

Mogućnosti učešća OIE u regulaciji napona u prenosnoj mreži Srbije

Miroslav Žerajić*, Todor Šiljegović**, Pavle Gorašević***, Đorđe Lazović*, Bojana Škrbić*, Željko Đurišić*

*Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet u Beogradu

**Go2Power Consulting

***Elektroenergetski koordinacioni centar

Rezime - Integracija obnovljivih izvora energije (OIE) menja dosadašnji koncept upravljanja i planiranja elektroenergetskog sistema. Pored značajnih topoloških promena i nastanka novih velikih centara proizvodnje električne energije koje utiču na promenu dominantnih smerova tokova snaga, menja se i uticaj na naponske prilike u elektroenergetskom sistemu u pogledu mogućnosti učešća OIE u regulaciji napona. Današnje tehnologije invertora i energetska elektronika u sistemima OIE omogućavaju im da učestvuju u regulaciji napona kako bi pomogli u održavanju napona mreže u prihvatljivim granicama i dizajnirani su da obezbede podršku napona i regulaciju reaktivne snage. Savremeni vetroagregati su sposobni da rade u širokom opsegu generisanja/apsorbovanja reaktivne snage pri različitim generisanjima aktivne snage, kao i u režimima bez vetra, dok su savremeni PV sistemi sposobni da pruže podršku regulacije napona i regulaciju reaktivne snage, kako u uslovima obdanice, kada generišu aktivnu snagu, tako i u noćnim satima i uslovima oblačnosti. Upravljaajući reaktivnom snagom, ovakvi sistemi mogu pomoći u održavanju odgovarajućih vrednosti napona u mreži. U ovom radu biće predstavljeni rezultati analize uticaja OIE na naponske profile u karakterističnim čvorištima prenosnog sistema Srbije, za period jedne godine, sa satnom rezolucijom. Analiza će biti sprovedena za dva scenarija: postojeće stanje prenosnog sistema sa već priključenim OIE i perspektivno stanje prenosnog sistema koje obuhvata planirane projekte priključenja OIE na prenosni sistem. Poređenjem rezultata za ova dva scenarija, moguće je utvrditi uticaj OIE na naponski profil u svim radnim stanjima prenosnog sistema i mogućnosti učešća OIE u regulaciji napona u prenosnoj mreži Srbije.

Ključne reči - vetroelektrane, fotonaponske elektrane, reaktivna snaga, regulacija napona, DigSILENT PowerFactory,

I UVOD

Prema [1], analize kvaliteta napona u prenosnoj mreži Srbije ukazuju da postoje mesta u mreži gde željeni kvalitet nije postignut u određenim radnim režimima, kao i da postoji tendencija ka njegovom pogoršanju, naročito na naponskim nivoima 400 kV i 220 kV. Takođe prema [1], primetno je da prenosni sistem u Republici Srbiji na godišnjem nivou prima reaktivnu energiju od svih suseda, ili usled znatno višeg profila napona kod suseda, ili usled nepostojanja lokalnih kapaciteta za regulaciju napona u tom delu prenosnog sistema, pri čemu ovakav profil tokova reaktivnih snaga u velikoj meri doprinosi javljanju previsokih vrednosti napona u nekim od najvažnijih čvorišta u prenosnom sistemu Srbije. Da bi se utvrdio optimalan način smanjenja previsokih napona, izrađena je Regionalna

studija regulacije napona, kojom je predložena ugradnja uređaja za kompenzaciju reaktivne snage u regionu WB6 (*Western Balkan Six*) [2]. Navedena regionalna studija izvodljivosti poboljšanja naponskih prilika je trebalo da kao rezultat predloži optimalni kapacitet i lokacije za ugradnju prigušnica, tako da se na ekonomski najefikasniji način reše uočeni problemi na regionalnom nivou. Za prenosni sistem Republike Srbije analizom je pokazano da je optimalno ugraditi varijabilni šant reaktor u RP 400 kV u transformatorskoj stanici 400/110 kV Vranje 4. Problem previsokih napona je posledica rasterećenih prenosnih vodova najviših napona, koji često rade ispod granice prirodne snage. Slična problematika je analizirana u [3], gde je pojava vrednosti napona iznad maksimalno dozvoljene posmatrana lokalno, na jednom manjem delu prenosne mreže, sa mogućnošću učešća vtroelektrana u regulaciji napona, sa akcentom na opciju „*Wind free*“, kada vetroagregati imaju mogućnost proizvodnje/preuzimanja reaktivne snage i u režimima bez vetra. Tehnologija invertora koji se koriste u realizaciji projekata solarnih elektrana imaju sličnu opciju, tzv. „*noćni režim*“, koja omogućava proizvodnju/preuzimanje reaktivne snage i u uslovima kada je insolacija jednaka nuli. U ovom radu će pojava previsokih napona u prenosnoj mreži biti posmatrana na sistemskom nivou, koristeći i vtroelektrane i solarne elektrane za učešće u regulaciji napona.

II METODOLOGIJA PRORAČUNA

Sagledavanje uticaja učešća vtroelektrana i solarnih elektrana u regulaciji napona na nivou celog prenosnog sistema Srbije je za potrebe ovog rada sprovedeno prema sledećoj metodologiji:

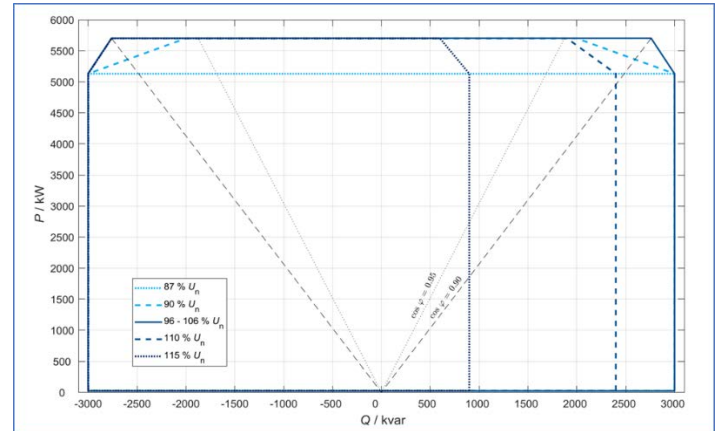
1. priprema simulacionog modela prenosne mreže u programskom paketu *DigSILENT PowerFactory* [4] tako da topologija i uklopna stanja odgovaraju trenutnom stanju prenosnog sistema;
2. unos izmerenih vrednosti potrošnje sa satnom rezolucijom za period od jedne godine (korišćeni podaci za 2023. godinu);
3. unos izmerenih vrednosti proizvodnje elektrana koje su već priključene na prenosni sistem sa satnom rezolucijom za period od jedne godine (korišćeni podaci za 2023. godinu);
4. unos izmerenih vrednosti razmena sa susednim prenosnim sistemima po interkonektivnim dalekovodima sa satnom rezolucijom za period od jedne godine (korišćeni podaci za 2023. godinu);
5. unos izmerenih vrednosti napona na interkonektivne „X“ čvorove korišćenjem elementa „*External Grid*“ sa satnom rezolucijom za period od jedne godine (korišćeni podaci

- za 2023. godinu);
- simulacija tokova snaga za 8760 sati za 2023. godinu;
 - poređenje izmerenih i proračunatih vrednosti napona na sabirnicama 400 kV i 220 kV postrojenja na kojima su merenjima zabeležene najviše vrednosti napona u većem broju sati u toku analizirane 2023. godine;
 - proračun koeficijenta linearne korelacije između izmerenih i proračunatih vrednosti napona i upoređivanje broja sati u toku godine u kojima je vrednost napona bila veća od maksimalno dozvoljene;
 - eventualna korekcija simulacionog modela i ponavljanje tačaka 6, 7 i 8, kako bi se dobio što veći koeficijent korelacije;
 - dodavanje novih vetroelektrana i solarnih elektrana u različita čvorišta prenosne mreže, vodeći računa o regionalnim potencijalima projekata vjetroelektrana i solarnih elektrana koji su u razvoju;
 - generisanje satnih snaga proizvodnje vetroelektrana i fotonaponskih elektrana za sve regione u kojima se razvijaju projekti planirani u tački 10. Aktivne snage proizvodnje su procenjene korišćenjem metodologije opisane u [8,9] na osnovu raspoloživih mjernih podataka o regionalnim potencijalima vjetra i insolacije;
 - unos pogonske karte za nove vetro- i solarne elektrane;
 - simulacija tokova snaga za 8760 vremenskih trenutaka za slučajeve kada vetroelektrane i solarne elektrane rade sa $\cos\varphi=1$ i kada rade u kapacitivnom režimu, u skladu sa modelovanom pogonskom kartom;
 - poređenje rezultata simulacija iz tačaka 6 i 13.

III POGONSKA KARTA VETROAGREGATA

Mogućnosti vetroagregata za pružanje reaktivne podrške zavise od različitih faktora, najviše od tipa vetrogeneratora, napona na priključcima generatora i vrednosti izlazne aktivne snage agregata. Vetrogeneratori koji su delimično/potpuno priključeni na mrežu preko pretvarača, najčešće su projektovani za rad u naponskom opsegu od 85% do 115% u odnosu na nazivni napon sabirnica vetroagregata. Sposobnost injektiranja reaktivne snage se smanjuje kako se napon na sabirnicama vetroagregata povećava (usled unutrašnjih ograničenja pretvarača), kao i u situacijama kada je napon na sabirnicama vetroagregata nizak (zbog strujnih ograničenja pretvarača). Vetrogeneratori koji imaju pogonsku kartu „pravougaonog“ ili „D oblika“ mogu biti upotrebljeni u svrhe regulacije napona čak i kada generatori ne proizvode aktivnu snagu (u periodima kada je turbina zaustavljena zbog slabog vetra), tzv „Wind free“ mod. Obično, ova opcija nije automatski aktivirana, nego je potrebno da proizvođač to omogući. U ovom radu, za potrebe analiza, korišćena je pogonska karta vetroagregata *Nordex Delta4000 N149/5.7 MW* [5]. Na Slici 1 je pogonska karta prikazana grafički, dok je na Slici 2 prikazana tabelarno, sa vrednostima reaktivne snage u induktivnom i kapacitivnom režimu, pri različitim vrednostima napona na izlazu iz invertora.

Prema [6], vetroagregat *Nordex Delta4000 N149/5.7 MW* poseduje funkcionalnost „STATCOM“, koja omogućava proizvodnju/preuzimanje reaktivne snage u uslovima bez vetra. Za konkretan vetroagregat, vrednosti reaktivnog opsega su date na Slici 3.



Slika 1. Pogonska karta vetroagregata *Nordex Delta4000 N149/5.7 MW*

Active power P / kW		25	5130	5700
Maximum reactive power range	87 % U_n	-3000	-3000	-
	-Q...+Q / kvar	3000	3000	-
	90 % U_n	-3000	-3000	-2000
	-Q...+Q / kvar	3000	3000	2000
	96...106 % U_n	-3000	-3000	-2761
	-Q...+Q / kvar	3000	3000	2761
	110 % U_n	-3000	-3000	-2761
	-Q...+Q / kvar	2400	2400	1900
	115 % U_n	-3000	-3000	-2761
	-Q...+Q / kvar	900	900	600

Slika 2. Tabelarni prikaz pogonske karte vetroagregata *Nordex Delta4000 N149/5.7 MW*

		Without STATCOM	With STATCOM
Maximum reactive power range (10-min-average)	90 % U_n	0	-1700
	-Q...+Q / kvar	0	1700
	100 % U_n	0	-1900
	-Q...+Q / kvar	0	1700
	110 % U_n	0	-1900
	-Q...+Q / kvar	0	0

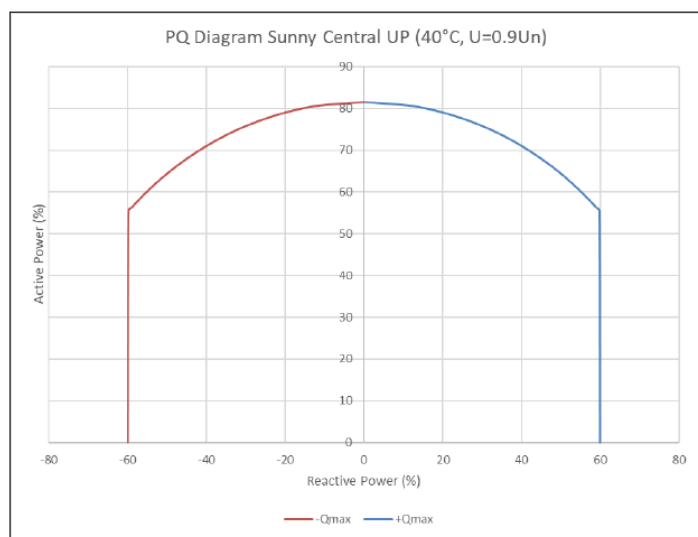
Slika 3. Tabelarni prikaz reaktivnih mogućnosti vetroagregata *Nordex Delta4000 N149/5.7 MW* u uslovima bez vetra

IV POGONSKA KARTA INVERTORA SOLARNIH ELEKTRANA VELIKE SNAGE

Invertori solarnih elektrana velike snage imaju značajnu fleksibilnost u pogledu generisanja aktivne i reaktivne snage, te mogu bitno doprineti unapređenju fleksibilnosti elektroenergetskog sistema. Glavna razlika u odnosu na konvencionalne elektrane je u tome što je raspoloživa aktivna snaga diktirana solarnom iradijacijom kao primarnim izvorom energije koji se ne može planirati. Pored toga, ukoliko solarna elektrana u normalnim pogonskim uslovima radi sa maksimalnom raspoloživom aktivnom snagom, proširenje reaktivnih mogućnosti je moguće jedino vršiti na račun smanjenja proizvodnje aktivne snage, što se ostvaruje redukcijom efikasnosti konverzije solarne energije u električnu pomoću

MPPT uređaja. Pogonska karta invertora se dinamički menja i generalno, zavisi od ambijentalnih uslova, modula mrežnog napona i karakteristika samog invertora. Tokom noći, fotonaponski paneli su električno odvojeni od invertora, pa se čitava raspoloživa prividna snaga invertora može iskoristiti za reaktivnu podršku sistemu (funkcionalnost STATCOM-PV). Ovo je značajno veći kapacitet reaktivne snage u odnosu na period tokom obdanice, kada se kapacitet invertora dominantno koristi za generisanje aktivne snage.

Prema [7], invertori mogu pružiti reaktivnu podršku (apsorbovanje ili generisanje reaktivne snage) i do 60% u odnosu na instalisanu snagu invertora u većem delu mogućih režima rada kada je $P < 50\% P_{max}$. Za opterećenja u opsegu 50–100%, raspoloživa reaktivna snaga invertora se redukuje. U slučaju da su naponi u priključnoj mreži ispod nominalne vrednosti i ambijentalne temperature visoke, opseg aktivne snaga za koji je moguća puna reaktivna podrška se smanjuje. Na Slici 4 je prikazana pogonska karta invertora *Sunny Central 4600 UP*, koja je i korišćena za potrebe ovog rada.



Slika 4. Pogonska karta invertora *Sunny Central 4600 UP*

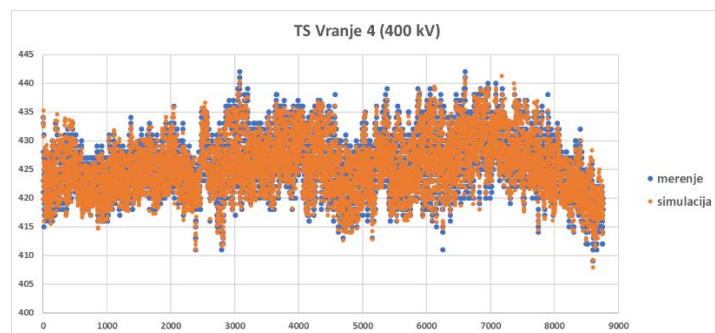
V VALIDACIJA BAZNOG SIMULACIONOG MODELA

Validacija baznog simulacionog modela prenosne mreže je sprovedena poređenjem proračunatih vrednosti napona na sabirnicama 400 kV i 220 kV postrojenja za koja su bila dostupna merenja za period od godinu dana. Uporedni prikaz rezultata simulacije na baznom modelu i izmerenih vrednosti napona za TS Vranje 4 (400 kV) i TS Novi Sad 3 (220 kV) je prikazan na Slici 5 i Slici 6, respektivno.

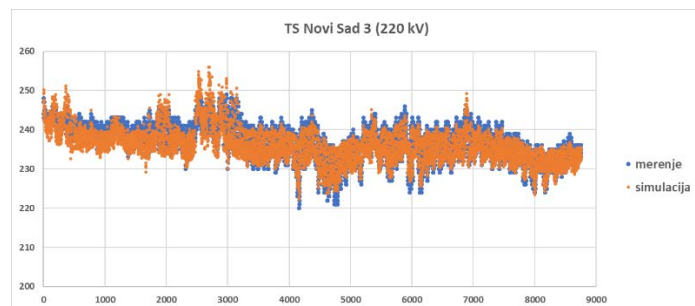
Nakon sprovedene simulacije, rezultati su izvezeni u Excel fajl, grafički su prikazani rezultati simulacije u funkciji izmerenih vrednosti i određen koeficijent linearne korelacije vrednosti dobijenih simulacijom i izmerenih vrednosti. Korelacija sa koeficijentom većim od 0.85 se smatra vrlo dobrom, ili odličnom. Na Slici 7 i Slici 8 su prikazani rezultati za TS Vranje 4 i TS Novi Sad 3, respektivno.

U Tabeli 1 su prikazani proračunati koeficijenti linearne korelacije vrednosti dobijenih simulacijom i izmerenih vrednosti

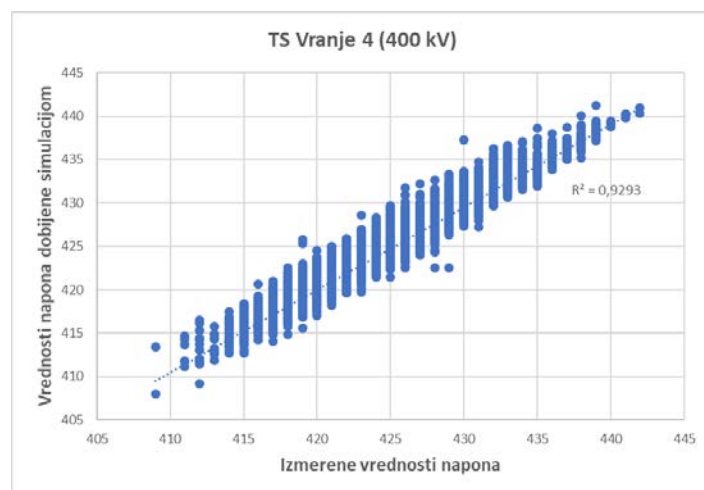
i za ostale posmatrane sabirnice u baznom modelu, dok je u Tabeli 2 prikazan broj sati u kojima je vrednost napona bila iznad maksimalno dozvoljene vrednosti radnog napona za odabrana 400 kV i 220 kV čvorišta u prenosnoj mreži. Na osnovu prikazanih rezultata, može se zaključiti da simulacioni model dovoljno verno odslikava radne režime prenosnog sistema tokom godine i da je u takav simulacioni model moguće dodati nove elektrane i analizirati njihov uticaj na naponski profil u prenosnom sistemu.



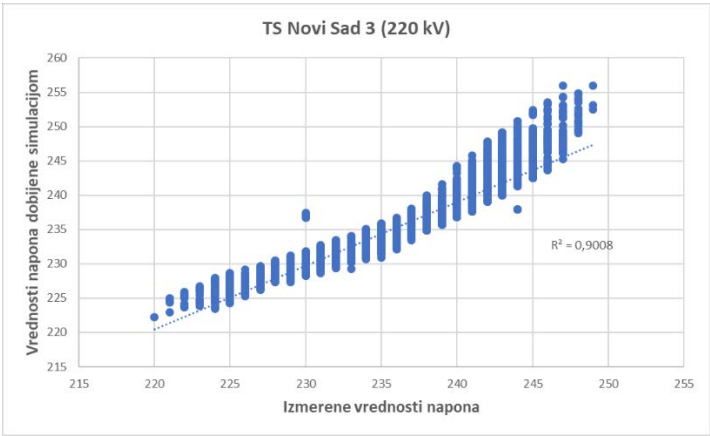
Slika 5. Prikaz rezultata simulacije i izmerenih vrednosti napona za 400 kV sabirnice u TS Vranje 4



Slika 6. Prikaz rezultata simulacije i izmerenih vrednosti napona za 220 kV sabirnice u TS Novi Sad 3



Slika 7. Prikaz rezultata simulacije u funkciji izmerenih vrednosti i proračunatog koeficijenta linearne korelacije za 400 kV sabirnice u TS Vranje 4



Slika 8. Prikaz rezultata simulacije u funkciji izmerenih vrednosti i proračunatog koeficijenta linearne korelacije za 220 kV sabirnice u TS Novi Sad 3

Tabela 1. Proračunati koeficijent linearne korelacije za odabrana 400 kV i 220 kV čvorišta u prenosnoj mreži

Postrojenje u TS	R^2
Vranje 4 (400 kV)	0,9393
Sremska Mitrovica 2 (400 kV)	0,9956
Subotica 3 (400 kV)	0,9695
TS Niš 2 (400 kV)	0,8888
TS Požega (220 kV)	0,8704
TS Novi Sad 3 (220 kV)	0,9008

Tabela 2. Broj sati u kojima je vrednost napona bila iznad maksimalno dozvoljene za odabrana 400 kV i 220 kV čvorišta u prenosnoj mreži

Postrojenje u TS	Broj sati iznad maksimalnog limita	
	Merenje	Rezultat simulacije
Vranje 4 (400 kV)	7501	7599
Sremska Mitrovica 2 (400 kV)	4628	4519
Subotica 3 (400 kV)	1212	1240
TS Niš 2 (400 kV)	4043	3948
TS Požega (220 kV)	3289	3428
TS Novi Sad 3 (220 kV)	683	698

VI MODELOVANJE NOVIH VETROELEKTRANA I SOLARNIH ELEKTRANA

Nakon validacije, u simulacioni model su dodate nove vetroelektrane i nove solarne elektrane. Svaka nova elektrana je modelovana kao ekvivalentni generator koji je preko mrežnih energetskih transformatora 400/X ($u_k = 12\%$) ili 110/X ($u_k = 12\%$) priključen na prenosni sistem. Ovakvim pristupom se zanemaruje srednjenaponska kablovska mreža elektrane, kao i transformatori SN/NN. Postojanje ovih elemenata u modelu bi dalo još bolje rezultate, s obzirom na činjenicu da i ovi elementi utiču na nivo reaktivne snage u tački priključenja. Naročito je ovo bitno za režime rada elektrana sa značajnim generisanjem aktivnih snaga. U takvim režimima, redne reaktanse transformatora i pogonske reaktanse internih kablovskih vodova mogu povlačiti značajnu reaktivnu snagu iz mreže čime povećavaju maksimalni raspoloživi kapacitet vetroelektrana i solarnih elektrana za apsorbovanje reaktivne snage u tački priključenja elektrane na prenosnu mrežu, a time daju i dodatne regulacione kapacitete za sniženje napona u prenosnoj mreži. Ekvivalentni generatori su modelovani po regionima (geografski gledano), i ukupna snaga u MW za vetroelektrane i solarne elektrane po svakom regionu je prikazana u Tabeli 3.

Tabela 3. Modelovane vetroelektrane i solarne elektrane po regionima za perspektivno stanje 2030. godine

Region	Vetroelektrane (MW)	Solarne elektrane (MW)
Južni Banat	1400	100
Sredni i severni Banat	200	250
Bačka i Srem	800	300
Istočna Srbija	400	500
Južna i centralna Srbija	400	800
Zapadna Srbija	0	50
Ukupno	3200	2000

Svakom ekvivalentnom generatoru koji predstavlja vetroelektranu je pridružena pogonska karta *Nordex Delta4000 N149/5.7 MW*, dok je svakom ekvivalentnom generatoru koji predstavlja solarnu elektranu pridružena pogonska karta *Sunny Central 4600 UP*. Treba istaći da i drugi komercijalni modeli savremenih vetroagregata i fotonaponskih invertora imaju slične pogonske karte, tako da se rezultati koji su dobijeni u ovom radu mogu i u kvalitativnom i u kvantitativnom smislu posmatrati kao generalni. Profil satne proizvodnje je pridružen svakom ekvivalentnom generatoru u zavisnosti od regiona u kome se nalazi, u relativnim jedinicama, tako da se na apsolutne vrijednosti prelazi množenjem sa instalisanom snagom u pojedinim čvorištima.

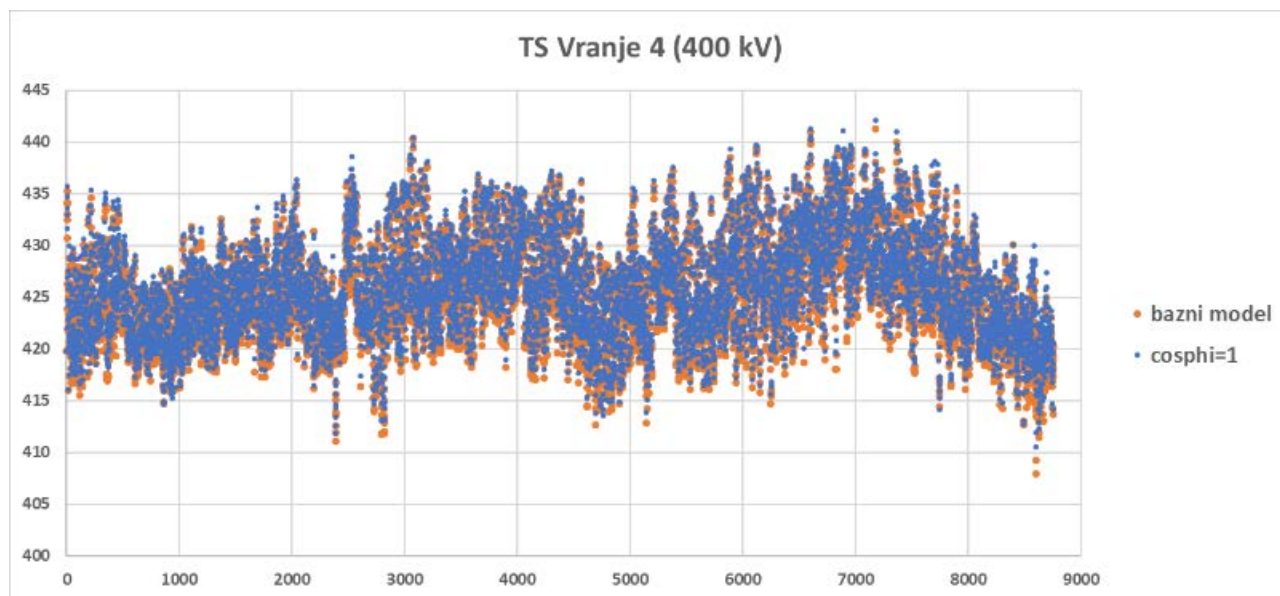
VII REZULTATI PRORAČUNA

Nakon dodavanja novih 5200 MW proizvodnje iz OIE, prema podacima datim u Tabeli 3, sprovedene su simulacije za dva slučaja:

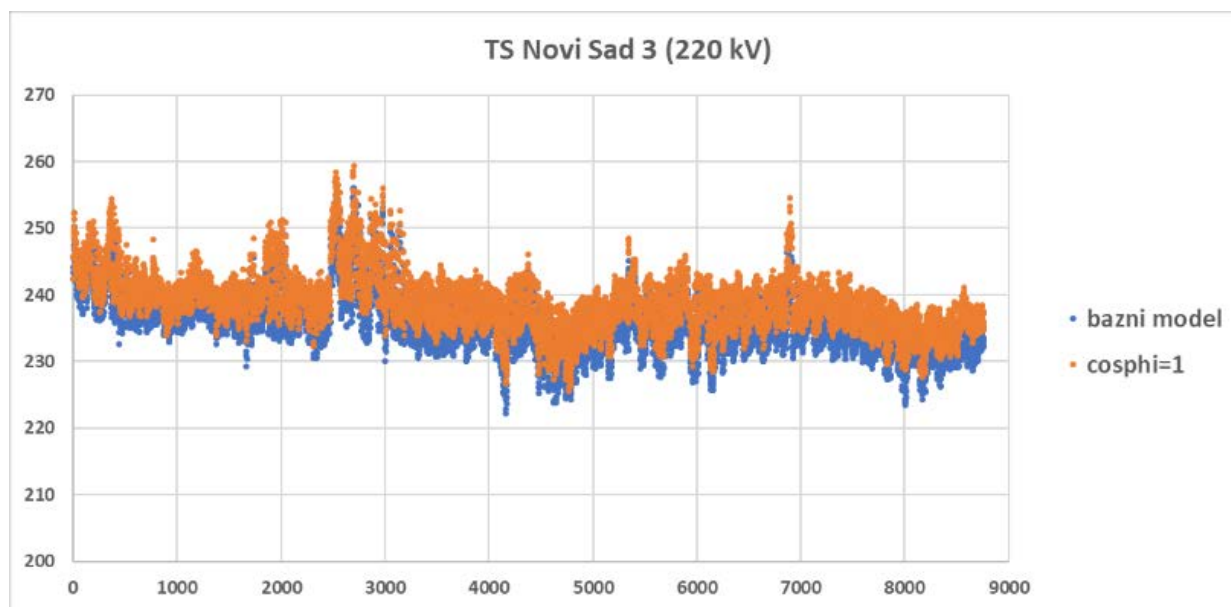
1. kada nove elektrane rade u režimu $\cos\varphi=1$,
2. kada nove elektrane rade u kapacitivnom režimu, što je postignuto zadavanjem postavne vrednosti napona koja je

manja od vrednosti napona mreže.

U slučaju kada nove elektrane rade u režimu $\cos\phi=1$, ne dolazi do smanjenja napona u prenosnoj mreži. Naprotiv, broj sati u kojima je vrednost napona veća od maksimalno dozvoljene se povećava usled povećanja generisanja aktivne snage. Grafički prikaz rezultata za ovaj slučaj za TS Vranje 4 (400 kV) i TS Novi Sad 3 (220 kV) je prikazan na Slici 9 i Slici 10, respektivno.



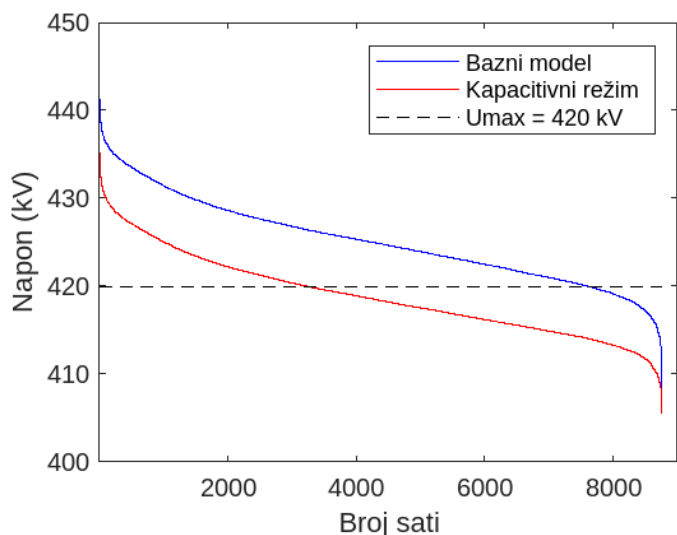
Slika 9. Prikaz vrednosti napona na 400 kV sabirnicama u TS Vranje 4 u baznom modelu i kada su priključene nove elektrane koje rade sa $\cos\varphi=1$



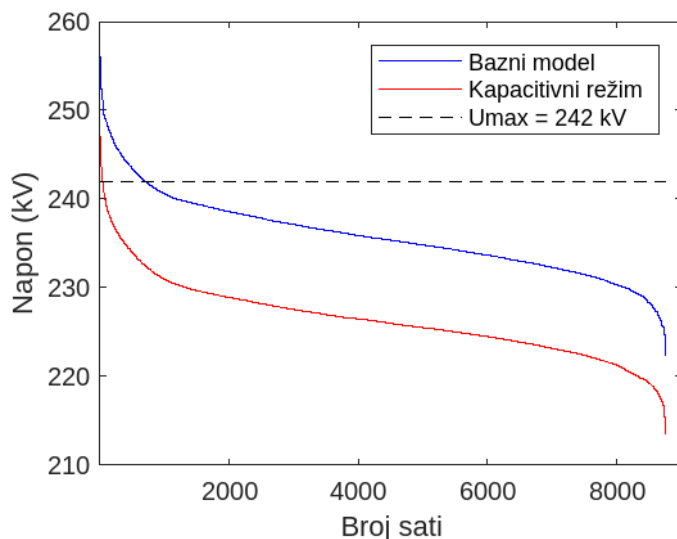
Slika 10. Prikaz vrednosti napona na 220 kV sabirnicama u TS Novi Sad 3 u baznom modelu i kada su priključene nove elektrane koje rade sa $\cos\varphi=1$

U slučaju kada nove elektrane rade u kapacitivnom režimu, u skladu sa dodeljenom pogonskom kartom, primetno je značajno smanjenje napona u prenosnoj mreži. Grafički prikaz rezultata za ovaj slučaj je prikazan na slikama 11 i 12.

Rezultati za ostala posmatrana čvorišta su data u Tabeli 4. Procentualno smanjenje broja sati u kojima je vrednost napona iznad maksimalno dozvoljene vrednosti na posmatranim čvorištima je prikazana u Tabeli 5.



Slika 11. Prikaz vrednosti napona na 400 kV sabirnicama u TS Vranje 4 u baznom modelu i kada nove elektrane rade u kapacitivnom režimu



Slika 12. Prikaz vrednosti napona na 220 kV sabirnicama u TS Novi Sad 3 u baznom modelu i kada nove elektrane rade u kapacitivnom režimu

Tabela 4. Proračunati koeficijent korelacije za odabrana 400 kV i 220 kV čvorišta u prenosnoj mreži

Postrojenje u TS	Broj sati na godišnjem nivou sa naponima iznad maksimalne dozvoljene vrednosti		
	Bazni model	Rezultat simulacije nakon priključenja novih elektrana koje rade u kapacitivnom režimu	Rezultat simulacije nakon priključenja novih elektrana koje rade sa $\cos\varphi=1$
Vranje 4 (400 kV)	7599	3219	7893
Sremska Mitrovica 2 (400 kV)	4519	1611	5704
Subotica 3 (400 kV)	1240	102	2263

TS Niš 2 (400 kV)	3948	26	5180
TS Požega (220 kV)	3428	1438	3859
TS Novi Sad 3 (220 kV)	698	37	1487

Tabela 5. Procentualno smanjenje broja sati u kojima je vrednost napona iznad maksimalno dozvoljene vrednosti za odabrana 400 kV i 220 kV čvorišta u prenosnoj mreži

Postrojenje u TS	Procentualno smanjenje broja sati narušenja limita (%)
Vranje 4 (400 kV)	-57,64
Sremska Mitrovica 2 (400 kV)	-64,35
Subotica 3 (400 kV)	-91,77
TS Niš 2 (400 kV)	-99,34
TS Požega (220 kV)	-58,05
TS Novi Sad 3 (220 kV)	-94,70

VIII ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata, zaključuje se da vetroelektrane i solarne elektrane koje se priključuju na prenosni sistem mogu da budu značajan resurs u pružanju usluge regulacije napona, naročito u slučajevima kada su vrednosti napona u prenosnoj mreži iznad maksimalno dozvoljenih vrednosti. Da bi se ovo postiglo, elektrane moraju da budu opremljene invertorima koji omogućavaju proizvodnju/preuzimanje reaktivne snage i u režimima kada nema primarnog energenta, odnosno kada ne generišu reaktivnu snagu. Ovaj zahtev može biti integrisan u buduća pravila o radu prenosnog sistema, čime bi se obezbedilo da budući OIE koji budu priključeni na prenosnu mrežu mogu biti pouzdan resurs za rešavanje problema previsokih napona.

Nakon sprovedenih analiza, pokazuje se da pravilnim rasporedom OIE u sistemu, kumulativni uticaj svih elektrana kada rade u kapacitivnom režimu dovodi do smanjenja broja sati u kojima je maksimalna dozvoljena vrednost napona narušena za preko 90% u odnosu na stanje kada ovih elektrana nema. Najmanje procentualno smanjenje broja sati se uočava na interkonektivnim transformatorskim stanicama, što je, opet, posledica uticaja visokih vrednosti napona u susednim sistemima. Međutim, uzevši u obzir da je i u ovim transformatorskim stanicama uočeno procentualno smanjenje broja sati veće od 50% u odnosu na stanje kada ovih elektrana nema, zaključuje se da je reaktivna mogućnost OIE, naročito u kapacitivnom režimu, resurs koji može da smanji potrebu za ugradnjom dodatne opreme za rešavanje problema visokih napona, a ujedno predstavlja resurs koji je dostupan, ili može da postane dostupan ukoliko se stvore konkurentni uslovi na tržištu ili izmene tehnički zahtevi za kapacitivni režim u pogledu maksimalne reaktivne snage koju elektrana mora da preuzme u tački priključenja.

Ukoliko bi vlasnik elektrane za pružanje usluge regulacije napona dobijao odgovarajuću finansijsku nadoknadu, to bi delom ili u potpunosti kompenzovalo troškove usled ograničenja proizvodnje u toku eksploatacionog veka. Ukoliko je ovakva usluga dovoljno tržišno konkurentna, u režimima kada je proizvodnja OIE visoka, postojala bi mogućnost da smanjenje

trenutne aktivne snage zarad proširenja opsega reaktivnih mogućnosti (naročito kod solarnih elektrana) bude isplativija od zarade ostvarene plasmanom aktivne energije, što je, svakako, jedna od tema za dalje istraživanje.

Dodatno, usled loše korelisanosti proizvodnje vetroelektrana i solarnih elektrana, pružanje značajne reaktivne podrške sistemu je gotovo uvek omogućeno iz jednog tipa elektrane, pa je iz tog razloga bitno približno jednako rasporediti procenat učešća instalisanog kapaciteta oba tipa elektrana u ukupnom instalisanom kapacitetu sistema.

Prema trenutno javno dostupnim podacima, postoji preko 11 GW zahteva za priključenje OIE na prenosni sistem. Iz rezultata ovog rada se može naslutiti da bi, ukoliko zaista svi OIE budu priključeni na prenosni sistem, korišćenjem njihovih reaktivnih mogućnosti uz odgovarajuću tehnologiju (STATCOM, STATCOM-PV), problem previsokih napona bi se sveo na minimum ili potpuno rešio. U tom pogledu bitno je voditi računa o prostornoj disperzivnosti elektrana, čime se, pored pozitivnih efekata na tokove snaga, omogućava i efikasno rešavanje problema previsokih napona u celoj prenosnoj mreži Srbije.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Plan razvoja prenosnog sistema, za period 2023-2032. <https://www.aers.rs/FILES/JavnaKonsultacija/Nacrt%20Plana%20razvoja%20pren.%20sistema%202023-2032.pdf> [pristupljeno 15.01.2024]
- [2] Regional Study for Voltage Profile Improvement: Feasibility Study, <https://wbif.eu/technicalassistancegrants/WB17-REG-ENE-01> [pristupljeno 15.01.2024]
- [3] Šiljegović, T., Žerajić, M., Džodić, K., Đurišić, Ž. Analiza potencijala vetroelektrana za regulaciju napona u delovima prenosne mreže Srbije sa kritičnim naponskim prilikama, in Proc. 36. savetovanje CIGRE Srbija: *Fleksibilnost elektroenergetskog sistema*, Zlatibor, Srbija, pp. 1163-1176, 22-26. maj 2023. <https://doi.org/10.46793/CIGRE36.1163S>
- [4] DiGSILENT PowerFactory, <https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html>, [pristupljeno 15.01.2024]
- [5] Reactive power capability, Wind turbine class Nordex Delta4000, Rev. 2 / 2021-06-25, 2000991EN, Datasheet, 2021. <https://www.nordex-online.com/en/product/n149-5-x/> [pristupljeno 15.01.2024]
- [6] STATCOM option for extending the reactive power capability, Wind turbine class Nordex Delta4000, Rev. 0 / 2019-05-29, 2000992EN, Datasheet, 2019. https://www.uvp-verbund.de/documents-ige-ng/igc_mv/B6EFBE01-40A8-4332-B43D-6896262EEB11/1%20Product%20Preview%20Documentation%20Package%20N149%205,7%20MW.pdf [pristupljeno 15.01.2024]
- [7] Technical Information Document, Sunny Central UP (-US), SMA Solar Technology AG, Niestetal, 2020. <https://files.sma.de/downloads/SC4xxxUP-DS-en-30.pdf> [pristupljeno 15.01.2024]
- [8] Đurišić, Ž., Škrbić, B. Potencijal energije sunca i vetra za strateško planiranje dekarbonizacije proizvodnje električne energije u Srbiji, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 4, pp. 1-11, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-4.01D>
- [9] Škrbić, B., Đurišić, Ž. Novel planning methodology for spatially optimized res development which minimizes flexibility requirements for their integration into the power system, *Energies*, Vol. 16, No. 7, pp. 3251, 2023. <https://doi.org/10.3390/en16073251>

AUTORI/AUTHORS

msr Miroslav Žerajić – master inženjer elektrotehnike i računarstva, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, mikozerajic@gmail.com, ORCID [0000-0001-9601-9045](https://orcid.org/0000-0001-9601-9045)
msr Todor Šiljegović – master inženjer elektrotehnike i računarstva, Go2Power, todom.siljegovic@go2power.eu
msr Pavle Gorašević – master inženjer elektrotehnike i računarstva, Elektroenergetski koordinacioni centar
msr Đorđe Lazović – master inženjer elektrotehnike i računarstva, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, lazovic@etf.bg.ac.rs, ORCID [0000-0002-9736-9810](https://orcid.org/0000-0002-9736-9810)
dr Bojana Škrbić – docent, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, bskrbi@etf.bg.ac.rs, ORCID [0000-0002-0948-8351](https://orcid.org/0000-0002-0948-8351)
dr Željko Đurišić – redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, djurisic@etf.rs, ORCID [0000-0003-2048-0606](https://orcid.org/0000-0003-2048-0606)

Possibilities of RES Participation in Voltage Control in the Transmission Grid of Serbia

Abstract – The integration of renewable energy sources (RES) changes the current concept of power system operation and planning. In addition to significant changes in topology and the emergence of new large centres of electricity production, which affect the change in the dominant directions of power flows, the impact on voltage profile in the power system is also changing in terms of the possibility of RES participation in voltage control. Today's inverter technologies and power electronics in RES systems allow them to participate in voltage control to help maintain grid voltage within acceptable limits and are designed to provide voltage support and reactive power control. Modern wind turbines are capable of operating in a wide range of reactive power generation/absorption at different active power setpoints, as well as in no-wind regimes, while modern PV systems are capable of providing voltage control support and reactive power control even in conditions of absence of the primary energy source. By controlling output voltage and reactive power, such systems can help maintain proper voltage values in the grid. This paper will present the results of the analysis of the impact of RES on the voltage profile of the Serbian transmission system, for a period of one year, with an hourly resolution. The analysis will be carried out for two scenarios: the existing state of the transmission system with already connected RES and the future/prospective state of the transmission system that includes future/planned projects of connection of RES to the transmission system. By comparing the results for these two scenarios, it is possible to determine the impact of RES on the voltage profile in all operating conditions of the transmission system and the possibility of RES participation in voltage control in the transmission system of Serbia.

Index Terms – Wind power plants, PV power plants, Reactive power, Voltage regulation, DiGSILENT PowerFactory