

Planiranje i rad elektroenergetskog sistema u uslovima velike proizvodnje električne energije iz solarnih elektrana

Bojan Ivanović*, Ilija Batas Bjelić**, Nikola Rajaković***, Tomislav Rajić***

* Elektrodistribucija Srbije, Beograd, Srbija

** Institut tehničkih nauka SANU, Beograd, Srbija

*** Univerzitet u Beogradu-Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija

Rezime - Pad cena solarnih panela na svetskom tržištu je doveo do izgradnje velikog broja solarnih elektrana u relativno kratkom vremenskom periodu. Zbog toga se ovaj tip obnovljivih izvora električne energije gradi znatno intenzivnije od drugih tipova elektrana. Instalisanje snage solarnih elektrana variraju od onih najmanjih reda nekoliko kW koje se priključuju na distributivnu niskonaponsku mrežu, do onih velikih reda stotinu MW koje se priključuju na prenosni sistem. Ekspanzija izgradnje solarnih elektrana u Evropi i svetu menja dosadašnji profil proizvodnje električne energije i otvara pitanja balansiranja takve proizvodnje, njenog plasmana kao i buduće cene. Upravo je buduća tržišna cena električne energije koja će se proizvoditi u solarnim elektranama pitanje koje najviše interesuje investitore i na koje je najteže dati odgovor. S druge strane, postavlja se pitanje rada elektroenergetskog sistema u uslovima velike i promenljive proizvodnje solarnih elektrana. U radu se sagledava i sumira jedan broj pitanja vezanih za rad elektroenergetskog sistema u jugoistočnoj Evropi u uslovima velike proizvodnje električne energije iz solarnih elektrana.

Ključne reči – solarna elektrana, prenosni sistem, distributivni sistem, planiranje, balansiranje, varijabilna proizvodnja

I UVOD

Solarne elektrane (SE) karakteriše dnevno varijabilna u čitavom opsegu instalisane snage i teško predvidiva proizvodnja na mesečnom i sezonskom nivou. Učešće elektrana sa varijabilnom proizvodnjom u visokom procentu u radu intekonekcije izaziva oscilacije sistemske učestanosti [1]. Relativno brzi pad cena solarnih panela doveo je do toga da mnoge države u svetu razmatraju scenarije u kojima će proizvodnja električne energije iz solarnih panela dostići čak 50% ukupne proizvodnje [2]. Upravo su ove činjenice koje otežavaju planiranje razvoja i rada kao i upravljanje elektroenergetskim sistemom (EES).

Planiranje razvoja EES u prisustvu velike instalisane snage SE na svim naponskim nivoima predstavlja poseban izazov jer se osim adekvatnog razvoja elektroenergetske mreže mora obezbediti odgovarajuće upravljanje sistemom. Osim regulacije varijabilne proizvodnje u SE putem konvencionalnih regulacionih elektrana, pre svih hidroelektrana (HE) i reverzibilnih HE, ovo upravljanje mora obuhvatiti i upravljanje potrošnjom i instalaciju skladišta energije, najčešće baterijskih skladišta. Razlog za to je što se u EES ne može obezbediti dovoljno regulacione energije u konvencionalnim regulacionim elektranama za instalisanje snage

SE reda nekoliko hiljada MW. U Planu razvoja prenosnog sistema Republike Srbije za period 2023-2032 [3] predstavljeni su rezultati analize obezbeđenja potrebne balansne rezerve za dva scenarija: „prihvatljivi“ i „ambiciozni“.

Analizirana je mogućnost plasmana i izvoza velike snage iz obnovljivih izvora u EES Srbije u različitim scenarijima sa aspekta mogućnosti prenosne mreže [4]. Situacija u regionu jugoistočne Evrope, pa i šire, je utoliko složenija jer skoro sve države razmatraju izgradnju velikih instalisanih kapaciteta u SE i veliki izvoz električne energije iz svojih regulacionih oblasti reda nekoliko hiljada MW. Štaviše, Mađarska na primer, već ima izgrađenih oko tri hiljade MW u SE. Put plasmana energije ovolike snage iz jugoistočne Evrope je još uvek pretpostavka.

Trenutna situacija u prenosnim mrežama država jugoistočne Evrope je takva da se javljaju vrednosti napona iznad gornjih dozvoljenih granica [3]. Dakle, u velikom broju režima rada sistema u osnovnom stanju su narušena naponska ograničenja. Zbog toga nema nikakvog smisla govoriti o sigurnosti rada sistema i zadovoljenju „N-1“ kriterijuma sigurnosti jer se ovaj kriterijum ispituje tek kada ne postoje preopterećenja grana mreže i narušenja naponskih ograničenja u osnovnom stanju. Pojava nedozvoljeno visokih napona ugrožava opremu kako operatora tako i korisnika sistema i traje već više od deset godina. Za priključenje novih korisnika velikih snaga neophodno je osnovne sistemske veličine, napone i struje (u ovom slučaju napone), dovesti u propisane granice. U suprotnom, sistem može biti doveden u mnogo teže stanje u kom su još veća narušenja propisanih ograničenja i u kom je sistemska oprema još ugroženija.

II BALANSIRANJE EES

Ustanovljeno je da su postojeći proizvodni kapaciteti u EES Srbije u mogućnosti da na zadovoljavajući način obezbede potrebnu balansnu rezervu za nivo kapaciteta obnovljivih izvora od 5800 MW [3]. Pri tom treba pomenuti da su, za obezbeđenje sekundarne i tercijarne rezerve, u obzir uzeti svi postojeći termokapaciteti na lignit koji bi u rezervi učestovali sa preko 1000 MW uz pretpostavku da je kvalitet energenta, odnosno uglja, nesporan. Ugalj u kolubarskom basenu je sve lošijeg kvaliteta jer su centralna ležišta izeksploatisana i se sada koriste tzv. obodna ležišta. Stoga pretpostavka nespornog kvaliteta uglja u budućnosti nije opravdana. S druge strane, računato je da se veliki deo instalisane snage protočnih elektrana koristi za obezbeđivanje sekundarne i tercijarne rezerve. Na primer, za HE „Đerdap 1“ se uzima da učestvuje u ukupnoj rezervi sa 660 MW,

što je više od polovine njegove instalisane snage. Kada je protok vode na Dunavu veći od $8000 \text{ m}^3/\text{s}$, što je obično u aprilu i maju kada se tope snegovi na planinama, HE „Đerdap 1“ bi sasvim sigurno morao da preliva kako bi održao ovu rezervu. A to, sa aspekta elektroenergetike kao celine, znači svesno neiskorišćavanje jednog obnovljivog resursa zarad rezerviranja drugog. Slična je situacija i sa HE „Bajina Bašta“ gde je računato da je kapacitet rezerve 343 MW što je 82% od ukupne instalisane snage ove elektrane ($4 \times 105 = 420 \text{ MW}$).

Nije opravdano poći od pretpostavke ni da akumulacione i reverzibilne HE mogu da koriste svoj pun kapacitet za potrebe balansiranja jer se deo ovog kapaciteta mora koristiti i u druge svrhe. Međutim, svakako se može računati da veći deo kapaciteta ovih elektrana bude iskorišćen za potrebe balansiranja. Drugi deo balansnih kapaciteta se može obezbediti iz skladišta električne energije, prevashodno baterijskih, a treći deo u načinu eksploatacije obnovljivih izvora tako da se uvek ostavi prostor za regulaciju, a ne da elektrana radi u skladu sa maksimalno raspoloživim resursom.

III TRENUTNO STANJE MREŽE 400 kV EES SRBIJE

Strateško razvojno opredeljenje po pitanju prenosne mreže je da se prenosna mreža 220 kV više ne razvija i da se stara 220 kV zamenjuje 400 kV mrežom. S tim u vezi se očekuje i prelazak 220 kV mreže u zapadnoj Srbiji na 400 kV. Zbog toga će 400 kV mreža imati glavnu ulogu u perspektivi za prenos električne energije u Republici Srbiji.

Trenutno stanje opterećenosti prenosne 400 kV mreže u Republici Srbiji je takvo da je veći broj dalekovoda (DV) 400 kV, internih i interkonektivnih, slabo opterećen čak i u režimima rada maksimalnog opterećenja. U tekstu koji sledi je analizirano opterećenje DV 400 kV u režimima maksimalnog i minimalnog opterećenja u 2024. godini. Analiza je urađena na osnovu modela za proračun tokova snaga i naponskih prilika koji se u EMS-u prave za 24 sata za dan unapred. Za režim maksimalnog opterećenja je odabran najhladniji zimski dan u 19:30 (zimski večernji vrh), dok je za režim minimalnog opterećenja odabran 1. maj u 3:30 koji već godinama unazad važi kao dan sa najnižim konzumom. Između ova dva granična režima rada EES nalaze se svi ostali režimi, tako da analizirajući opterećenja vodova 400 kV u ova dva režima stiče se slika opsega u kojima se u toku godine kreće opterećenje vodova 400 kV.

Najniža temperatura u Beogradu, kao najvećem konzumnom području u Republici Srbiji je zabeležena 11. januara ove godine i iznosila je -7.1 C . Konzum Republike Srbije bez KiM u 19:30 je bio 5383 MW. Opterećenja DV 400 kV u prenosnoj mreži Srbije u 19:30 tog dana i njihove maksimalno dozvoljene struje prikazani su u narednoj tabeli. Ostaje nejasno zašto je maksimalno dozvoljena struja DV 400 kV TS „Subotica 3“ – TS „Sombor 3“ ograničena na 600 A. Vodovi su sortirani u opadajućem redosledu po nivou opterećenja. U tabeli nisu navođeni kratki DV 400 kV između pojedinih transformatorskih stanica (TS) i razvodnih postrojenja (RP), kao što su DV 400 kV TS „Obrenovac“ – RP „Mladost“ ili TE „Nikola Tesla B“ – RP „Mladost“. Ovi kratki DV 400 kV imaju male kapacitivnosti i samim tim mali uticaj na naponske prilike. Prikazana su

opterećenja 27 DV 400 kV. Najopterećeniji vod u sistemu je DV 400 kV HE „Đerdap 1“ – TS „Bor 2“ u iznosu od 50%.

Tabela 1. Opterećenja DV 400 kV u prenosnoj mreži Srbije u režimu maksimalnog opterećenja.

DV	$I_{\max} [\text{A}]$	Opterećenje [%]
HE Đerdap 1 – TS Bor 2	1800	50
TS Bor 2 – TS Niš 2	1920	38
TS Obrenovac – TS Kragujevac 2	1920	35
TS Pančevo 2 – PRP Čibuk	1920	33
PRP Čibuk – RP Drmno	1920	30
TS Novi Sad 3 – TS Srbobran	1920	30
RP Drmno – TS Smederevo 3	1920	26
RP Mladost – TS Novi Sad 3	1920	23
TS Srbobran – TS Subotica	1920	21
TS Niš 2 – TS Leskovac 2	1920	18
TS Beograd 8 – TS Beograd 20	1920	18
TS Kragujevac 2 – TS Jagodina 4	1920	17
TS Obrenovac – TS Beograd 8	1920	17
HE Đerdap 1 – RP Drmno	1800	16
TS Smederevo 3 – TS Beograd 8	1920	15
TS Sremska Mitrovica 2 – TS Ugljevik	1920	14
RP Mladost – TS Sremska Mitrovica 2	1920	13
TS Leskovac 2 – TS Vranje 4	1920	12
TS Sremska Mitrovica 2 – TS Ernestinovo	1920	12
TS Subotica 3 – TS Sombor 3	600	12
TS Vranje 4 – TS Štip	1920	10
TS Niš 2 – TE Kosovo B	1920	7
TS Niš 2 – TS Jagodina 4	1920	7
TS Subotica 3 – TS Šandorfalva	1920	7
TS Kragujevac 2 – TS Kraljevo 3	1920	6
TS Beograd 20 – TS Pančevo 2	1899	4
TS Niš 2 – TS Sofija	1920	3

Iz prethodne tabele se vidi da je 6 DV 400 kV opterećeno ispod 10%, opterećenje 7 DV je opsegu od 10% do 15%, a 5 DV je opterećeno u opsegu od 15% do 20%, dok je 9 DV opterećeno iznad 20%. Dakle, jedna trećina od ukupnog broja DV 400 kV je opterećena iznad 20%.

Poznata je činjenica da se podopterećeni, a relativno dugački, DV 400 kV ponašaju kapacitivno tako što injektiraju reaktivnu snagu u sistem podižući napone. Tako se, na primer, DV 400 kV TS „Subotica 3“ – TS „Sombor 3“ dužine oko 55 km, injektira oko 36 Mvar u TS „Subotica 3“ pri toku aktivne snage od 36 MW prema TS „Sombor 3“. Drugim rečima, tokovi aktivne i reaktivne snage po ovom DV 400 kV su skoro isti ali suprotnih smerova. Situacija sa velikim injektiranje reaktivne snage u 400 kV mrežu je slična i na DV 400 kV TS „Leskovac 2“ – TS „Vranje 4“. Za tok aktivne snage od 150 MW iz pravca Leskovca prema Vranju tok reaktivne snage je oko 77 Mvar u suprotnom smeru.

U ovom režimu rada, na osnovu rezultata proračuna tokova snaga i naponskih prilika, nije bilo narušenja naponskih ograničenja.

Konzum Republike Srbije bez KiM u 3:30 je iznosio 2478 MW, što je oko 45% konzuma u režimu maksimalnog opterećenja (11. januar u 19:30). Opterećenja DV 400 kV sortirana u opadajućem redosledu u ovom režimu rada prikazana su u sledećoj tabeli.

Tabela 2. Opterećenja DV 400 kV u prenosnoj mreži Srbije u režimu minimalnog opterećenja.

DV	$I_{\max}$ [A]	Opterećenje [%]
TS Pančevo 2 – PRP Čibuk	1920	30
TS Beograd 20 – TS Pančevo 2	1899	29
RP Drmno – TS Smederevo 3	1920	26
TS Obrenovac – TS Beograd 8	1920	26
RP Mladost – TS Sremska Mitrovica 2	1920	26
TS Smederevo 3 – TS Beograd 8	1920	23
HE Đerdap 1 – TS Bor 2	1800	19
PRP Čibuk – RP Drmno	1920	18
TS Bor 2 – TS Niš 2	1920	17
TS Novi Sad 3 – TS Srbobran	1920	15
TS Beograd 8 – TS Beograd 20	1920	14
RP Mladost – TS Novi Sad 3	1920	13
TS Niš 2 – TS Jagodina 4	1920	12
TS Srbobran – TS Subotica	1920	11
TS Niš 2 – TE Kosovo B	1920	11
TS Sremska Mitrovica 2 – TS Ernestinovo	1920	9
TS Subotica 3 – TS Sombor 3	600	9
TS Sremska Mitrovica 2 – TS Ugljevik	1920	8
TS Subotica 3 – TS Šandorfalva	1920	8
TS Kragujevac 2 – TS Kraljevo 3	1920	8
TS Obrenovac – TS Kragujevac 2	1920	7
HE Đerdap 1 – RP Drmno	1800	7
TS Vranje 4 – TS Štip	1920	7
TS Kragujevac 2 – TS Jagodina 4	1920	6
TS Niš 2 – TS Leskovac 2	1920	5
TS Niš 2 – TS Sofija	1920	5
TS Leskovac 2 – TS Vranje 4	1920	2

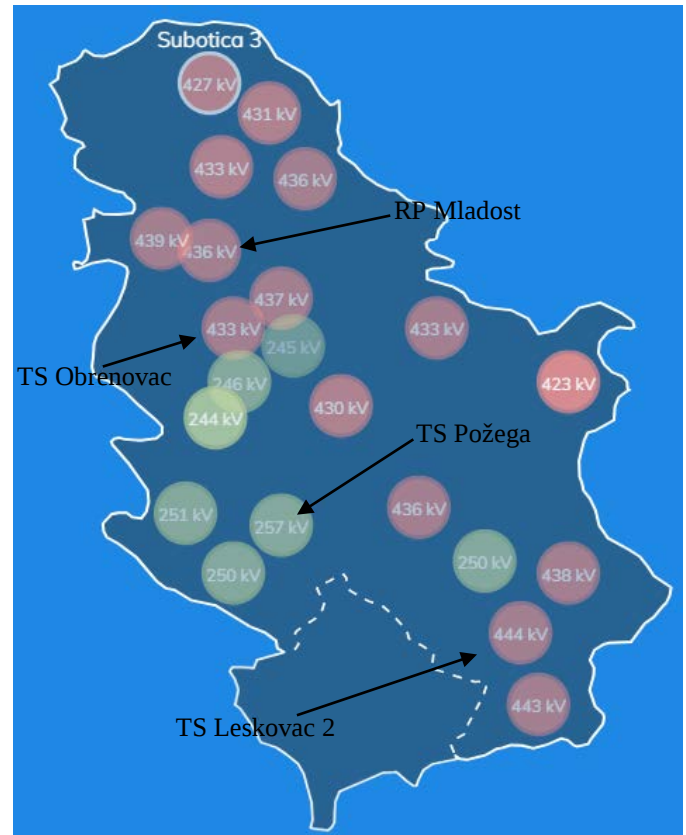
Najopterećeniji DV 400 kV u prenosnoj mreži je TS „Pančevo 2“ – priključno RP (PRP) „Čibuk“ u iznosu od 30%. Dvanaest DV 400 kV je opterećeno ispod 10%, 6 je opterećeno u opsegu između 10% i 15%, 3 u opsegu od 15% do 20%, dok je 6 DV opterećeno preko 20%.

U ovom režimu rada zabeležena su narušenja gornjih naponskih ograničenja koja nisu velika. Na primer, najveća vrednost napona je na 400 kV sabirnicama TS 400/110 kV „Beograd 20“ i iznosi približno 424 kV što je 4 kV više od gornje dozvoljene vrednosti od 420 kV [5]. Za nijansju manje ali vrlo blisko narušenje gornjeg naponskog ograničenja od oko 4 kV je i na 400 kV sabirnicama TS 400/220 kV „Beograd 8“.

Vrednosti napona koje su dobijene proračunom se u dobroj meri razlikuju od onih koje su zabeležene merenjima i koje se mogu naći na službenom EMS-ovo sajtu, odnosno na aplikaciji Energy Flux (<https://ems.energyflux.rs/#/voltage-profiles>). Na narednoj slici su prikazane naponske prilike u 400 kV i 220 kV prenosnoj mreži za 1. maj u 4:00. Slika je preuzeta iz arhive Energy Flux aplikacije. U svim čvorovima prenosne mreže naponi su iznad gornjih dozvoljenih vrednosti.

Najveća izmerena vrednost napona u 400 kV mreži je TS „Leskovac 2“ i iznosi 444 kV, dok je najveća izmerena vrednost napona u 220 kV mreži u TS „Požega“ i iznosi 257 kV. Proračunata vrednost napona na 400 kV sabirnicama TS „Leskovac 2“ iznosi 421 kV, a na 220 kV sabirnicama TS „Požega“ iznosi 242 kV. Apsolutne razlike izmerenih i proračunatih napona su velike: za 400 kV sabirnice TS

„Leskovac 2“ ova razlika je 23 kV, a 17 kV za 220 kV sabirnice TS „Požega“. U relativnom iznosu razlika izmerenih i proračunatih vrednosti se kreće do 8%.



Slika 1. Naponi u prenosnoj mreži Republike Srbije dana 1.5.2024. u 4:00.

Razlog postojanja razlike proračunatih i izmerenih vrednosti mogu biti neadekvatno zadate vrednosti napona u PV čvorovima u simulacionom modelu ili loša merenja. Merenja su svakako pod znakom pitanja jer je prema njima napon na 400 kV sabirnicama u TS „Obrenovac“ 433 kV, a u RP „Mladost“ 436 kV. Ova dva čvora su električno bliska jer su povezana sa dva DV 400 kV dužine oko 5.3 km i razlika napona između njih je u opsegu 0.3-0.5 kV, što je za red veličine manje od one koja se dobija merenjem. Proračunata vrednosti napona 1. maja 2024. u 3:30 na 400 kV sabirnicama TS „Obrenovac“ je 419.6 kV, a u RP „Mladost“ 420 kV.

EMS je doneo odluku, radi regulacije previsokih napona, da se prilikom projektovanja novih TS, RP i PRP predvidi prostor za ugradnju prigušnica [3]. S druge strane, Elektrodistribucija Srbije ugrađuje kondenzatorske baterije za kompenzaciju reaktivne snage radi popravke faktora snage. Kondenzatorske baterije se skoro automatski ugrađuju u sve nove TS 10(20)/0.4 kV radi kompenzacije reaktivne energije samog transformatora koji se ponaša kao prigušnica. Drugim rečima, operator prenosnog sistema (OPS) ugrađuje prigušnice radi snižavanja napona dok operator distributivnog sistema (ODS) ugrađuje kondenzatorske baterije koje povećavaju napon. Treba reći da se radi o jednom sistemu i da je podela na OPS i ODS veštačka o čemu najbolje govori to da linija razgraničenja između ovih operatora skoro nigde u Evropi nije ista.

Pre razmatranja perspektivnih scenarija razvoja prenosne mreže u kojima bi se integrisao visok nivo OIE neophodno je srediti stanje u postojećoj mreži tako da naponi budu u propisanim granicama i da bude zadovoljen kriterijum sigurnosti. U suprotnom, može se napraviti situacija mnogo lošija od postojeće u kojoj će elektrane ispadati sa sistema usled previsokih napona [6] i gde će oprema operatora i korisnika biti permanentno degradirana.

Regionalnom studijom regulacije napona, koja nije javno dostupna, izabran je tzv. „OPS pristup“ u kom svaki OPS kompenzuje samog sebe po pitanju reaktivne snage u svojoj prenosnoj mreži i određeno da se na 400 kV sabirnice u TS 400/110 kV „Vranje 4“ ugradi promenljiva šant prigušnica instalisane snage 100 Mvar. Napon je lokalne prirode što znači da regulacija napona u jednom čvoru nema velikog efekta na električno udaljene čvorove. U sledećoj tabeli je dat prikaz kako prigušnica, instalisane snage 100 Mvar i priključena na 400 kV sabirnice TS „Vranje 4“, menja napon na 400 kV sabirnicima TS „Vranje 4“, TS „Leskovac 2“ i TS „Niš 2“ u jednom režimu rada.

Tabela 2. Uticaj prigušnice snage 100 Mvar.

TS	U [kV] (pre uključenja)	U [kV] (nakon uključenja)	ΔU [kV]
TS Vranje 4	418.6	411.1	7.5
TS Leskovac 2	415.1	411.3	3.8
TS Niš 2	412.6	410.7	1.9

Iz prethodne tabele se vidi da prigušnica snage 100 Mvar snižava napon na 400 kV sabirnicama TS „Vranje 4“ za 7.5 kV, dok je njen uticaj na sniženje napona u TS „Niš 2“ manji od 2 kV. To znači da ova prigušnica neće rešiti pitanje visokih napona u južnoj Srbiji jer je, na primer, za dovođenje napona na 400 kV sabirnicama u TS „Leskovac 2“ sa 444 kV (slika 1) na 420 kV potrebno sniziti napon za 24 kV dok ga prigušnica instalirana na 400 kV sabirnice u TS „Vranje 4“ snižava nešto manje od 4 kV.

IV PLASMAN ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ PERSPEKTIVNIH OBNOVLJIVIH IZVORA

Integracija perspektivnih SE i vetroelektrana (VE) velike instalisane snage u Republici Srbiji u različitim scenarijima za 8784 sata (prestupna godina od 366 dana) analizirana je pomoću softvera EnergyPLAN i CASE [4]. Softver EnergyPLAN je korišćen za definisanje scenarija koji se uvoze u softver CASE radi raspodele zbirne proizvodnje pojedinih tipova elektrana (HE, VE, SE ...) po pojedinačnim elektranama u simulacionom modelu i proračune tokova snaga i naponskih prilika. Aspekti balansiranja nisu razmatrani već tokovi snaga i naponske prilike u EES Srbije za plasman snage iz obnovljivih izvora, odnosno SE i VE, u iznosima od 4000 MW do 9000 MW [4]. Za balansnu elektranu oblasti kojom je regulisan zadati nivo razmene odabrana je HE „Đerdap 1“ a sve elektrane su modelovane kao izvori na svojim visokonaponskim sabirnicama. Zaključeno je, između ostalog, da se iz EES Srbije može izvesti snaga od 5000 MW u različitim scenarijima uz ukupno angažovanje SE i VE u iznosu od približno 6000 MW. Ovaj rezultat je blizak onom koji je dobijen kada je analizirana mogućnost integracije obnovljivih izvora sa aspekta balansiranja [3].

Put plasmana, odnosno pravac i smer tokova snaga, velikih

količina električne energije iz obnovljivih izvora u regionu jugoistočne Evrope je dobrim delom u domenu pretpostavke. Imajući u vidu pad broja stanovnika u svim državama jugoistočne Evrope kao i pad industrijske potrošnje za očekivati je da će se viškovi električne energije iz jugoistočne Evrope plasirati van ovog regiona. Ako dođe do masovnog prelaska sa automobila sa unutrašnjim sagorevanjem na elektromobile onda će značajan i najveći konzum električne energije u Evropi činiti upravo elektromobili. Pošto je inicijativa za ovaj prelazak najsnažnija u naprednim državama Evropske Unije (Nemačka, Holandija, Belgija, Francuska ...) očekuje se da bi pravac i smer tokova snaga iz jugoistočne Evrope mogao biti najveći delom prema severu. Manjim delom bi se plasirao preko podmorskih jednosmernih kablova između Crne Gore i Italije, čiji je trenutni kapacitet 500 MW a očekuje se da bude 1000 MW u konačnoj fazi, i Grčke i Italije kapaciteta 500 MW.

Cenu električne energije u budućnosti, ako dođe do masovne izgradnje SE, je teško predvideti ali se može očekivati da dođe do njenog pada pogotovo u dnevnim režimima kada su sunčani dani u čitavom regionu. Zbog toga će skladišta električne energije i postrojenja za proizvodnju vodonika imati veliku ulogu u jednom ovakvom scenariju razvoja. Ono što je sigurno je to da će ekonomski aspekti odrediti veličinu i put plasmana električne energije iz obnovljivih izvora.

Trenutni tok snage u 400 kV mreži u jugoistočnoj Srbiji je od HE „Đerdap 1“ preko TS „Bor 2“ prema TS „Niš 2“ i TS „Leskovac 2“ u svim režimima rada, od režima maksimalnog do režima minimalnog opterećenja. Drugim rečima, u trenutnom stanju snaga kroz 400 kV mrežu u jugoistočnoj Srbiji teče u smeru sever-jug. Pošto južna Srbija ima dobar stepen insolacije i jeftino zemljište za očekivati je da se u ovom delu Srbije grade SE velikih instalisanih snaga. To znači da će ove SE rasteretiti 400 kV mrežu jugoistočnoj Srbiji imajući u vidu da će se sva proizvodnja veća od nivoa za podmirenje lokalne potrošnje plasirati na sever. Takođe se može očekivati da solarne elektrane iz Severne Makedonije plasiraju snagu u ovom pravcu i smeru. To je još jedan razlog zbog kog se očekuje rasterećenje 400 kV mreže u jugoistočnoj Srbiji i eventualno promena smera toka snaga kroz nju.

V ZAKLJUČAK

U radu je prikazana problematika rada postojećeg EES Srbije sa aspekta nedozvoljeno visokih napona. U prenosnoj mreži EES Srbije se svakodnevno, bez obzira na režim rada, javljaju naponi iznad gornjih dozvoljenih ograničenja. Nedozvoljeno visoki naponi degradiraju opremu operatora i korisnika sistema i ugrožavaju siguran rad. Ugradnja jedne prigušnice od 100 Mvar na 400 kV sabirnicama u TS „Vranje 4“ neće rešiti problem nedozvoljeno visokih napona u EES Srbije.

Naponi u postojećoj prenosnoj mreži Republike Srbije se moraju dovesti u dozvoljene opsege da bi se mogla planirati integracija novih izvora velikih instalisanih snaga. U suprotnom, stanje u sistemu može postati lošije nego što je sada sa bitno smanjenim skupom operativnih i planerskih mera koje se mogu preduzeti radi dovođenja prenosnog sistema u stanje normalnog rada.

Naponske prilike u sistemu se ne mogu rešiti ugradnjom

nekoliko prigušnica u određenim tačkama zbog lokalne prirode napona. To mora biti sveobuhvatna akcija OPS-a, ODS-a, postojećih i perspektivnih elektrana i korisnika sistema kako bi se na nivou čitavog sistema postigao efekat.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Janković, S., Ivanović, B. Implementacija i razvoj pravila za priključenje generatorskih jedinica koje su preko invertora povezane na mrežu u Nemačkoj, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 4, pp. 59-63, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-4.59>
- [2] Frew, B., Cole, W., Denholm, P., Frazier, A.W., Vincent, N., Margolis, R. Sunny with a Chance of Curtailment: Operating the US Grid with Very High Levels of Solar Photovoltaics, *iScience*, Vol. 21, pp. 436-447, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2019.10.017>
- [3] EMS AD. Plan razvoja prenosnog sistema Republike Srbije za period 2023-2032, Beograd, jun 2023, <https://ems.rs/wp-content/uploads/2024/03/Plan-razvoja-pren.-sistema-2023-2032-finalx.pdf> [pristupljeno 23.04.2024]
- [4] Rajaković, N., Ivanović, B., Batas Bjelić, I., Rajić, T. Spreja simulacionog planerskog alata sa alatom za proračun tokova snaga: Studija slučaja Republike Srbije, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 25, No. 2, pp. 16-21,

2023, <https://doi.org/10.46793/EEE23-2.16R>

- [5] EMS AD, Pravila o radu prenosnog sistema, Beograd, 2017. <https://ems.rs/pravila-o-rad-u-prenosnog-sistema-2/> [pristupljeno 23.04.2024]
- [6] EMS AD. Plan razvoja prenosnog sistema Republike Srbije za period 2021-2030, Beograd, jan. 2022, <https://ems.rs/wp-content/uploads/2022/07/Plan-razvoja-prenosnog-sistema-2.pdf> [pristupljeno 23.04.2024]

AUTORI/AUTHORS

dr Bojan Ivanović, ODS Elektrodistribucija Srbije, bojan.b.ivanovic@ods.rs, ORCID [0009-0008-4743-8559](https://orcid.org/0009-0008-4743-8559)

dr Ilija Batas Bjelić, naučni saradnik, Institut tehničkih nauka SANU, ilija.batas-bjelic@itn.sanu.ac.rs, ORCID [0000-0002-4747-7186](https://orcid.org/0000-0002-4747-7186)

prof. dr Nikola Rajaković, redovni profesor u penziji, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija, rajakovic@etf.rs, ORCID [0009-0004-2268-4631](https://orcid.org/0009-0004-2268-4631)

dr Tomislav Rajić, docent, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija, rajic@etf.rs, ORCID [0000-0003-4796-4117](https://orcid.org/0000-0003-4796-4117)

Power System Planning and Operation in Case of High Electricity Production in Solar Power Plants

Abstract – Drop of solar panels prices at the world marked has caused construction of large number of solar power plants in relatively short time period. That is the reason why this type of renewable electricity sources is constructed far intensively than the other types of power plants. Capacities of solar power plants vary from those of several kW that are connected to distribution low voltage grid, to large ones, the capacities of which are order of magnitude of hundreds of MW, connected to transmission system. Expansion of solar power plants construction in Europe and world changes current electricity production profile opening questions of balancing of such production, its evacuation and future price. Future market price of electricity produced in solar power plants is the issue the investors are the most interested in and which is the most difficult to answer. On the other side, issue is raised about power system operation in conditions of large and variable solar power plants production. The paper considers and summarizes a number of issues related to power system operation in Southeast Europe in case of large electricity production in solar power plants.

Index terms – Solar power plant, Transmission system, Distribution system, Planning, Balancing, Variable production