

## **POVEĆANJE KAPACITETA ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE ZA INTEGRACIJU DISTRIBUIRANIH GENERATORA**

A. BOSOVIĆ, JP Elektroprivreda BiH d.d. – Sarajevo, Bosna i Hercegovina  
N. HASANPAHIĆ, JP Elektroprivreda BiH d.d. – Sarajevo, Bosna i Hercegovina  
M. MEHOVIĆ, JP Elektroprivreda BiH d.d. – Sarajevo, Bosna i Hercegovina  
M. MUSIĆ, JP Elektroprivreda BiH d.d. – Sarajevo, Bosna i Hercegovina

### **UVOD**

U cilju smanjenja emisija CO<sub>2</sub> gasova, Evropska komisija je donijela Direktivu o promociji korištenja obnovljivih izvora energije 2009/28/EC (1), čime su zemlje članice između ostalog obavezane na postizanje udjela obnovljivih izvora energije od 20% u ukupnoj potrošnji energije do 2020. godine. Kao posljedica ove Direktive intenzivirana je gradnja elektrana na obnovljive izvore električne energije. Značajan procenat ovih elektrana su elektrane manje snage koje se priključuju na elektrodistributivne mreže. Broj i snaga distribuiranih generatora (DG) priključenih na elektrodistributivne mreže u Evropi stoga bilježi konstantan trend porasta već dugi niz godina.

Bosna i Hercegovina (BiH) je dužna implementirati Direktivu 2009/28/EC o promociji proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora, u skladu sa Ugovorom o osnivanju Energetske zajednice (2). U cilju promocije proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije, u Federaciji BiH (FBiH) je donesen Zakon o korištenju obnovljivih izvora energije i efikasne kogeneracije (3) i uspostavljen je sistem podsticaja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije. Kao rezultat se posljednjih godina bilježi konstantan porast broja izgrađenih elektrana na obnovljive izvore u FBiH pa time i u sistemu JP Elektroprivreda BiH d.d. – Sarajevo (JP EP BiH). Zasad se sve nove elektrane na obnovljive izvore energije priključuju na elektrodistributivnu mrežu. U elektrodistributivnim mrežama JP EP BiH je u 2015. godini bilo priključeno ukupno 86 DG-a ukupne instalisane snage 77 MW, od čega 53 MW DG-a na obnovljive izvore, uz godišnju proizvodnju električne energije od 476 GWh, od čega 229 GWh iz DG-a na obnovljive izvore.

Procesi priključenja i pogona DG-a u elektrodistributivnim mrežama JP EP BiH su regulisani zakonskim i podzakonskim aktima kao i internim tehničkim preporukama i procedurama. Priključenje novih DG-a na elektrodistributivne mreže JP EP BiH se analizira kroz elaborate priključenja. Uticaj DG-a na elektrodistributivne mreže se analizira u softverskom alatu (PowerCAD) i sa povremenim mjerenjima kvaliteta električne energije.

U nekim elektrodistributivnim mrežama su međutim već dostignuti maksimalni kapaciteti po pitanju integracije DG-a te je potrebno analizirati mogućnosti za povećanje kapaciteta ovih mreža. U ovom radu je ova analiza urađena za 10 kV dovod Grebak, koji je najduži sredjenaponski odvod u elektrodistributivnoj mreži JP EP BiH, sa priključena četiri DG-a ukupne snage 2070 kW. Na ovom odvodu nije moguće priključiti planiranih novih pet DG-a ukupne snage 2153 kW, bez daljeg narušavanja naponskih prilika izvan dopuštenih granica od  $\pm 10$  %. Cilj ovog rada je analizirati mogućnosti povećanja kapaciteta na ovom odvodu pomoću dvije mjere: prelazak na 20 kV

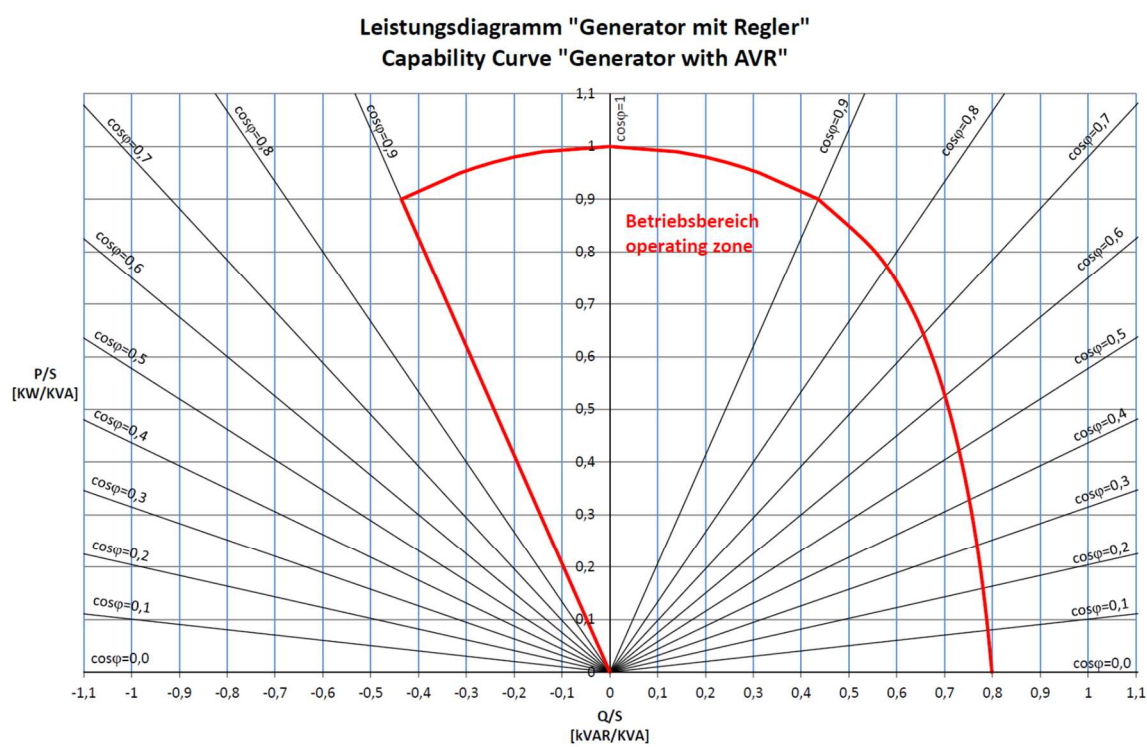
naponski nivo i upravljanje faktorom snage DG-a sa sinhronim generatorima. Analiza je urađena u profesionalnom alatu za analize elektrodistributivnih mreža PowerCAD a model je verifikovan uz pomoć rezultata mjerenja.

Ovaj rad je organizovan na način da su nakon uvodnog poglavlja u narednom poglavlju prezentirane mogućnosti rada DG-a sa kapacitivnim faktorom snage. Nakon toga su u sljedećem poglavlju date osnovne karakteristike analizirane srednjenaponske elektrodistributivne mreže – 10 kV odvodu Grebak. Potom su predstavljeni rezultati analize uticaja rada sa kapacitivnim faktorom snage postojećih DG-a na prilike u posmatranoj elektrodistributivnoj mreži. Nakon toga su prezentirani rezultati analize prelaska 10 kV odvoda Grebak na 20 kV naponski nivo uz promjenu kapacitivan faktor snage postojećih i budućih DG-a. Na kraju su dati zaključci rada.

## MOGUĆNOST RADA DISTRIBUIRANIH GENERATORA SA KAPACITIVNIM FAKTOROM SNAGE

Poznata činjenica iz teorije je da sinhroni generator pored proizvodnje aktivne snage može proizvoditi ili preuzimati reaktivnu snagu. Režim rada u kojem sinhroni generator proizvodi reaktivnu snagu se zove induktivni režim, s obzirom da struja vektorski kasni za naponom, te tada generator radi u nad-uzbudi. Režim rada u kojem sinhroni generator preuzima reaktivnu energiju se zove kapacitivni režim rada, s obzirom da tada struja vektorski prednjači naponu, te tada generator radi u pod-uzbudi.

Sinhroni generator međutim nije u stanju dugotrajno, stabilno i bez oštećenja raditi sa svim faktorima snage, te se mogućnosti generatora za rad u induktivnom ili kapacitivnom režimu rada vizuelno predstavljaju pogonskom kartom generatora. Primjer jedne pogonske karte realnog sinhronog generatora snage 778 kVA, proizvođača AEM iz Njemačke, je dat na Slici 1. Ovaj generator je instaliran u malu hidroelektranu mHE Kaljani, koja se nalazi na području Poslovne jedinice Goražde koja pripada elektrodistributivnoj mreži JP EP BiH. Sa Slike 1. možemo primijetiti da ovaj generator trajno može raditi sa faktorom snage u opsegu  $\cos\varphi=0$  ind. do  $\cos\varphi=0,9$  cap.



Auftrag/project: Griechenland/CINK

Typ/typ: SE 500 M10

Leistung/power: 778KVA

SLIKA 1 – POGONSKA KARTA SINHRONOG GENERATORA SNAGE 778 kVA, PROIZVOĐAČA AEM, INSTALIRANOG U mHE KALJANI

Dozvoljeni faktor snage  $\cos\varphi$  se za sve DG-e u elektrodistributivnim mrežama JP EP BiH definiše u procesu priključenja kroz Elektroenergetsku saglasnost, poštujući pri tome odredbe Tehničke preporuke za priključenje i pogon distribuiranih generatora – TP 17 (4). Postojeći DG-i u elektrodistributivnoj mreži JP EP BiH uglavnom rade sa induktivnim faktorom snage. Ovaj rad detaljnije analizira mogućnosti i efekte rada DG-a u kapacitivnom režimu rada, s obzirom da ovo može znatno pomoći u snižavanju napona u elektrodistributivnoj mreži. Generalna preporuka za razmatranje rada DG-a sa kapacitivnim faktorom snage je data u CIGRE tehničkom izvještaju (5),

gdje se u dijelu zaključci i preporuke kao primjer mogućeg pozitivnog efekta upravljanja DG-ima navodi rad u kapacitivnom režimu rada, u kojem DG-i preuzimaju reaktivnu energiju i pri tome snižavaju napone u mreži. Također, prema članu 103. Mrežnih pravila distribucije JP EP BiH (7), koje propisuje Regulatorna komisija za energiju u FBiH – FERK, Operator distributivnog sistema (ODS) ima pravo naložiti najpovoljniji režim rada DG-a, koji se pri pogonu DG-a mora ispoštovati. Prema Članu 108. istog dokumenta (7), ODS može usklađivati pogonsko uputstvo u skladu sa nastalim promjenama u mreži.

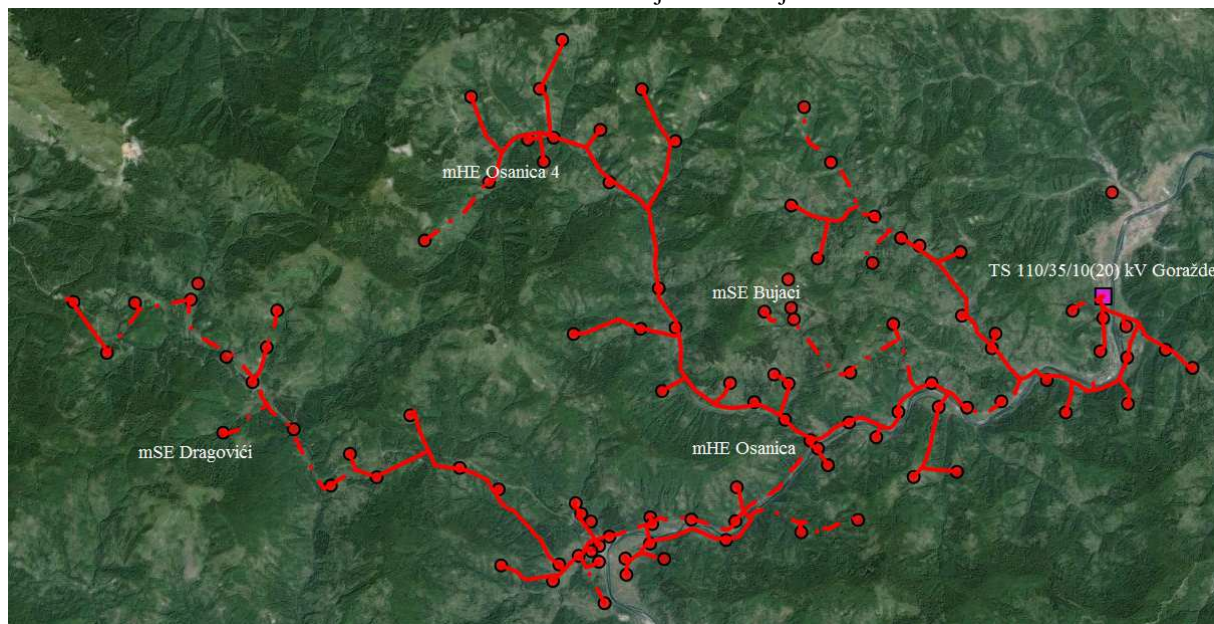
Mogući negativni efekti rada sinhronih generatora u induktivnom i kapacitivnom režimu rada su detaljno analizirani u CIGRE tehničkom izvještaju (6). Zaključeno je da rad u induktivnom i kapacitivnom režimu rada, poredeći sa radom uz  $\cos\varphi=1$ , dodatno zagrijava pojedine dijelove generatora. Negativni efekti koji se mogu javiti pri dugotrajnom radu u induktivnom i kapacitivnom režimu rada su ubrzano starenje izolacije statora i rotora, pojava kratkih spojeva između pojedinačnih namota rotora te pojačane vibracije jezgri statora i rotora. Dodatno, pri radu u kapacitivnom režimu moguća je pojava deterioracije izolacije između laminiranih limova, deterioracije izolacije između šipki statora te gubitak pobude i ispadanje iz sinhronizma.

Vraćajući se na Sliku 1. koja predstavlja pogonsku kartu realnog sinhronog generatora koji je instaliran u elektrodistributivnu mrežu JP EP BiH, možemo zaključiti da je moguć dugotrajan rad ovog generatora do  $\cos\varphi=0,9$  cap. u kapacitivnom režimu rada. Treba međutim imati u vidu da se radi o pogonskoj karti koja se odnosi na nov generator, te treba uzeti u obzir da se vremenom i starenjem pogonska karta sinhronih generatora sužava, što je detaljno obrazloženo u CIGRE tehničkom izvještaju (6). Stoga se ne može preporučiti da konkretno ovaj generator radi sa  $\cos\varphi$  cap. bliskim vrijednosti  $\cos\varphi=0,9$  cap. Vrlo važno za napomenuti je da su problemi sa previsokim naponima u elektrodistributivnim mrežama sa DG-ima u JP EP BiH izraženi uglavnom u noćnim satima. Stoga nema potrebe da DG-i rade konstantno sa kapacitivnim  $\cos\varphi$  cap., nego samo određeni broj sata tokom noći, što se može postići automatskom regulacijom napona na DG-u. Time se negativni efekti rada sinhronih generatora u kapacitivnom režimu rada, izneseni u CIGRE tehničkom izvještaju (6), znatno umanjuju.

Kao zaključak ovog poglavlja se može izvući preporuka da (ODS) trebaju razmatrati mogućnosti rada DG-a sa sinhronim generatorima u kapacitivnom režimu rada. Ovo može posebno biti korisno na odvodima gdje dolazi do pojave povišenih napona u elektrodistributivnoj mreži. Sinhroni generatori tehnički mogu dugotrajno raditi u kapacitivnom režimu rada ali treba poštovati ograničenja iz pogonske karte proizvođača. S obzirom na moguće razlike u pogonskim kartama generatora različitih snaga i proizvođača, preporučuje se da se pri definisanju faktora snage DG-a razmotri pogonska karta za svaki generator posebno.

## ANALIZIRANA SREDNJENAPONSKA ELEKTRODISTRIBUTIVNA MREŽA – ODVOD 10 kV GREBAK

U ovom radu je analiziran 10 kV odvod Grebak kao dio sredjenaponske elektrodistributivne mreže koja pripada Poslovnoj jedinici distribucije (PJD) Goražde, koja posluje u okviru Elektrodistribucije Sarajevo unutar JP EP BiH. Georeferencirana šema odvoda 10 kV Grebak sa lokacijama DG-a je data na Slici 2.



SLIKA 2 – GEOREFERENCIRANA ŠEMA ODVODA 10 kV GREBAK

Odvod 10 kV Grebak se napaja iz primarne transformatorske stanice (TS) 110/35/10(20) kV Goražde. Odvod 10 kV Grebak važi za najduži odvod u cjelokupnoj elektrodistributivnoj mreži JP EP BiH sa ukupno 128 km vodova, od čega 100 km otpada na nadzemne neizolovane vodiče a 28 km na podzemne i nadzemne kablove. Ovaj odvod napaja ukupno 102 sekundarne transformatorske stanice 10/0,4 kV. Maksimalno opterećenje konzuma ovog odvoda je 1986 kW dok je minimalno opterećenje konzuma 642 kW. Na ovaj odvod su priključena četiri DG-a ukupne instalisane snage 2070 kW a osnovni podaci o priključenim DG-ima su dati u Tabeli 1.

TABELA 1 – OSNOVNI PODACI O PRIKLJUČENIM DG-IMA NA ODVODU 10 kV GREBAK

Naziv DG	Tip DG	Instalisana snaga (kW)	Napon priključka (kV)	Tip generatora
mHE Osanica	Mala hidroelektrana (mHE)	1260 (2x630)	10 kV	Sinhroni
mHE Osanica 4	Mala hidroelektrana (mHE)	630	10 kV	Sinhroni
mSE Bujaci	Mala solarna elektrana (mSE)	150	0,4 kV	Fotonaponski
mSE Dragovići	Mala solarna elektrana (mSE)	30	0,4 kV	Fotonaponski

## VERIFIKACIJA MODELA ANALIZIRANE MREŽE SA REZULTATIMA MJERENJA

Model mreže 10 kV odvoda Grebak je urađen u profesionalnom programskom alatu za analizu elektroenergetskih mreža PowerCAD. Model je formiran na osnovu topoloških podataka iz GIS (eng. Geographical Information System) bazirane baze podataka o distributivnim elektroenergetskim objektima (DEEO) te tipskih električnih parametara pojedinih komponenti mreže. Model mreže je obuhvatio primarnu transformatorsku stanicu 110/35/10(20) kV Goražde, kompletnu SN mrežu odvoda Grebak, zbirno opterećenje ostalih 10 kV odvoda na 10 kV sabirnicama u primarnoj transformatorskoj stanici 110/35/10(20) kV Goražde, sve sekundarne transformatorske stanice 10/0,4 kV, sva četiri DG-a te NN opterećenja. Opterećenja niskonaponskih (NN) mreža su modelovana na nivou NN sabirnica u sekundarnim transformatorskim stanicama 10/0,4 kV, i predstavljaju cjelokupno opterećenje jednog transformatorskog područja.

Procjene maksimalnih i minimalnih opterećenja pojedinih transformatorskih područja su urađene na osnovu realizovane energije za 2014. godinu, dobivene iz aplikacije za obračun električne energije (SOEE), te vremena istovremenih maksimuma dobivenog na osnovu očitavanja iz SCADA-e (eng. Supervisory Control And Data Acquisition). Za izračun vremena istovremenih maksimuma prvo se očita maksimalno i minimalno opterećenje cjelokupnog 10 kV odvoda Grebak, koje je dobiveno na osnovu očitavanja iz SCADA sistema u TS 110/35/10(20) kV Goražde 1 ( $P_{max}=2295,63$  kW,  $P_{min}=682,06$  kW). Na osnovu ovih vrijednosti i realizovane energije za čitav odvod za 2014. godinu ( $E_{2014}=8.597.264$  kWh) proračunato je potom vrijeme istovremenih maksimuma  $T_{max}=3745$  h. Ova vrijednost  $T_{max}$  je zatim preslikana na ostala transformatorska područja na način da je s ovom vrijednošću podijeljena godišnja realizovana energije pojedinačnih transformatorskih područja, čime se dobije maksimalno opterećenje pojedinačnih transformatorskih područja. Minimalno opterećenje se dobije dijeljenjem maksimalnog opterećenja sa faktorom  $P_{max}/P_{min}$ , koji je proračunat za cjelokupan odvod. Pri ovom postupku je uzeta pretpostavka da je karakter opterećenja na svim transformatorskim područjima približno isti s obzirom da se uglavnom radi o konzumu koji čine domaćinstva. Također, uzet je u obzir koeficijent korekcije opterećenja zbog gubitaka u NN mrežama od  $C_p = 1,04$ , koji otprilike odgovara gubicima u pretežno rekonstruisanim NN mrežama.

Verifikacija modela je urađena na osnovu dva karakteristična režima rada 10 kV odvoda Grebak:

- Maksimalno opterećenje ovog odvoda mjereno u TS 110/35/10(20) kV Goražde ( $P_{max}=2296$  kW) u vrijeme kad elektrane nisu radile ( $P_{DG}=0$ ), zabilježeno 23.9.2015 u 19:45 h
- Opterećenje blizu minimalnog na ovom odvodu mjereno u TS 110/35/10(20) kV Goražde ( $P_{min}= -278$  kW) u vrijeme kada su elektrane radile značajnom snagom ( $P_{DG}=1063$  kW), zabilježeno 5.4.2015 u 6:00 h

U cilju verifikacije modela uspoređeni su rezultati mjerenja dobiveni iz SCADA i AMI (eng. Advanced Metering Infrastructure) sistema sa rezultatima dobivenim u modelu, što je uz relativnu grešku modela dato u Tabeli 2. Iz Tabele 2. se može vidjeti da je odstupanje vrijednosti napona između modela i mjerenja  $< 0,7$  % za sve kontrolisane tačke, osim za mSE Bujaci pri maksimalnom opterećenju u mreži kad odstupanje iznosi 1,9 %. Jedino značajnije odstupanje je u iznosu reaktivne snage od 15,57 % za slučaj maksimalnog opterećenja u mreži.

Pri verifikaciji modela, napon na 10 kV sabirnicama u TS 110/35/10(20) kV Goražde je u modelu podešen prema izmjerenoj vrijednosti iz SCADA-e mijenjajući iznos primarnog 110 kV napona. Faktor snage zbirnog tereta pretežno kablovske NN mreže i svih NN potrošača na pojedinačnim transformatorskim područjima nije bio poznat, pa je usvojen faktor snage blizu  $\cos\varphi=1$ , tj. tačnije  $\cos\varphi=0,9998$  cap., za koji se dobilo najbolje poklapanje modela sa rezultatima mjerenja.

TABELA 2 – VERIFIKACIJA MODELA UZ POMOĆ MJERENJA IZ SCADA I AMI SISTEMA

ELEKTRO-ENERGETSKI OBJEKAT	VELIČINA	23.9.2015 19:45			5.4.2015 6:00		
		AMI/SCADA	MODEL	%	AMI/SCADA	MODEL	%
TS 110/x kV Goražde (odvod Grebak)	P (kW)	2296	2304	0,35%	-278	-287	-3,24%
	Q (kVAr)	411	475	15,57%	330	329	0,30%
	U (kV)	10,21	10,21	0,00%	10,3	10,3	0,00%
mHE Osanica	P (kW)	0	0	0,00%	578	578	0,00%
	Q (kVAr)	0	0	0,00%	79,2	79,2	0,00%
	U (V)	/	/	0,00%	425,9	427,4	0,35%
mHE Osanica 4	P (kW)	0	0	0,00%	485	481	0,82%
	Q (kVAr)	0	0	0,00%	48,8	48,45	0,72%
	U (V)	8516	8530	0,16%	10773	10840	0,62%
mSE Bujaci	P (kW)	0	0	0,00%	0	0	0,00%
	Q (kVAr)	0	0	0,00%	0	0	0,00%
	U (V)	363,3	370,2	1,90%	414,3	417	0,65%
mSE Dragovići	P (kW)	0	0	0,00%	0	0	0,00%
	Q (kVAr)	0	0	0,00%	0	0	0,00%
	U (V)	329,1	328	0,33%	406,2	408	0,44%
Napomena		Trenutak maksimalnog opterećenja, kada su elektrane bila isključene, $U_p=113,1$ kV			Trenutak opterećenja blizu minimalnom kada su elektrane radile sa značajnom proizvodnjom, $U_p=113,9$ kV		

## ANALIZA EFEKATA PROMJENE FAKTORA SNAGE POSTOJEĆIH DISTRIBUIRANIH GENERATORA

U ovom poglavlju je analizirano postojeće stanje u 10 kV mreži odvoda Grebak te uticaj rada postojećih DG-a sa kapacitivnim faktorom snage na naponske prilike i gubitke aktivne snage na ovom odvodu. U postojećem stanju male hidroelektrane mHE Osanica i mHE Osanica 4 trenutno rade sa induktivnim faktorom snage i proizvode reaktivnu energiju. U ovom radu je analiziran uticaj kapacitivnog rada ovih elektrana sa sinhronim generatorima, u kojem bi one preuzimale reaktivnu energiju. Iako je u prethodnom poglavlju predstavljena pogonska karta generatora koji može raditi sa  $\cos\phi$  blizu 0,9 cap, s obzirom da nisu bile dostupne pogonske karte generatora u mHE Osanica i mHE Osanica 4, u ovoj analizi je radi sigurnosti uzet  $\cos\phi_{mHE}=0,98$  cap. Faktor snage malih solarnih elektrana mSE Bujaci i mSE Dragovići je u modelu uvijek  $\cos\phi_{mSE}=1$ . Stoga su analizirana tri karakteristična scenarija potrošnje i rada DG-a na 10 kV odvodu Grebak:

- Scenarij 1. - Maksimalna potrošnja konzuma za trenutak kada DG-i ne rade ( $P_{pot}=1986$  kW,  $PDG=0$  kW)
- Scenarij 2. - Minimalna potrošnja konzuma i maksimalna proizvodnja DG-a uz induktivni faktor snage DG-a ( $P_{pot}=642$  kW,  $PDG=1730$  kW,  $\cos\phi_{mHE}=0,95$  ind.)
- Scenarij 3. - Minimalna potrošnja konzuma i maksimalna proizvodnja DG-a uz kapacitivni faktor snage DG-a ( $P_{pot}=642$  kW,  $PDG=1730$  kW,  $\cos\phi_{mHE}=0,98$  cap.)

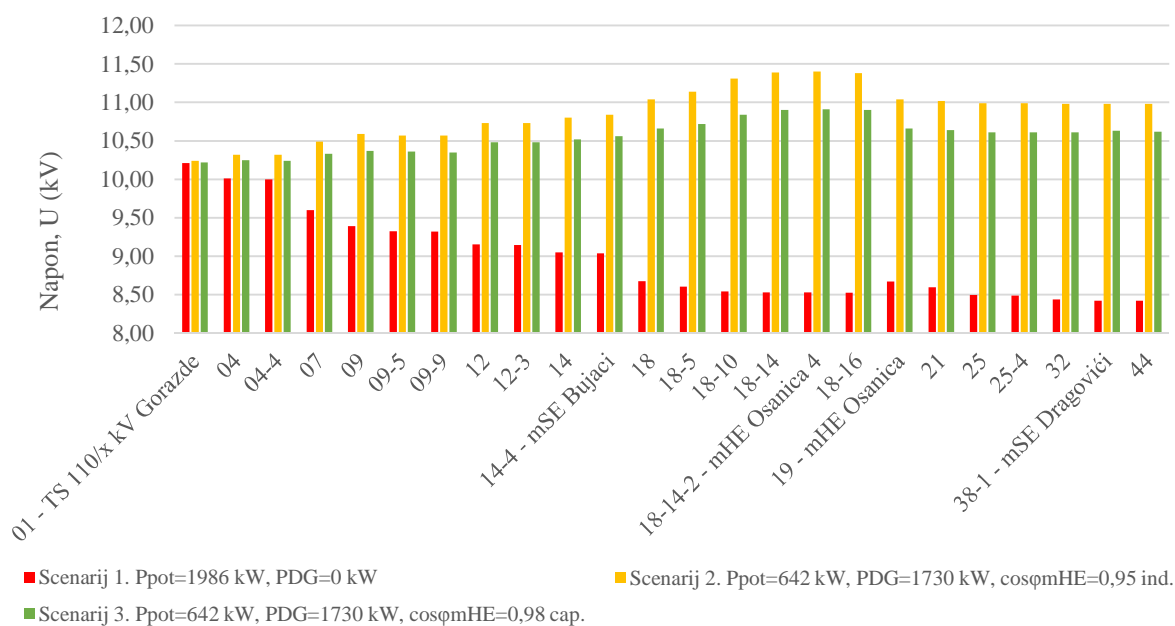
Na Slici 3 su prikazane vrijednosti napona za analizirana tri karakteristična scenarija u odabranim SN sabirnicama i čvorovima duž 10 kV odvoda Grebak (od početka do kraja). Prvi broj u oznakama čvorova na Slici 3 predstavlja redni broj čvora od početka 10 kV odvoda Grebak, dok drugi i treći broj u nizu predstavljaju broj čvora na odcjepu i pododcjepu. Na Slici 3 su prikazani naponi i na 10 kV sabirnicama u transformatorskim stanicama pomoću kojih su priključene mHE i mSE. Sa Slike 3 se može primijetiti da u postojećem stanju koji oslikavaju Scenarij 1. i Scenarij 2. dolazi do pojave nedozvoljeno niskih i visokih napona u mreži van granica  $\pm 10$  %, koje su propisane u Federaciji BiH prema (8). Ovo potvrđuje velike postojeće probleme u pogonu 10 kV odvoda Grebak, zbog čega se na godišnjem nivou dva puta mijenjaju položaji preklopki sekundarnih 10/0,4 kV transformatora. Rezultati Scenarija 3. pokazuju da bi kapacitivan rad postojećih DG-a imao pozitivan uticaj na smanjenje napona u mreži, čime bi se naponi u scenariju maksimalne proizvodnje DG-a mogli dovesti u propisane granice od  $+10$  %.

Na Slici 4 su prikazani gubici aktivne snage u mreži za tri karakteristična scenarija ranije navedena u ovom poglavlju, uz dodatni scenarij:

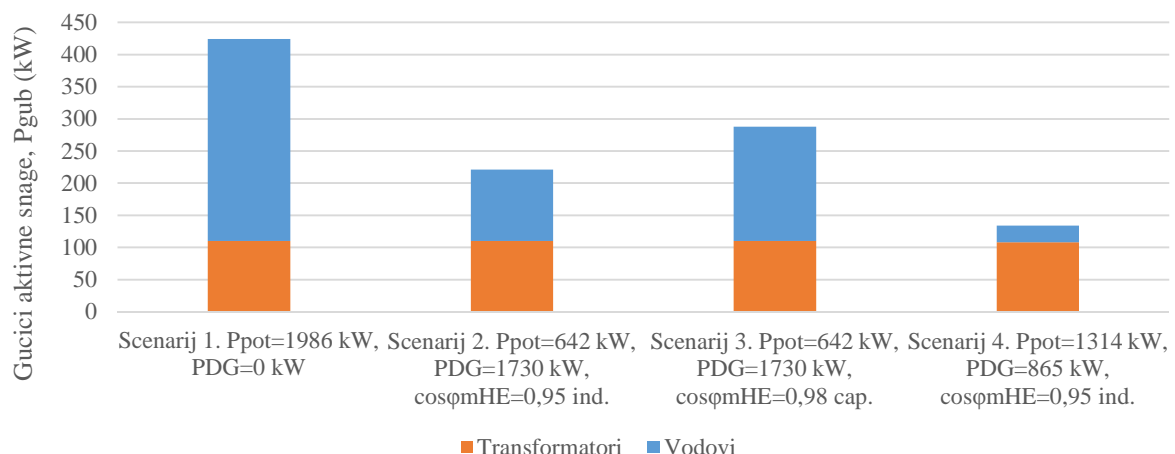
- Scenarij 4. - Srednja potrošnja konzuma i srednja proizvodnja DG-a ( $P_{pot}=1314$  kW,  $PDG=865$  kW,  $\cos\phi_{DG}=0,95$  ind.).

Sa Slike 4. možemo primijetiti da su gubici najveći pri maksimalnoj potrošnji konzuma (Scenarij 1.). Rad DG-a pozitivno utiče na smanjenje gubitaka, pogotovo kad je proizvodnja DG-a približno jednaka potrošnji konzuma

(Scenarij 4.). Kapacitivan rad DG-a u 10 kV mreži negativno utiče na povećanje gubitaka u mreži (Scenarij 3.). Promjena potrošnje konzuma i režima rada DG-a se uglavnom oslikava na gubitke u vodovima.



SLIKA 3 – NAPONI NA 10 kV ODVODU GREBAK ZA TRI KARAKTERISTIČNA SCENARIJA POTROŠNJE I RADA DG-A



SLIKA 4 – GUBICI AKTIVNE SNAGE NA 10 kV ODVODU GREBAK ZA ČETIRI KARAKTERISTIČNA SCENARIJA POTROŠNJE I RADA DG-A

### POVEĆANJE KAPACITETA ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE PRELASKOM NA 20 kV NAPONSKI NIVO UZ PROMJENU FAKTORA SNAGE DISTRIBUIRANIH GENERATORA

Osim postojećih DG-a, na 10 kV odvodu Grebak je planirana izgradnja još pet DG-a ukupne instalisane snage 2153 kW, što je detaljnije prikazano u Tabeli 3.

TABELA 3 – OSNOVNI PODACI O PLANIRANIM DG-IMA NA PODRUČJU 10 kV ODVODA GREBAK

Naziv DG-a	Tip	Instalisana snaga (kW)	Tip generatora
<b>mSE Rešetnica</b>	Mala solarna elektrana (mSE)	800	Fotonaponski
<b>mHE Kosova</b>	Mala hidroelektrana (mHE)	420	Sinhroni
<b>mHE Babina voda</b>	Mala hidroelektrana (mHE)	133	Sinhroni
<b>mHE Kolina 4</b>	Mala hidroelektrana (mHE)	400	Sinhroni
<b>mHE Kolina 5</b>	Mala hidroelektrana (mHE)	400	Sinhroni

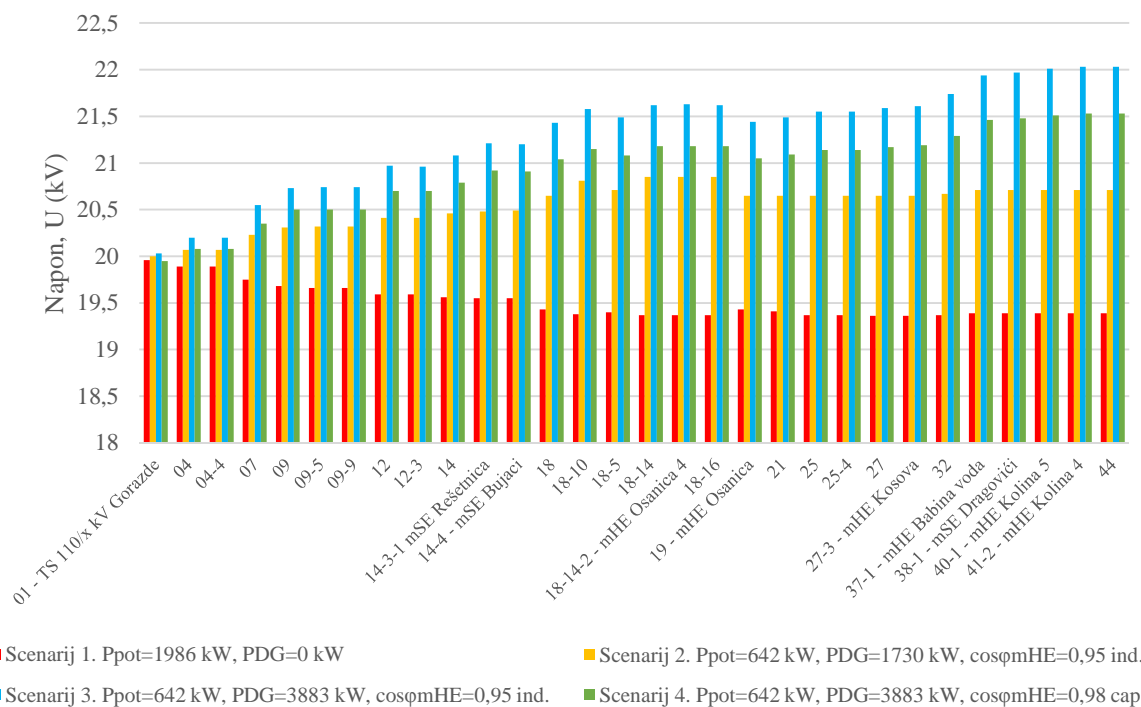
Na postojećem 10 kV naponu nije moguće priključenje ovih DG-a zbog nedozvoljenih vrijednosti napona van granica  $\pm 10\%$ . U ovom poglavlju su analizirane mogućnosti povećanja kapaciteta elektrodistributivne mreže ovog odvoda u cilju integracije novih planiranih DG-a. Povećanje kapaciteta je analizirano kroz prelazak na 20 kV naponski nivo te kroz kapacitivan režim rada DG-a sa sinhronim generatorima. Analizirana su četiri karakteristična scenarija na odvodu Grebak nakon prelaska na 20 kV naponski nivo i priključenja svih planiranih DG-a:

- Scenarij 1. - Maksimalna potrošnja konzuma za trenutak kada DG-i ne rade ( $P_{pot}=1986$  kW,  $PDG=0$  kW)
- Scenarij 2. - Minimalna potrošnje konzuma kada su u mreži priključeni samo postojeći DG-i, uz maksimalnu proizvodnju i induktivan faktor snage ( $P_{pot}=642$  kW,  $PDG=1730$  kW,  $\cos\phi_{mHE}=0,95$  ind.)
- Scenarij 3. - Minimalne potrošnje konzuma kada su u mreži priključeni i svi planirani DG-i, uz maksimalnu proizvodnju i induktivan faktor snage ( $P_{pot}=642$  kW,  $PDG=3883$  kW,  $\cos\phi_{mHE}=0,95$  ind.)
- Scenarij 4. - Minimalna potrošnja konzuma kada su u mreži priključeni i svi planirani DG-i, uz maksimalnu proizvodnju i kapacitivan faktor snage ( $P_{pot}=642$  kW,  $PDG=3883$  kW,  $\cos\phi_{mHE}=0,98$  cap.)

Na Slici 5 su prikazane vrijednosti napona u odabranim SN sabirnicama i čvorovima duž odvoda Grebak (od početka do kraja odvoda) nakon prelaska na 20 kV naponski nivo za analizirana četiri karakteristična scenarija. Na Slici 5 možemo primijetiti da su vrijednosti napona unutar propisanih granica od  $\pm 10\%$  za sve razmatrane scenarije. Isto znači da se prelaskom ovog odvoda na 20 kV napon može:

- Prihvatiti proizvodnja iz postojećih DG-a uz zadovoljavajuće naponske prilike unutar  $\pm 10\%$
- Priključiti i svi budući razmatrani DG-i na ovom području

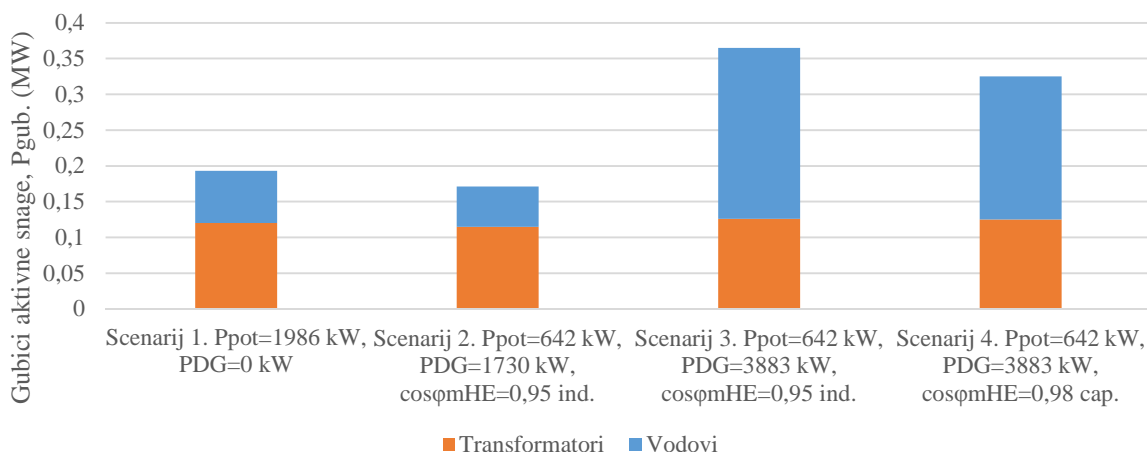
Sa Slike 5 se vidi i da je kapacitivnim radom elektrana moguće oboriti vrijednosti napona u mreži (Scenarij 4.), što može biti vrlo korisno ako se u budućnosti budu priključivali novi DG-i koji nisu razmotreni u ovoj analizi.



SLIKA 5 - NAPONI NA ODVODU GREBAK NAKON PRELASKA NA 20 kV ZA ČETIRI KARAKTERISTIČNA SCENARIJA POTROŠNJE I RADA DG-A

Na Slici 6 su prikazani gubici aktivne snage na odvodu Grebak nakon prelaska na 20 kV naponski nivo, za analizirana četiri karakteristična scenarija. Sa Slike 6 se može zaključiti da priključenje novih pet DG-a vodi znatnom povećanju gubitaka snage u ovoj 20 kV mreži (Scenarij 3. i Scenarij 4.). Većina povećanja gubitaka otpada na povećanje gubitaka u vodovima. Može se također primijetiti da kapacitivan rad elektrana u analiziranoj 20 kV mreži pozitivno utiče na smanjenje gubitaka aktivne snage (Scenarij 4.).

U ovom radu analiziran je i uticaj priključenja DG-a u 20 kV mreži na moguće preopterećenje vodova i transformatora za karakteristične scenarije. Analizom opterećenja svih vodova utvrđuje se da je najopterećenija (62 % dozvoljene struje  $I_{max}$ ) SN dionica Mravinjac – Potrukušna na magistralnom vodu TS 110/35/10(20) kV Goražde – Ustikolina - Grebak, za Scenarij 3. Najopterećeniji transformator je tronamotajni transformator 110/35/10(20) kV u TS 110/35/10(20) kV Goražde, uz opterećenje tercijernog namotaja od 68 % u Scenariju 1. Možemo zaključiti da ni u jednom od analiziranih scenarija nijedan element mreže nije preopterećen.



SLIKA 6 – GUBICI AKTIVNE SNAGE NA ODVODU GREBAK NAKON PRELASKA NA 20 kV ZA ČETIRI KARAKTERISTIČNA SCENARIJA POTROŠNJE I RADA DG-A

## ZAKLJUČAK

U ovom radu je urađena analiza na modelu realne SN elektrodistributivne mreže odvoda Grebak, koji je verifikovan sa mjerenjima u mreži, te se preporučuje da se verifikacija modela uvede kao redovna praksa pri analizama elektrodistributivnih mreža. Na ovom modelu su pokazani pozitivni efekti prelaska na 20 kV naponski nivo i rada DG-a sa kapacitivnim faktorom snage, u smislu poboljšanja naponskih prilika i smanjenih gubitaka uz zadovoljavanje termičkih ograničenja za preopterećenje elemenata mreže. Analiza je pokazala da prelazak na 20 kV naponski nivo i kapacitivan faktor snage rada DG-a mogu omogućiti znatno povećanje kapaciteta SN elektrodistributivne mreže za integraciju novih DG-a. S obzirom da na postojeću 10 kV mrežu odvoda Grebak nije moguće priključiti nove planirane DG-e, prelazak na 20 kV naponski nivo se nameće kao logično rješenje, što je i planirano da se realizuje u skorijoj budućnosti. Prelazak 10 kV elektrodistributivnih mreža na 20 kV naponski nivo se može preporučiti kao vrlo efektivno rješenje za povećanje kapaciteta za integraciju DG-a. Dodatno, kao zaključak ovog rada se može istaći preporuka da ODS-a trebaju razmatrati mogućnosti rada DG-a sa sinhronim generatorima u kapacitivnom režimu rada, posebno na odvodima kao što je odvod Grebak gdje dolazi do pojave povišenih napona u elektrodistributivnoj mreži. Sinhroni generatori tehnički mogu dugotrajno raditi u kapacitivnom režimu rada ali uz poštovanje ograničenja iz pogonske karte generatora koje daje proizvođač. S obzirom na moguće razlike u pogonskim kartama generatora različitih snaga i proizvođača, preporučuje se da se pri definisanju faktora snage DG-a razmotri pogonska karta za svaki generator posebno. S obzirom da proizvodnja/preuzimanje reaktivne energije od strane DG-a spada u domen pomoćnih usluga, potrebno je dodatno insistirati na regulisanju oblasti pružanja pomoćnih usluga u elektrodistributivnim mrežama.

## LITERATURA

1. Evropska komisija, 2009, „Direktiva 2009/28/EZ europskog parlamenta i vijeća od 23. Aprila 2009. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora te o izmjeni i kasnijem stavljanju izvan snage direktiva 2001/77/EZ i 2003/30/EZ“
2. „Ugovor o uspostavi Energetske zajednice“, Službeni glasnik BiH – Međunarodni ugovori, broj 09/06
3. Parlament Federacije BiH, 2013, “Zakon o korištenju obnovljivih izvora energije i efikasne kogeneracije” Službene novine Federacije BiH, broj:70/13
4. JP Elektroprivreda BiH d.d. - Sarajevo, 2014, „TP 17 - Tehnička preporuka za priključenje i pogon distribuiranih generatora,” JP Elektroprivreda BiH d.d. - Sarajevo
5. CIGRE Task Force C6.04.01, 2007, “Conection criteria at the distribution network for distributed generation,” CIGRE, str. 74
6. CIGRE Working Group A1.38, 2015, „Generator On-Line Over and Under Excitation Issues“, CIGRE
7. Regulatorna komisija za energiju u FBiH – FERK, 2008, “Mrežna pravila distribucije Javnog preduzeća Elektroprivreda Bosne i Hercegovine d.d. - Sarajevo”, FERK
8. Regulatorna komisija za energiju u FBiH – FERK, 2014, “Opšti uslovi za isporuku električne energije”, FERK