pada napona. Priključivanjem PV izvora NN postaje aktivna, dolazi do promjena u tokovima snaga, a samim tim i do značajnih promjena u naponskim prilikama (4) (5) (6).

Rad je inspirisan uticajem porasta integracija PV sistema na naponske prilike NN mreže. U radu će biti predstavljen uticaj PV proizvodnje na naponske prilike u NN mreži, na realnom primjeru prigradskog trafo reona u Podgorici. Upotrebom simulacionog alata za EES, biće predstavljene mogućnosti PV proizvodnje u NN mreži u skladu sa granicama koje karakterišu normalan rad elektroenergetskog sistema. Rad će pokazati, kako PV izvori i promjene u PV proizvodnji, u zavisnosti od dimenzije i mjesta priključenja izvora utiču na naponske prilike NN mreže.

Osnovni cilj rada je da pokaže da PV izvor, može poboljšati naponske prilike NN mreže i kvalitet snabdijevanja. Analizom uticaja PV proizvodnje na naponske prilike i pronalaženjem optimalne strategije upravljanja PV sistemima u NN mreži, mogu se izbjeći negativne posljedice i omogućiti veća integracija i optimalno korišćenje PV izvora.

## ANALIZA UTICAJA PV PROIZVODNJE NA NAPONSKE PRILIKE NN MREŽE

Analiza uticaja injektiranja aktivne snage iz PV sistema na naponske prilike NN mreže, realizovana je na modelu prigradskog trafo reona trafostanice TS 10/0.4 kV, Ibričevina u Podgorici. Na slici 1. je prikazan posmatrani izvod trafo reona. Nominalna snaga transformatora je 400 kVA, a mrežu karakterišu vazdušni vodovi tipa SKS 4x70 i 4x35 mm<sup>2</sup> i potrošački priključci SKS 4x16 mm<sup>2</sup>. Posmatrani izvod je dugačak 700 m. Zahvaljujući raspoloživim mjernim podacima o energiji potrošača i zbirnog mjerenja u TS, određeno je srednje godišnje opterećenje za svakog potrošača. Konfiguracija posmatranog izvoda je realizovana uz pomoć simulacionog alata za EES, a u skladu sa potrebama analize stacionarnog stanja sistema, uz zanemarivanje nesimetrije. Na slici 1. su označeni potrošački čvorovi (P1 do P22), dok su glavni čvorovi duž izvoda označeni numerički od 1 do 12, od početka do kraja izvoda, respektivno.



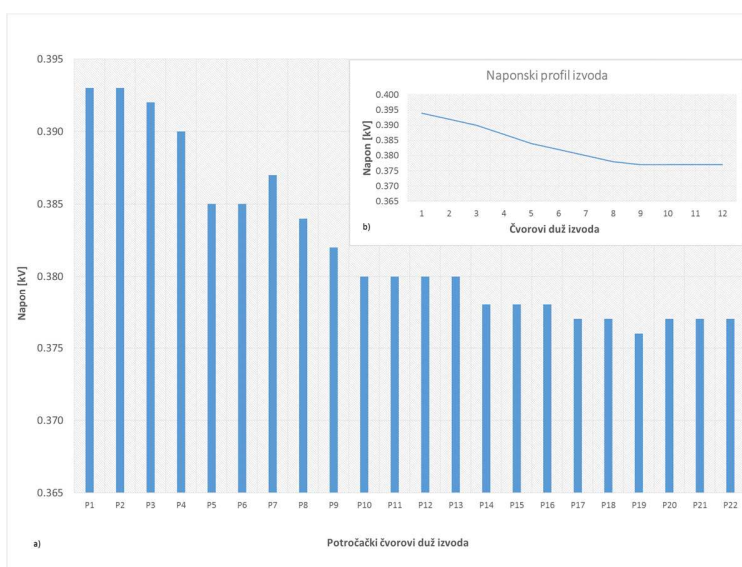
Slika 1. Posmatrani izvod trafo reona

Na slici 2.a) grafički su prikazane vrijednosti napona pri srednjem godišnjem opterećenju, u svakom potrošačkom čvoru. Može se primjetiti da napon ima najvišu vrijednost u čvorovima sa početka izvoda (P1 do P4), a najniži je u čvorovima sa kraja izvoda (P17 do P22). Vrijednost napona u čvoru determinišu pozicija čvora na izvodu i lokalno opterećenje čvora. Što je udaljenost čvora od napojne tačke (sabirnica TS) veća, veći je pad napona. U cilju

transparentnijeg prikaza pada napona duž izvoda, na slici 2.b). je prikazan naponski profil izvoda, koji prati glavnu liniju izvoda (1 - 12) a ne uključuje potrošačke čvorove osim posljednjeg, koji je ujedno i krajnji čvor izvoda.

Vrijednosti napona NN izvoda, pri srednjem godišnjem opterećenju, koje su prikazane na slici 2. polazna su osnova analize. Promjene prikazanih vrijednosti napona, izazvane priključenjem PV izvora i promjenom proizvodnje, biće praćene i upoređivane, kako bi se došlo do zaključka o uticaju PV proizvodnje na naponske prilike.

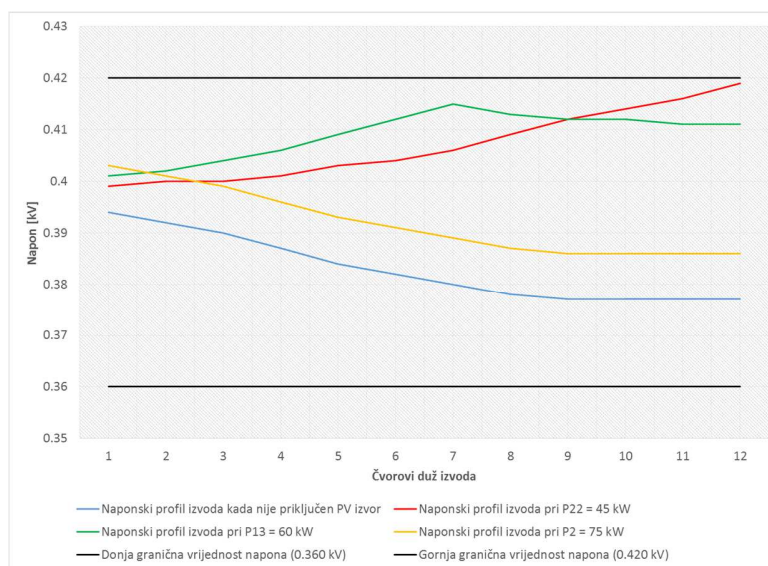
Za potrebe analize, na početku je PV izvor modelovan kao PQ čvor, koji injektira samo aktivnu snagu, dok je reaktivna snaga jednaka nuli ( $\cos \varphi = 1$ ). Analizom su uvažene dozvoljene vrijednosti promjene napona, koje su date Pravilima za funkcionisanje distributivnog sistema električne energije. Naime, dozvoljene vrijednosti napona NN (0,4 kV) mreže u stacionarnom stanju su u granicama od 360 V do 420 V. U prelaznom režimu odstupanje napona treba da ostane u granicama  $\leq 5\%$  od nominalne vrijednosti, uz saglasnost operatora distributivnog sistema (1). Analiza koja će biti prikazana, oslanja se na ograničenja u stacionarnom stanju, a promjene napona izazvane uticajem PV proizvodnje, predstavljene su u [kV] i u [%] u cilju transparentnijeg prikaza različitih scenarija priključenja PV izvora.



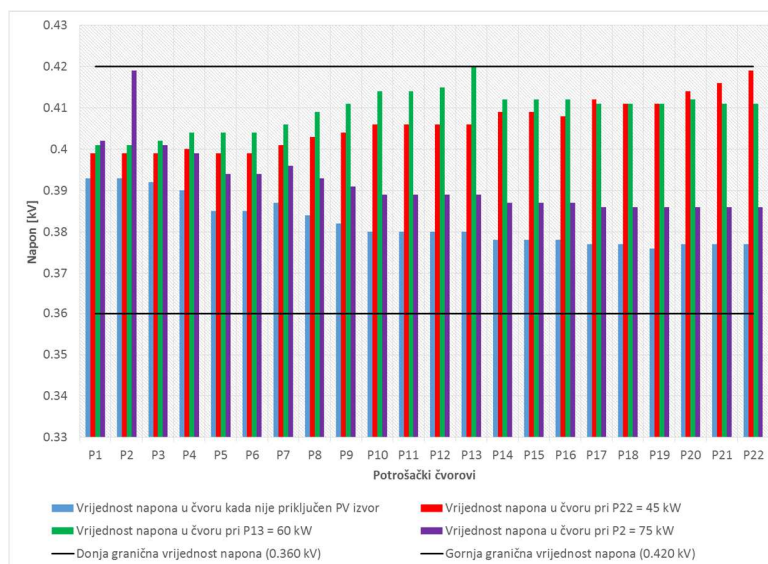
Slika 2. Vrijednosti napona [kV] pri srednjem godišnjem opterećenju a) u potrošačkim čvorovima tretiranog izvoda i b) prikaz naponskog profila tretiranog izvoda

Da bi se došlo do generalnog zaključka o mogućnostima priključivanja PV izvora u zavisnosti od pozicije na izvodu, PV izvor je priključivan u potrošačkom čvoru sa kraja izvoda (čvor P22), sa sredine (čvor P13) i sa početka izvoda (čvor P2). Provjeren je kolika je maksimalna snaga koja se može injektirati u čvoru, a da naponske prilike ne budu narušene. Na slici 3. grafički je prikazana promjena naponskog profila izazvana priključivanjem PV sistema u jednom od tri navedena potrošačka čvora, dok su na slici 4. prikazane promjene napona u svakom potrošačkom čvoru izvoda. Na grafičkim prikazima su označene granične vrijednosti napona. Sa slike 3. uočava se da će priključenje izvora u čvoru sa kraja izvoda najviše uticati na promjene naponskog profila, naročito u čvorovima bližim kraju izvoda, a što je čvor bliži početku izvoda, uticaj izvora na naponske prilike je manji. Maksimalna snaga koja može biti injektirana u čvoru P22 a da vrijednost napona u svim čvorovima izvoda ne prekorači dozvoljenu gornju granicu je 45 kW. Sa slike 4. je jasno da pri snazi od 45 kW injektiranoj u čvoru P22, vrijednost napona u čvoru priključenja izvora je približna gornjoj graničnoj vrijednosti. Rast napona je zabilježen u svakom potrošačkom čvoru, ali najviše u krajnjim čvorovima izvoda. U čvoru sa sredine izvoda, moguće je injektirati, maksimalno 60 kW. Iako je vrijednost snage izvora priključenog u čvoru P13, veća u odnosu na snagu injektiranu u čvoru P22, uticaj ovog izvora na naponski profil je blaži, kao što je prikazano na slici 4. 60 kW injektiranih u čvoru P13 izaziva da napon u čvoru priključenja dostigne graničnu vrijednost, pa je 60 kW, maksimalna snaga koja se može injektirati u tom čvoru. U čvoru sa početka izvoda - P2, moguće je injektirati 75 kW, a da napon u čvoru priključenja ne prekorači dozvoljenu vrijednost (slika 4.). Izvor priključen na početku izvoda najmanje utiče na promjenu naponskog profila. Zabilježen je ravnomjeran rast napona duž cijelog izvoda (slika 3.).

Lokalno opterećenje krajnjeg čvora je potrošač P22, a opterećenje čvora sa početka izvoda su svi potrošači iza njega gledano sa strane početka izvoda (sabirnica TS). Priključenjem izvora u krajnji čvor, zadovoljiće se potrebe potrošača P22, a preostala energija će proticati u suprotnom smjeru i uticati na nagli porast napona. Da bi izvor priključen na početku izvoda izazvao promjenu u smjeru toka energije, potrebno je da zadovolji potrebe svih potrošača iza njega, gledano od strane TS. U čvoru P2 je potrebno injektirati veću snagu, da bi se izazvale promjene u smjeru toka energije, tj. da bi energija tekla ka TS. Samim tim, blaže su promjene napona koje je izazvao izvor priključen na početku izvoda.



Slika 3. Promjena naponskog profila izvoda [kV] za situacije da je PV izvor priključen na početku, sredini ili kraju izvoda

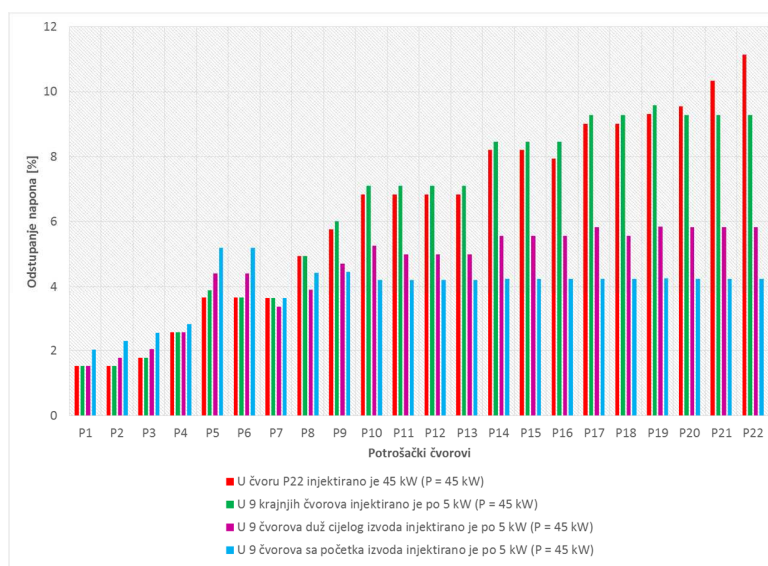


Slika 4. Promjena napona [kV] u potrošačkim čvorovima za situacije da je PV izvor priključen na početku, sredini ili kraju izvoda

Na slici 5. prikazano je odstupanje napona [%] u potrošačkim čvorovima, izazvano injektiranjem aktivne snage iz PV sistema, u odnosu na početnu vrijednost kada na izvodu nije priključen izvor (slika 2.b.), pri različitim situacijama priključivanja PV izvora. Praćene su promjene napona za situacije: kada je PV izvor snage 45 kW

priključen u čvoru P22, kada je ukupno 45 kW injektirano iz devet potrošačkih čvorova sa kraja izvoda (po 5 kW iz čvorova P14 – P22), kada je ukupno 45 kW injektirano iz devet potrošačkih čvorova duž cijelog izvoda, proizvoljno odabranih (P1, P3, P4, P5, P9, P10, P16, P17 i P22) i kada je ukupno 45 kW injektirano iz devet potrošačkih čvorova sa početka izvoda (P1 – P9).

Sa slike 5. je jasno da čvorovi bliži kraju izvoda trpe najveće promjene, za svaku situaciju. Upoređivanjem odstupanja napona za situaciju kada je ukupna snaga injektirana na kraju izvoda, sa situacijom kada je ista vrijednost snage preraspodijeljena u čvorovima duž cijelog izvoda, uočava se da su postignute bolje naponske prilike, naročito u čvorovima sa kraja izvoda. U čvoru P22, promjena napona je sa 11.1 % (pri 45 kW injektirano u P22), odnosno 9.3 % (pri 45 kW injektirano u 9 krajnjih čvorova), preraspodjelom proizvodnje smanjena na 5.8 % (pri 45 kW injektirano u 9 čvorova duž izvoda).



Slika 5. Upoređivanje promjene napona [%] izazvane injektiranjem aktivne snage iz PV sistema za različite situacije priključivanja izvora

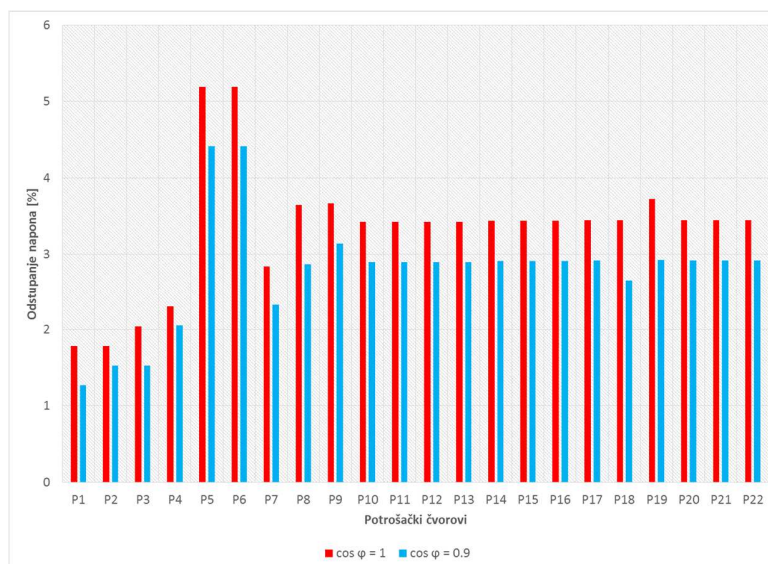
Prikaz odstupanja napona pri injektiranju maksimalne snage priključenih izvora, ujedno je i prikaz maksimalnih promjena napona u čvorovima, koje mogu biti izazvane varijacijom proizvodnje. Može se zaključiti da će varijacije u PV proizvodnji izvora priključenog na kraju izvoda, značajnije uticati na promjenu napona nego da je izvor priključen bliže početku izvoda. Pored toga, sa grafičkih prikaza je jasno da će više manjih izvora raspoređenih po izvodu, manje doprinijeti naponskim promjenama, nego da je ista količina snage injektirana u čvorovima sa kraja izvoda.

Nakon što je prikazano kako injektiranje aktivne snage, u zavisnosti od pozicije priključenja izvora, utiče na naponske prilike NN izvoda, analiza je usmjerena na mogućnost invertora da pruži doprinos reaktivne snage u cilju ublažavanja naponskih promjena. Razmotreno je koliko će promjena napona u potrošačkim čvorovima biti umanjena ako je faktor snage invertora  $\cos \varphi = 0.9$ . Režim rada invertora u sklopu PV sistema je kapacitivni, što znači da invertor apsorbira reaktivnu snagu iz mreže. Na slici 6. prikazano je upoređivanje odstupanja napona pri  $\cos \varphi = 0.9$  u odnosu na  $\cos \varphi = 1$ , za situaciju da su u devet čvorova sa početka izvoda priključeni PV izvori prividne snage, svaki po 5 kVA. Može se uočiti da je postignuto smanjenje odstupanja napona u svim potrošačkim čvorovima. Odstupanje napona je, zahvaljujući manjem faktoru snage, umanjeno u većini čvorova skoro ravnomjerno, a najviše 0.8 % u čvorovima P5, P6, P18 i P19 (npr. u čvoru P19 odstupanje napona je smanjeno sa 3.7 % pri  $\cos \varphi = 1$  na 2.9 % pri  $\cos \varphi = 0.9$ ).

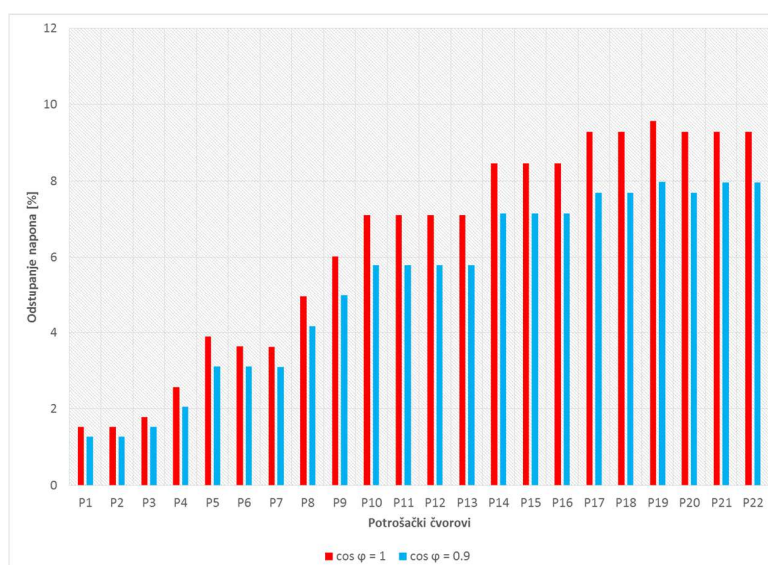
Na slici 7. je prikazano upoređivanje navedena dva režima rada PV sistema, ali u slučaju da su izvori priključeni u devet potrošačkih čvorova sa kraja izvoda. Primjećuje se da je odstupanje napona najviše ublaženo u čvorovima sa kraja izvoda, a doprinos uticaja reaktivne snage je manji, što je čvor bliži početku izvoda. Osim toga, zabilježene su veće vrijednosti procentata smanjenja napona. U čvoru P19 odstupanje napona je smanjeno za 1.6 % (sa 9.6 % pri  $\cos \varphi = 1$  na 8 % pri  $\cos \varphi = 0.9$ ).



Komparacijom rezultata datih na slikama 6. i 7. zaključuje se da je doprinos regulaciji napona reaktivnom snagom veći u slučaju visokog stepena penetracije u čvorovima sa kraja izvoda. Kako izvor koji su priključeni na kraju izvoda imaju dominantniji uticaj na naponske prilike u mreži, to postavljanje ovih izvora u režim rada pri manjem faktoru snage, može bolje doprinijeti regulaciji napona, u odnosu na doprinos koji bi pružili izvori sa početka izvoda.



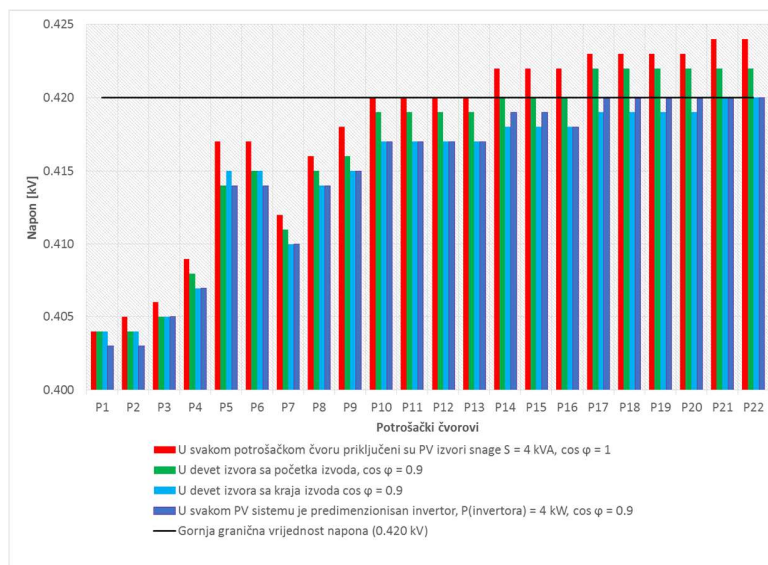
Slika 6. Odstupanje napona [%] u potrošačkim čvorovima za situaciju da su u devet čvorova sa početka izvoda priključeni PV izvori prividne snage svaki po 5 kVA, pri  $\cos \varphi = 1$  ili  $\cos \varphi = 0.9$



Slika 7. Odstupanje napona [%] u potrošačkim čvorovima za situaciju da su u devet čvorova sa početka izvoda priključeni PV izvori prividne snage svaki po 5 kVA, pri  $\cos \varphi = 1$  ili  $\cos \varphi = 0.9$

Provjereno je kako učešće izvora u regulaciji napona, u zavisnosti od pozicije izvora, može doprinijeti poboljšanju naponskih prilika u slučaju visokog stepena penetracije na nivou cijelog izvoda. PV sistemi snage 4 kVA priključeni su u svakom potrošačkom čvoru izvoda, a zatim su mijenjani njihovi režimi rada. Na grafičkom prikazu, na slici 8. prikazane su vrijednosti napona u potrošačkim čvorovima za situaciju da je u svakom čvoru priključen PV sistem snage 4 kVA,  $\cos \varphi = 1$  ( $P = 4 \text{ kW}$ ,  $Q = 0$ ), zatim za tri scenarija uključivanja PV sistema u regulaciju napona:

- 1) ako je u devet potrošačkih čvorova sa početka izvoda smanjena vrijednost faktora snage,  $\cos \varphi = 0.9$  ( $P = 3.6 \text{ kW}$ ,  $Q = 1.74 \text{ kVAr}$ , kapacitivno), a u ostalim čvorovima snaga je ostala nepromijenjena;
- 2) ako je u devet potrošačkih čvorova sa kraja izvoda smanjena vrijednost faktora snage,  $\cos \varphi = 0.9$  ( $P = 3.6 \text{ kW}$ ,  $Q = 1.74 \text{ kVAr}$ , kapacitivno), a u ostalim čvorovima snaga je ostala nepromijenjena;
- 3) ako je inverter svakog PV sistema predimenzionisan, tj. da je nominalna snaga invertora veća od nominalne snage PV modula, tako da PV sistemi injektiraju maksimalnu instalisanu aktivnu snagu (u ovom slučaju  $4 \text{ kW}$ ), pri čemu imaju mogućnost da pruže učešće reaktivne snage, u skladu sa pogonskim dijagramom invertora. Dakle, u ovom režimu rada PV sistemi injektiraju u izvod po  $4 \text{ kW}$ , a pri  $\cos \varphi = 0.9$ , kapacitivno, apsorbiraju reaktivnu snagu,  $Q = 1.94 \text{ kVAr}$ .



Slika 8. Naponske prilike [kV] u potrošačkim čvorovima za situaciju da su PV izvori snage 4 kVA priključeni u svakom potrošačkom čvoru, u zavisnosti od faktora snage invertora i pozicije priključenja izvora

Na grafiku je označena gornja granična vrijednost napona, koja je prekoračena u čvorovima bližim kraju izvoda, ako svaki izvor injektira po  $4 \text{ kW}$ , pri  $\cos \varphi = 1$ . Uključivanjem izvora sa početka izvoda u regulaciju napona, postižu se bolje naponske prilike, ali dominantniji uticaj na naponske prilike postiže se ako svoj doprinos regulaciji napona daju izvori sa kraja izvoda. Predimenzionisanjem invertora u svakom PV sistemu postignuto je poboljšanje naponskih prilika, a da pritom PV sistemi injektiraju maksimalnu moguću aktivnu snagu.

Rastu integracija PV sistema može doprinijeti definisanje strategije o mogućnostima PV proizvodnje, u skladu sa pozicijom priključenja i ukupnom injektiranom snagom iz svih priključenih PV sistema na NN izvod. Omogućavanjem rada PV sistema pri nižem faktoru snage, ili predimenzionisanjem invertora u sklopu PV sistema može se postići veći nivo PV penetracije. Takav pristup PV proizvodnji omogućio bi da PV sistemi rade pri maksimalnoj proizvodnji aktivne snage dok naponske prilike dozvoljavaju, a u slučaju potrebe očuvanja naponskih prilika promijene režim rada i omoguće doptinos reaktivne snage regulaciji napona.

## ZAKLJUČAK

Radom su predstavljeni rezultati analize promjena u naponskim prilikama elektrodistributivne, niskonaponske, radijalne mreže, izazvanih promjenom PV proizvodnje priključenih izvora. Proračun je realizovan na realnom primjeru niskonaponskog trafo reona u Podgorici. Upotrebom savremenih alata za analizu elektroenergetskog sistema praćene su promjene napona u zavisnosti od promjene pozicije priključenja izvora, broja priključenih izvora i promjene u PV proizvodnji.

Analizom se došlo do generalnih zaključaka o mogućnostima priključenja PV izvora na niskonaponsku mrežu, kao i o uticaju promjene PV proizvodnje na naponske prilike. Naime, veći doprinos poboljšanju naponskih prilika radijalnog izvoda daje prisustvo PV izvora na kraju izvoda, nego PV izvora priključenog bliže početku izvoda. Radijalne izvode karakteriše pad napona duž izvoda i male vrijednosti napona kod krajnjih potrošača. Stoga, priključivanje izvora u krajnjim čvorovima poboljšava naponske prilike u tim čvorovima i mijenja naponski profil izvoda. Međutim, u prilikama visokog stepena penetracije PV proizvodnje, promjene napona izazvane promjenom PV proizvodnje su najizraženije u krajnjim čvorovima izvoda. Pozicija priključivanja izvora, kao i broj izvora na NN izvodu, uslovljavaju rast integracija PV izvora. Osim toga, prikazano je kako se porastu integracija PV proizvodnje može doprinijeti, zahvaljujući mogućnostima invertora da obezbijedi učešće reaktivne snage, bilo redukcijom aktivne snage, bilo predimenzionisanjem invertora u sklopu PV sistema.

Rad je pokazao zašto je važno planirati strategiju upravljanja PV proizvodnjom i odrediti mogućnosti priključenja svakog novog PV sistema, koji se priključuje na mrežu, a u skladu sa mjestom priključenja i ukupnom injektiranom aktivnom snagom svih izvora. Mjesto i snagu PV sistema određuju investitori, što usljed nevelikog interesovanja za PV proizvodnjom ne predstavlja zabrinutost u pogledu naponskih prilika. Međutim, rast integracija PV izvora podrazumijeva značajne promjene u naponskim prilikama NN mreže, što je dovoljan razlog za stvaranje novih strategija za priključivanje PV sistema. Integracije PV sistema, koji su pripadnici subvencioniranih obnovljivih izvora, mogu se razviti, pružiti doprinos boljim naponskim prilikama i poboljšanju snabdijevanja potrošača električnom energijom. Pravilna strategija planiranja i upravljanja PV proizvodnjom, a uzimajući u obzir da se upravljanje PV proizvodnjom može učiniti fleksibilnim, može doprinijeti većoj integraciji i optimalnom korišćenju PV izvora.

## LITERATURA

1. EPCG AD Nikšić, „Pravila za funkcionisanje distributivnog sistema električne energije“, 2012.
2. S.A. Pourmousavi, A.S. Cifala, M.H. Nehrir, 2012, „Impact of High Penetration of PV Generation on Frequency and Voltage in a Distribution Feeder“, IEEE
3. T. Ackermann, S. Cherevatskiy, T. Brown, R. Eriksson, A. Samadi, M. Ghandhari, L. Söder, D. Lindenberger, C. Jägemann, S. Hagspiel, V. Čuk, P. F. Ribeiro, S. C. H. Bindner, F. R. I. L. Mihet-Popa, 2013, „Smart modeling of optimal integration of high penetration of PV – Smooth PV“, Smooth - PV
4. I. Vujošević, 2006, „Analiza elektroenergetskih sistema I“, Elektrotehnički fakultet, Podgorica
5. S. K. Solanki, V. Ramachandran, J. Solanki, 2012, „Steady State Analysis of High Penetration PV on Utility Distribution Feeder“, IEEE
6. J. Gajović, Z. Miljanić, 2015, „Regulacija napona u niskonaponskim mrežama Crne Gore pomoću PV distribuiranih izvora“, CIGRE, Crna Gora.