

**Stevan RAKOČEVIĆ**

Elektrotehnički fakultet

stevanrakocevic7@gmail.com

Mentor: doc. dr Martin Čalasan

## **KOORDINISANA ALOKACIJA I DIMENZIONISANJE DISTRIBUIRANIH IZVORA ELEKTRIČNE ENERGIJE I UREĐAJA ZA FLEKSIBILAN PRENOS ELEKTRIČNE ENERGIJE U RADIJALNOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI**

UDK 621.316.1(043.2)

**Sažetak:** Ovaj rad se bavi rješavanjem problema koordinisane i optimalne alokacije i dimenzionisanja distribuiranih generatora (DG) i uređaja za fleksibilan prenos električne energije (FACTS) u radijalnoj distributivnoj mreži. Primarni fokus optimalne alokacije DG i FACTS je minimizacija ukupnih gubitaka u mreži, dok se u analizi rezultata razmatra i uticaj navedenih uređaja na naponske prilike i tokove snaga u mreži. Optimizacioni problem je modelovan korišćenjem mješovito-cjelobrojnog nelinearnog programiranja (MINLP) u softverskom paketu GAMS, dok je problem riješen primjenom GAMS-ovog ugrađenog BONMIN solvera. Ocjena performansi predložene metode izvršena je kroz simulaciju na IEEE 33-čvornoj testnoj mreži, pri čemu su razmatrani slučajevi pojedinačne i koordinisane alokacije DG i FACTS. Rezultati simulacije dobijeni predloženom metodom upoređeni su sa rezultatima dobijenim primjenom metaheurističkih i hibridnih metoda iz dostupne literature. Prezentovani rezultati pokazuju da koordinisana alokacija i dimenzionisanje DG i FACTS doprinosi značajnom smanjivanju gubitaka, pri čemu optimalno priključivanje navedenih uređaja ima pozitivan uticaj na naponske prilike i tokove snaga. Takođe, pokazano je da predloženi BONMIN solver u poređenju sa metaheurističkim i hibridnim algoritmima daje bolje rezultate u pogledu minimalne vrijednosti gubitaka.

**Ključne riječi:** distribuirani generatori; FACTS; gubici snage

## UVOD

Prvobitno zamišljena infrastruktura distributivnih mreža se sve više mijenja u novijem dobu. Razlog za to predstavlja potreba da se odgovori na aktuelne probleme kao što su rapidan rast konzuma, koji je neizostavna propratna pojava razvoja društva, i tranzicija ka proizvodnji električne energije iz alternativnih izvora, koja je motivisana štetnim dejstvima i iscrpljivosti fosilnih goriva kao konvencionalnog izvora električne energije. Tehnologije koje se nameću kao rješenje prethodno navedenih problema su distribuirani izvori električne energije (distribuirani generatori, *Distributed Generation* – DG) koji predstavljaju decentralizovane proizvodne jedinice priljučene na distributivnu mrežu u blizini ili na samoj lokaciji konzuma. Pokazano je da integracija DG doprinosi smanjivanju gubitaka i efikasnijem prenosu snage, dok ukoliko je proizvodnja iz DG zasnovana na obnovljivim izvorima (vjetar i sunce) smanjuje se emisija CO<sub>2</sub> i cjelokupan štetni uticaj na okolinu [1].

Međutim, intermitentni karakter proizvodnje iz obnovljivih izvora električne energije, izazvan promijenjivim vremenskim prilikama u toku dana, dovodi do fluktuacije snage DG, što može da rezultira nizom problema pogotovo sa aspekta regulacije napona u mreži [2]. Jedan od načina za unapređivanje performansi ovakvih mreža je implementacija uređaja za kompenzaciju reaktivne snage, pri čemu se u savremenim distributivnim mrežama izdvajaju uređaji za fleksibilan prenos električne energije (engl. *Flexible Alternating Current Transmission Systems* – FACTS). FACTS uređaji predstavljaju savremene kompenzatore reaktivne snage bazirane na energetskelektronici. Najčešći ciljevi integracije FACTS su efikasna regulacija napona u tački priključka, minimizacija gubitaka i povećanje prenosnog kapaciteta dalekovoda [3].

Kako bi benefiti prethodno navedenih uređaja bili vidljivi neophodno je pronaći njihovo optimalno mjesto priključivanja i optimalno ih dimenzionisati sa aspekta izlazne snage. Haotično i neplansko priključivanje neće imati značajan uticaj na poboljšanje performansi mreže. Štaviše, u nekim slučajevima može doći i do pogoršanja trenutnog stanja sistema. Stoga je oblast razvijanja metoda za optimalno alociranje i dimenzionisanje uređaja kao što su DG i FACTS stekla veliku popularnost i nalazi se u fokusu naučne javnosti.

Konvencionalne metode alokacije i dimenzionisanja DG i FACTS bazirane su na iterativnom proračunavanju tokova snaga za različite lokacije i snage uređaja [4]. Iako navedeni pristup garantuje globalno optimalno rješenje velika mana je predugo vrijeme izvršavanja algoritma, naročito u slučaju velikih mreža u kojima se razmatra optimizacija većeg broja uređaja. Iz navedenog razloga veliki broj autora u dostupnoj literaturi preporučuje primjenu metaheurističkih i hibridnih algoritama za pojedinačnu ili koordinisanu alokaciju DG i FACTS. Literatura pokazuje da se u najpopularnije metaheurističke algoritme ubrajaju: PSO – *Particle Swarm Optimization* [5–6], PPSO – *Phasor PSO* [5], PSOCFA – *PSO with Constrictive Factor Approach* [7], GA – *Genetic Algorithm* [8], BSOA – *Brain-Storm Optimization Algorithm* [8–10] i ALOA – *Ant Lion Optimization Algorithm* [11–12], dok grupu najpopularnijih hibridnih algoritama čine: HSA-PABC – *Harmony*

*Search Algorithm-Particle Artificial Bee Colony* [13], *PIPSO-SQP – Parameter Improved PSO-Sequential Quadratic Programming* [14], *ALGA – Augmented Lagrangian Genetic Algorithm* [15] i *Sh-BAT – Shuffled Bat Algorithm* [16]. U navedenim naučnim publikacijama cilj optimalne alokacije DG i FACTS je prvenstveno minimizacija gubitaka snage, dok određeni broj autora razmatra i devijaciju napona, troškove integracije, itd. Takođe, pokazuje se da su predloženi metaheuristički i hibridni algoritmi efikasni u pronalaženju optimalnog rješenja uz dobre numeričke performanse. Međutim, metaheurističke i hibridne algoritme odlikuje nerobusnost rješenja, što znači da se vrijednost rješenja mijenja u različitim instancama istog algoritma, pa nije moguće garantovati da je dobijeno rješenje optimalno [17].

Predmet istraživanja ovog rada jeste razvoj metoda za pojedinačnu i koordinisanu alokaciju i dimenzionisanje DG i FACTS u radijalnoj distributivnoj mreži. Iz grupe FACTS uređaja u ovom radu se razmatraju statički kompenzator reaktivne snage (engl. *Static Var Compensator – SVC*) i tiristorski kontrolisan redni kompenzator (engl. *Thyristor Controlled Series Compensation – TCSC*). Glavni cilj priključivanja prethodno navedenih uređaja je smanjivanje ukupnih gubitaka aktivne snage u distributivnoj mreži. Međutim, osim toga, u radu se analizira uticaj ovih uređaja na naponske prilike u sabirnicama, kao i na kapacitet vodova sa aspekta prenosa aktivne i reaktivne snage. Model optimizacionog problema formulisan je korišćenjem mješovito-cjelobrojnog nelinearnog programiranja (engl. *Mixed-Integer Non-Linear Programming – MINLP*) u softverskom paketu GAMS, dok je za rješavanje istog predložen GAMS-ov ugrađeni BONMIN solver. Rezultati simulacije dobijeni su na IEEE 33-čvornoj radijalnoj testnoj mreži gdje su razmatrani slučajevi pojedinačne alokacije DG, SVC i TCSC, kao i koordinisane alokacije istih. Rezultati dobijeni primijenom predloženog BONMIN solvera se porede sa literaturno poznatim rezultatima dobijenim primjenom metaheurističkih i hibridnih algoritama.

Ostatak rada organizovan je na sljedeći način. U Poglavlju 2 predstavljena je matematička formulacija problema optimalne alokacije DG i FACTS. U Poglavlju 3 opisan je softverski paket *General Algebraic Modeling Systems – GAMS* i date su ključne karakteristike predloženog BONMIN solvera. Rezultati simulacije i diskusije izloženi su u Poglavljima 4 i 5, respektivno. U Poglavlju 6 dat je pregled korišćene literature. Rad sadrži jedan prilog u kojem su date osnovne informacije o korišćenoj IEEE 33-čvornoj mreži.

## FORMULACIJA PROBLEMA

### Optimalni tokovi snaga

Optimalni tokovi snaga (engl. *Optimal Power Flow – OPF*) definišu se kao optimizacioni problem gdje se kroz određivanje: tokova aktivnih i reaktivnih snaga grana, vrijednosti i faznih stavova napona u sabirnicama i snage proizvodnje generatorskih jedinica ima za cilj minimizacija određene funkcije cilja. Zbog prirode matematičkih relacija koje ga opisuju OPF spada u grupu kompleksnih, nelinearnih i nekonveksnih optimizacionih problema.

Opšti matematički zapis OPF-a dat je relacijama (1–3) [18]:

$$\min(F(\bar{x}, \bar{u})), \quad (1)$$

$$g(\bar{x}, \bar{u}) = 0, \quad (2)$$

$$h(\bar{x}, \bar{u}) \leq 0, \quad (3)$$

gdje su:  $F(\bar{x}, \bar{u})$  funkcija cilja koju je potrebno minimizovati,  $g(\bar{x}, \bar{u})$  funkcija koja opisuje ograničenja tipa jednakosti,  $h(\bar{x}, \bar{u})$  – funkcija koja opisuje ograničenja tipa nejednakosti,  $\bar{x}$  vektor zavisnih varijabli (generisana reaktivna snaga, naponi sabirnica) i  $\bar{u}$  vektor kontrolnih varijabli (pozicija odcjepa regulacionog transformatora, reaktivna snaga kompenzatora reaktivne snage, generisana aktivna snaga, i drugo).

### **Funkcija cilja**

Izbor adekvatne funkcije cilja OPF-a zavisi prvenstveno od razmatranog optimizacionog problema. Neke od najčešće korišćenih funkcija cilja u dostupnoj literaturi su [18]: smanjivanje ukupnih gubitaka snage, smanjivanje devijacije napona u sabirnicama, smanjivanje emisije CO<sub>2</sub>, minimizacija troškova proizvodnje generatorskih jedinica, kao i troškova rada kompenzatora reaktivne snage. Konkretno, u ovom radu cilj pronalaženja optimalne lokacije i snage DG i FACTS uređaja je smanjivanje ukupnih gubitaka u radialnoj distributivnoj mreži, koji se računaju shodno sljedećoj relaciji [19]:

$$P_{loss} = \frac{G_{ij}}{2} [V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\theta_j - \theta_i)], \quad (4)$$

gdje su:  $P_{loss}$  ukupni gubici aktivne snage u sistemu,  $G_{ij}$  provodnost prenosnog voda između sabirnica  $i$  i  $j$ ,  $V_i$  i  $V_j$  efektivne vrijenosti napona u sabirnicama  $i$  i  $j$ , respektivno,  $\theta_i$  i  $\theta_j$  fazni stavovi napona u sabirnicama  $i$  i  $j$ , respektivno.

### **Ograničenja**

Generalno, prilikom rješavanja OPF-a za ograničenja tipa jednakosti uzimaju se balasne jednačine aktivnih i reaktivnih snaga, koje su date relacijama (5) i (6), respektivno [18]:

$$P_{Gi} + P_{DG_i} - P_{Li} - V_i \sum_{j=1}^{N_b} V_j [G_{ij} \cos(\delta_{ij}) + B_{ij} \sin(\delta_{ij})] = 0, \quad (5)$$

$$Q_{Gi} + Q_{svci} - Q_{Li} - V_i \sum_{j=1}^{N_b} V_j [G_{ij} \sin(\delta_{ij}) - B_{ij} \cos(\delta_{ij})] = 0, \quad (6)$$

gdje su:  $P_{Gi}$  i  $Q_{Gi}$  aktivna i reaktivna snaga generatora priključenog na sabirnicu  $i$ , respektivno,  $P_{Li}$  i  $Q_{Li}$  aktivna i reaktivna snaga potrošača priključenog na sabirnicu  $i$ , respektivno,  $P_{DG_i}$  snaga DG u sabirnici  $i$ ,  $Q_{SVC_i}$  snaga SVC u sabirnici  $i$ ,  $B_{ij}$  susceptansa prenosnog voda između sabirnica  $i$  i  $j$ ,  $\delta_{ij}$  razlika između faznih stavova napona u sabirnicama  $i$  i  $j$ .

Za razliku od DG i SVC koji se predstavljaju modelom konstantne snage, TCSC utiče na promjenu otopnih parametara grane u kojoj je priključen shodno sljedećim relacijama:

$$G_{ij} = \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + (X_{ij} + X_{TCSC})^2}, \quad (7)$$

$$B_{ij} = \frac{X_{ij} + X_{TCSC}}{R_{ij}^2 + (X_{ij} + X_{TCSC})^2}, \quad (8)$$

gdje su:  $R_{ij}$  i  $X_{ij}$  otpornost i reaktansa grane između čvorova  $i$  i  $j$ , respektivno, a  $X_{TCSC}$  reaktansa TCSC u grani između čvorova  $i$  i  $j$ .

Što se tiče ograničenja tipa nejednakosti oni obično obuhvataju uslove koji moraju biti ispunjeni kako bi elektroenergetski sistem pravilno funkcionisao. Prilikom rješavanja OPF-a u ovom radu razmatraju se sljedeća ograničenja tipa nejednakosti [19]:

- Efektivna vrijednost i fazni stav napona u sabirnicama ne smiju izaći iz definisanog opsega:

$$V_{min} < V_i < V_{max}, \quad (8)$$

$$\theta_{min} < \theta_i < \theta_{max}, \quad (9)$$

- Generatorske jedinice imaju ograničen proizvodni kapacitet, sa aspekta aktivne i reaktivne snage:

$$P_{G_{min}} < P_{Gi} < P_{G_{max}}, \quad (10)$$

$$Q_{G_{min}} < Q_{Gi} < Q_{G_{max}}, \quad (11)$$

- Vodovi imaju ograničen prenosni kapacitet:

$$P_{ij_{min}} < P_{ij} < P_{ij_{max}}, \quad (12)$$

$$Q_{ij_{min}} < Q_{ij} < Q_{ij_{max}}. \quad (13)$$

## Mješovito-cjelobrojno nelinearno programiranje

Mješovito-cjelobrojno nelinearno programiranje (engl. *Mixed-Integer Non-Linear Programming* – MINLP) predstavlja klasu optimizacionih problema kod kojih određene promjenjive imaju isključivo cijelobrojne vrijednosti, dok su funkcija cilja i prostor pretraživanja (ograničenja) opisani nelinearnim funkcijama [20]. Cjelobrojne promjenjive se najčešće koriste za opisivanje neke logike,

fiksni promijena ili diskretnih funkcija, dok se nelinearne funkcije koriste za matematičko modelovanje ponašanja realnih sistema.

Pristup rješavanja optimalne alokacije i dimenzionisanja u ovom radu zasniva se na proširivanju do sada izloženih jednačina OPF-a sa sljedećim setom ograničenja:

$$P_{DG}(i) \leq P_{DG_{max}} \cdot L_{DG}(i) \cdot M_{DG}(i) / M_{max}, \quad (14)$$

$$Q_{SVC}(i) \leq Q_{SVC_{max}} \cdot L_{SVC}(i) \cdot M_{SVC}(i) / M_{max}, \quad (15)$$

$$X_{TCSC}(i,j) \leq k \cdot X_{ij} \cdot L_{TCSC}(i,j) \cdot M_{TCSC}(i,j) / M_{max}, \quad (16)$$

U relacijama (14–16),  $L_{DG}(i)$ ,  $L_{SVC}(i)$  i  $L_{TCSC}(i,j)$  predstavljaju binarne promjenjive kojima se modeluje logika priključivanja uređaja na mrežu. Ukoliko promjenjiva ima vrijednost 1, DG i SVC su priključeni u čvoru  $i$ , odnosno TCSC je priključen u grani između čvorova  $i$  i  $j$ . Ako je vrijednost binarne promjenjive 0, razmatrani uređaj nije priključen na datoj lokaciji. Cjelobrojne promjenjive  $M_{DG}(i)$ ,  $M_{SVC}(i)$  i  $M_{TCSC}(i,j)$  uzimaju vrijednost u rasponu od 0 do  $M_{max}$ , i služe za diskretizaciju procesa optimalnog dimenzionisanja DG, SVC i TCSC.

Prilikom rješavanja optimalne alokacije i dimenzionisanja najčešće se razmatra fiksni broj uređaja priključenih na mrežu. Pošto vrijednost 1 na mjestu  $i$ , odnosno  $i, j$ , binarnih promjenjivih u jednačinama (14 – 16) znači da je uređaj priključen na mrežu, fiksiranje broja uređaja postiže se kroz ograničavanje vrijednosti sume promjenjivih  $L_{DG}(i)$  i  $L_{SVC}(i)$  po svim čvorovima  $i$ , odnosno vrijednosti sume promjenjive  $L_{TCSC}(ij)$  po svim granama  $i, j$ . Prethodno se matematički definiše na sljedeći način:

$$\text{sum}(i, L_{DG}(i)) = N_{DG}, \quad (17)$$

$$\text{sum}(i, L_{SVC}(i)) = N_{SVC}, \quad (18)$$

$$\text{sum}((i,j), L_{TCSC}(i,j)) = N_{TCSC}, \quad (19)$$

pri čemu su  $N_{DG}$ ,  $N_{SVC}$  i  $N_{TCSC}$ , brojevi priključenih DG, SVC i TCSC, respektivno.

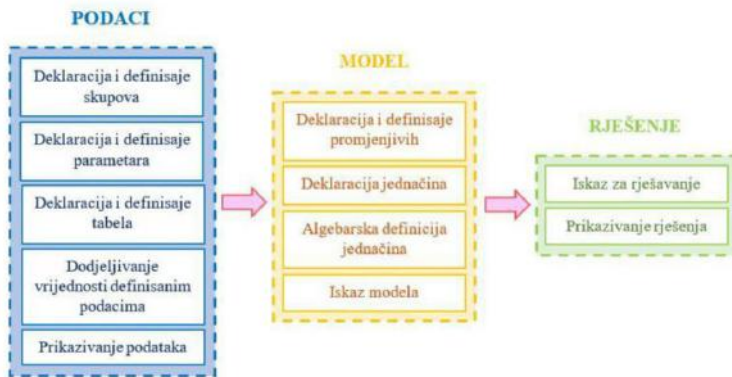
## General Algebraic Modeling Systems

*General Algebraic Modeling Systems* – GAMS predstavlja softverski alat za matematičko modelovanje i rješavanje optimizacionih problema. GAMS se sastoji od korisničkog interfejsa, sopstvenog jezika za algebarsko modelovanje, kao i od velikog broja ugrađenih solvera za rješavanje problema [21].

Sastavni elementi GAMS-ovog okruženja koji služe za pisanje programskog koda su [21]:

1. *Skupovi* – osnovni gradivni blokovi koji služe za definisanje indeksa u algebarskoj reprezentaciji modela,
2. *Podaci* – pojam koji se odnosi na numeričke podatke: skalare (jednodimenzioni podatak), parametre (podaci definisani nad jednom ili više skupova) i tabele (tabelarni podaci definisani nad dva ili više skupova),
3. *Promjenjive* – entiteti čije su vrijednosti nepoznate sve dok se optimizacioni problem ne riješi,
4. *Jednačine* – služe za definisanje matematičkih relacija između definisanih podataka i promjenjivih,
5. *Iskaz modela* – služi za grupisanje svih jednačina u jedinstven model,
6. *Iskaz za rješavanje* – zahtijeva od GAMS-a da riješi prethodno definisani model,
7. *Izlaz* – tekstualni dokument koji sadrži podatke o: vrijednostima promjenjivih, vrijednosti funkcije cilja, performansama odabranog solvera, itd.

Na Slici 1. prikazan je najčešće korišćen način struktuiranja GAMS-og programskog koda korišćenjem prethodno definisanih elemenata.



Slika 1. Način struktuiranja koda u GAMS-u

## BONMIN solver

BONMIN (engl. *Basic Open-source Nonlinear Mixed Integer programming*) predstavlja jedan od GAMS-ovih ugrađenih solvera za rješavanje MINLP optimizacionih problema. BONMIN ima mogućnost rješavanja problema sa dvostruko diferencijabilnim funkcijama, dok verzija solvera u sklopu GAMS podržava: kontinualne, binarne i cjelobrojne promjenjive [21].

Za rješavanje MINLP problema BONMIN implementira sljedeće algoritme [21]:

1. B-BB – klasični *barnch-and-bound* (B&B) algoritam koji pretražuje rješenje u svakom čvoru stabla i sprovodi „grananje“ čvorova,
2. B-OA – algoritam „spoljne“ aproksimacije koji se zasniva na rješavanju MIP relaksacije i NLP potproblema,

3. B-QG – predstavlja tip algoritma spoljne aproksimacije koji se zasniva na *brach-and-cut* metodu,
4. B-Hyb – hibridni metod koji kombinuje B-BB i B-QG algoritme, pri čemu se u svakom čvoru stabla rješava nelinearni ili linearni podproblem,
5. B-ECP – Kelijev algoritam „spoljne“ aproksimacije koji predstavlja nadogradnju FiMNT solvera,
6. B-iFP – iterativni algoritam koji traži izvodljivo rješenje MIP problema.

Prema preporukama iz literature, ukoliko je MINLP problem nekonveksan, kao što je slučaj u ovom radu, predlaže se upotreba B-BB algoritma [21].

B&B algoritam zasniva se na konceptima grananja i ograničavanja [20]. Grananje predstavlja dijeljenje skupa izvodljivih rješenja na veći broj manjih podskupova, dok ograničavanje podrazumjeva rješavanje podproblema čime se formiraju donja i gornja granica na vrijednost izvodljivog rješenja MINLP problema. Koraci B&B algoritma predstavljeni su u okviru pseudokoda 1.

### 1. Inicijalizacija.

$$\mathcal{L} \leftarrow \{(L_i, U_i)\}, \quad z_U = \infty, \quad x^* \leftarrow \emptyset.$$

### 2. Provjera?

Ako je  $\mathcal{L} = \emptyset$  onda je  $x^*$  optimalno rješenje problema.

### 3. Selekcija.

Izdvojiti i izbrisati podproblem  $N^i = (l_i^i, u_i^i)$  iz  $\mathcal{L}$ .

### 4. Evaluacija.

Rješavanje  $NLPR(l_i^i, u_i^i)$ . Ukoliko je rješenje neizvodljivo vrati se na korak 1, u sprotnom  $z_{NLPR}$  je optimalna vrijednost f-je cilja, dok je  $\hat{x}^i$  optimalno rješenje.

### 5. Odstranjivanje.

Ako je  $z_{NLPR} \geq z_U$  vrati se na korak 1. Ukoliko je  $\hat{x}^i$  razlomak slijedi korak 5. Za ostale slučajeve  $z_U \leftarrow z_{NLPR}$  i  $x^* \leftarrow \hat{x}^i$ , iz stabla se odstranjuju svi podproblemi za koje važi da je  $z_L^j \geq z_U$  i algoritam se vraća na korak 1.

### 6. Grananje.

$N^i$  se razdvaja na potprobleme, odnosno čvorove  $N^{i_1}, N^{i_2}, \dots, N^{i_k}$ , pri čemu se navedeni čvorovi dodaju stablu  $\mathcal{L}$ . Vrati se na korak 1.

*Pseudokod 1. B&B algoritam*



## REZULTATI

Rezultati pojedinačne i koordinisane optimalne alokacije i dimenzionisanja DG, SVC i TCSC primjenom BONMIN solvera dobijeni su simulacijom na IEEE 33-čvornoj radijalnoj testnoj mreži. Linijski dijagram, parametri dalekovoda i podaci o potrošačima za razmatranu testnu mrežu izloženi su u Prilogu 1 [22].

Prilikom simulacije uzete su u obzir sljedeće pretpostavke [23–24]:

- Dozvoljena vrijednost napona sabirnica kreće se u opsegu od 0.95 p.u. do 1 p.u,
- Fazni stavovi napona sabirnica ne smiju izaći iz opsega od  $-\pi/2$  rad do  $\pi/2$  rad,
- Za balansni čvor odabrana je sabirnica 1 IEEE 33-čvorne mreže,
- Po jedan DG i SVC mogu biti priključeni na istu sabirnicu, pri čemu ta sabirnica ne može biti balansni čvor,
- Samo jedan TCSC može biti priključen na istu granu u datom trenutku,
- Podrazumjeva se da DG proizvodi samo aktivnu snagu, pri čemu njena maksimalna vrijednost ne smije biti veća od ukupne aktivne potrošnje konzuma,
- Reaktivna snaga SVC u kapacitivnom režimu ima maksimalnu vrijednost 1.2 MVar, dok, se induktivni režim rada neće razmatrati,
- Nivo kompenzacije reaktanse TCSC u kapacitivnom režimu iznosi 75%, dok se induktivni režim rada neće razmatrati.

### Pojedinačna alokacija i dimenzionisanje

U Tabeli 1 prikazani su rezultati optimalne alokacije i dimenzionisanja DG, pri čemu je  $P_{DG}$  optimalna snaga generatora, dok je  $P_{loss}$  minimalna vrijednost gubitaka [23]. Pored rezultata koji su dobijeni primjenom predloženog BONMIN solvera prikazani su i rezultati iz dostupne lietarature, gdje su autori za rješavanje problema upotrebljavali metaheurističke ili hibridne algoritme. Rezultati optimalne alokacije i dimenzionisanja SVC i TCSC dobijeni predloženim BONMIN solverom predstavljani su u Tabeli 2, gdje je  $Q_{SVC}$  optimalna snaga SVC i  $X_{TCSC}$  optimalna reaktansa TCSC [24].

Rezultati priloženi u Tabelama 1 i 2 pokazuju da optimalna integracija DG i FACTS doprinosi značajnom smanjivanju gubitaka snage. Takođe, može se zaključiti da sa povećanjem broja optimalno lociranih uređaja pospješuje efekat smanjivanja gubitaka. U slučaju DG, najveće smanjenje gubitaka od 65.44% postiže se optimalnom alokacijom 3 jedinice, do se u slučaju FACTS maksimalno smanjenje gubitaka od 50.87% postiže optimalnim lociranjem 3 TCSC. Tabela 1 pokazuje da predloženi BONMIN solver daje bolje rezultate od metaheurističkih i hibridnih algoritama sa aspekta minimalne vrijednosti gubitaka.

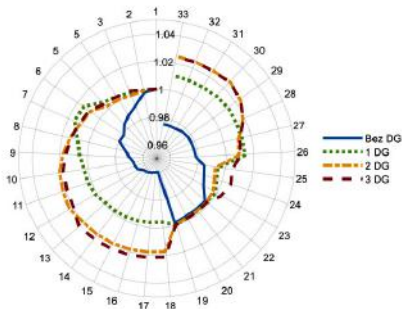
Broj DG	Algoritam	Sabirnica	$P_{DG}$ (MW)	$P_{loss}$ (kW)
1	BONMIN	6	2.5845	<b>99.06</b>
	PSO [3]	6	2.5743	103.90
	PPSO [3]	6	2.5743	103.90
	PSOCFA [4]	6	2.5752	103.90
	BSOA [5]	6	1.8575	118.10
	ALOA [8]	6	2.4500	103.10
	HSA-PABC [19]	6	2.5900	111.02
	PIPSO-SQP [18]	6	2.5980	111.03
	Sh-BAT [17]	6	2.6300	103.78
2	BONMIN	12, 30	0.9645, 1.1344	<b>79.56</b>
	PSO	13, 28	0.6987, 1.2623	86.60
	PPSO	13, 30	0.6986, 1.2623	86.60
	PSOCFA	14, 29	0.7876, 1.2487	86.20
	BSOA	13, 31	0.8800, 0.9240	89.30
	ALOA	13, 30	0.8500, 1.1911	82.60
	PIPSO-SQP	13, 30	0.8400, 1.1400	87.71
	Sh-BAT	13, 30	0.8610, 1.1800	85.75
3	BONMIN	12, 24, 30	0.8976, 1.0701, 1.0280	<b>66.38</b>
	PSO	10, 23, 29	0.9337, 1.0667, 0.9872	72.40
	PPSO	14, 24, 30	0.7538, 1.0989, 1.0711	71.40
	PSOCFA	10, 25, 33	1.0491, 0.8786, 0.8049	76.00
	HSA-PABC	14, 24, 30	0.7550, 1.0730, 1.0680	72.81
	Sh-BAT	13, 25, 30	0.7900, 0.8490, 1.1900	72.13

**Tabela 1.** Rezultati optimalne alokacije i dimenzionisanja DG dobijeni primjenom BONMIN solvera i metahurističkih i hibridnih algoritama

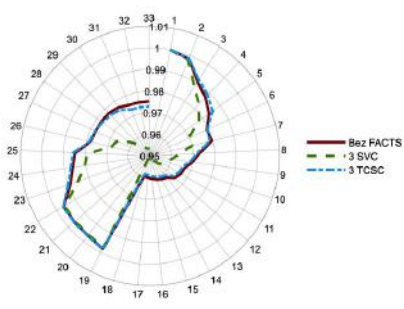
Alokacija i dimenzionisanje SVC			
Broj	Sabirnica	$Q_{SVC}$ (MVar)	$P_{loss}$ (kW)
1	30	1.1346	146.82
2	24, 30	0.5221, 1.0244	146.35
3	5, 24, 30	0.3172, 0.4278, 0.8897	<b>142.58</b>
Alokacija i dimenzionisanje TCSC			
Broj	Grana	$X_{TCSC}$ ( $\Omega$ )	$P_{loss}$ (kW)
1	6	-0.4642	129.41
2	6, 30	-0.4642, -0.7222	110.41
3	5, 6, 30	-0.5302, -0.4642, -0.7222	<b>94.37</b>

**Tabela 2.** Rezultati optimalne alokacije i dimenzionisanja SVC i TCSC dobijeni primjenom BONMIN solvera

Naponski profili IEEE 33-čvorne mreže nakon optimalnog priključivanja DG i razmatranih FACTS uređaja prikazani su na Slikama 2 i 3, repsektivno. Rezultati pokazuju da u slučaju optimalne alokacije DG dolazi do poboljšanja naponskih prilika u odnosu na bazni slučaj bez DG. Najpovoljnije naponske prilike se postižu u slučaju 1 DG optimalno priključenog na mrežu (Slika 2).



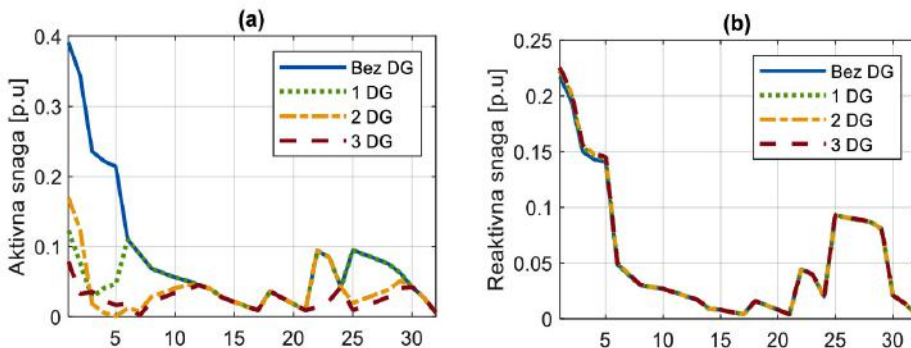
**Slika 2.** Naponski profil prije i nakon priključivanja DG



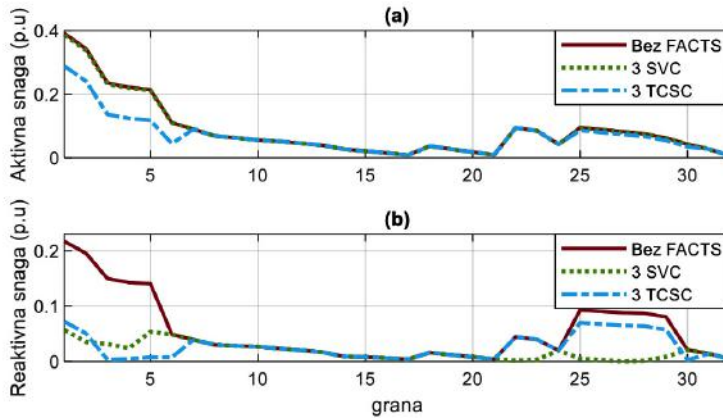
**Slika 3.** Naponski profil prije i nakon priključivanja FACTS

Tokovi aktivnih snaga u slučaju optimalnog priključivanja DG prikazan je na Slici 4, dok su isti za slučaj priključivanja FACTS uređaja prikazani na Slici 5. Na Slici 4(a) se može vidjeti da optimalno locirani DG doprinose rasterećivanju dalekovoda sa aspekta prenosa aktivne snage, pri čemu se efekat rasterećivanja pospešuje povećanjem broja optimalno lociranih DG. Slika 4 (b) pokazuje da se integracijom DG tokovi reaktivne snage nijesu promijenili, što je i očekivano uzevši u obzir da ovaj rad razmatra isključivo DG koje injektiraju aktivnu snagu.

Analizirajući tokove aktivnih snaga na Slici 5(a) jasno je da TCSC doprinosi rasterećivanju prenosnih vodova, dok je efekat SVC neznatan. Ovakvi rezultati su očekivani s obzirom na to da SVC kontrolira isključivo tokove reaktivnih snaga dok TCSC direktno vrši kompenzaciju reaktanse voda. Što se tiče tokova reaktivnih snaga prikazanih na Slici 5(b), jasno je da oba razmatrana uređaja doprinose smanjenu prenesene reaktivne snage. Međutim, znatno izraženije rasterećenje vodova se postiže priključivanjem SVC s obzirom da oni direktno injektiraju reaktivnu snagu u mjestu priključivanja.



**Slika 4.** Tokovi (a) aktivnih (b) reaktivnih snaga prije i nakon priključivanja DG



Slika 5. Tokovi (a) aktivnih (b) reaktivnih snaga prije i nakon priključivanja SVC i TCSC

### Koordinisana alokacija i dimenzionisanje

U Tabeli 3 prikazani su rezultati koordinisane alokacije i dimenzionisanja DG i SVC koji su dobijeni korišćenjem BONMIN solvera, dok su rezultati koordinacije DG i TCSC predstavljeni u Tabeli 4. Pored rezultata dobijenih predloženim BONMIN solverom, Tabela 4 sadrži i rezultate iz dostupne literature, gdje su autori koristili metaheurističke algoritme za rješavanje istog problema.

Rezultati prezentovani u Tabeli 3 pokazuju da koordinisana alokacija i dimenzionisanje DG i SVC doprinosi značajnijem smanjenju gubitaka u odnosu na pojedinačnu alokaciju i dimenzionisanje navedenih uređaja. Minimalni gubici se postižu u slučaju priključivanja 3 DG i 3 SVC, gdje su u konkretnom slučaju inicijalni gubici smanjeni za 93.85%.

Tabela 4 pokazuje da se minimalni gubici postižu u slučaju priključivanja jednog DG i 3 TCSC, pri čemu je postignuto smanjenje gubitaka za 74.35% inicijalne vrijednosti. U poređenju sa metaheurističkim algoritmima, predloženi BONMIN solver daje bolje rezultate u pogledu minimalne vrijednosti gubitaka u slučaju koordinacije DG i TCSC (Tabela 4).

Tabela 3. Rezultati optimalne koordinisane alokacije i dimenzionisanja DG i SVC dobijeni primjenom BONMIN solvera

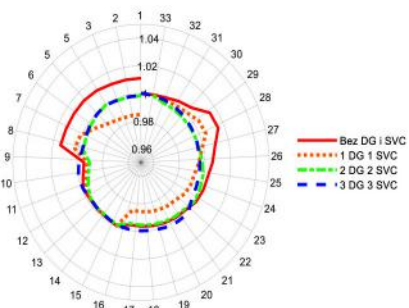
Broj DG	DG Sabirnica	$P_{DG}$ (MW)	Broj SVC	SVC Sabirnica	$Q_{SVC}$ (MVar)	$P_{loss}$ (kW)
1	6	2.5306	1	30	1.1867	55.95
	6	2.5198	2	13, 30	0.3680, 1.033	49.65
	6	2.5198	3	15, 25, 30	0.3180, 0.4062, 1.0088	47.01
2	12, 30	0.9559, 1.0961	1	30	1.2000	34.91
	12, 30	0.9527, 1.0933	2	12, 30	0.4297, 1.0293	28.27
	12, 30	0.9476, 1.0943	3	11, 24, 30	0.4948, 0.9796, 1.200	25.42

3	12, 24, 30	0.8908, 1.0585, 0.9957	1	30	1.2000	21.88
	13, 24, 29	0.7941, 1.0735, 1.0297	2	12, 30	0.4322, 1.0304	15.39
	13, 24, 30	0.7943, 1.0701, 1.0295	3	11, 24, 30	0.4149, 0.5026, 0.9801	<b>11.81</b>

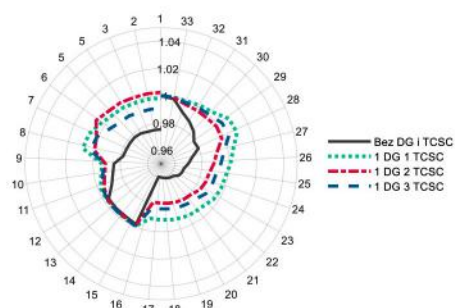
**Tabela 4.** Rezultati optimalne koordinisane alokacije i dimenzionisanja DG i TCSC dobijeni primjenom BONMIN solvera

DG Sabirnica	$P_{DG}$ (MW)	Broj TCSC	TCSC Grana	$X_{TCSC}$ ( $\Omega$ )	$P_{loss}$ (kW)
Predloženi BONIM solver					
6	2.6365	1	28	-0.5254	73.57
28	1.5358	2	6, 28	-0.4642, -0.5254	58.97
6	2.2027	3	13, 27, 28	-0.5347, -0.7002, -0.6032	<b>49.26</b>
GA [50]					
7	2.8844	1	2	N/A	114.60
BSA [50]					
6	2.5639	1	2	N/A	101.06
ALO [48]					
6	2.5383	1	2	-4.4989	98.70

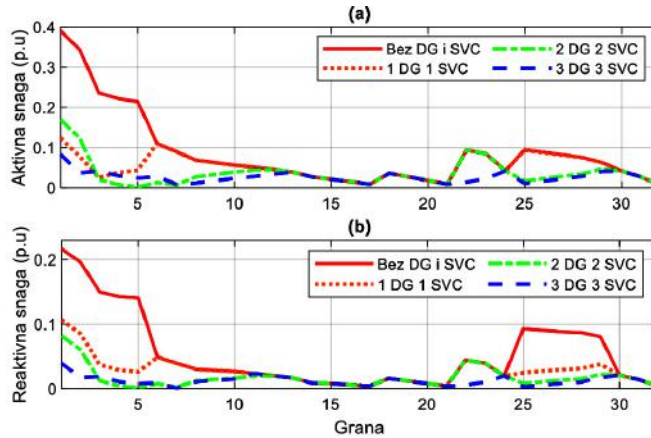
Naponi u čvorovima prije i nakon koordinacije DG i SVC prikazani su na Slici 6. Iz prezentovanog se može zaključiti da koordinacija DG i SVC doprinosi značajnom poboljšanju naponskih prilika. Najpovoljnije naponske prilike javljaju se u slučaju priključivanja 3 DG i 3 SVC pošto su vrijednosti napona u sabirnicama skoro jednake nominalnoj vrijednosti 1 p.u. Na Slici 7 predstavljene su naponske prilike prije i nakon priključivanja DG i TCSC. Iz priloženog se može primjetiti da koordinisana alokacija DG i TCSC značajno poboljšava naponske prilike u odnosu na inicijalni slučaj, pri čemu su priključivanjem DG i TCSC naponi sabirnica veoma blizu nominalnoj vrijednosti.



**Slika 6.** Naponski profil prije i nakon priključivanja DG i SVC



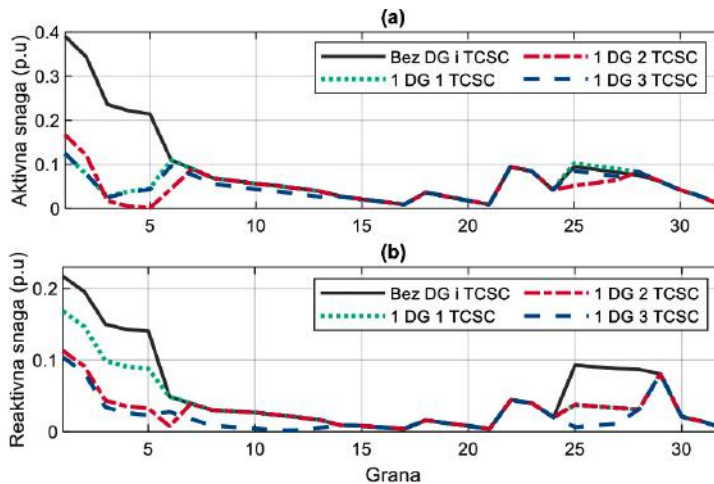
**Slika 7.** Naponski profil prije i nakon priključivanja DG i TCSC



Slika 8. Tokovi (a) aktivnih (b) reaktivnih snaga prije i nakon priključivanja DG i SVC.

Tokovi aktivnih i reaktivnih snaga za inicijalni slučaj kao i za razmatrane slučajeve koordinisane alokacije DG i SVC prikazani su na Slikama 8(a) i 8(b), respektivno. Iz prezentovanih rezultata jasno je da koordinacija DG i SVC doprinosi rasterećenju vodova sa aspekta prenosa aktivne i reaktivne snage. Takođe, sa Slike 8 može se uočiti da povećavanjem broja priključenih DG, odnosno SVC, dolazi do povećanja efekta rasterećenja prenosnih vodova sa aspekta aktivne, odnosno reaktivne snage.

Na slikama 9(a) i 9(b) predstavljeni su tokovi aktivnih i reaktivnih snaga prije i nakon priključivanja DG i TCSC. Očekivano priključivanje DG i TCSC doprinosi značajnom rasterećivanju tokova aktivnih i reaktivnih snaga u poređenju sa inicijalnim slučajem. Sa Slike 9(b) se može primjetiti da efekat rasterećenja vodova sa aspekta prenosa reaktivne snage raste sa porastom broja priključenih TCSC. Međutim, u respektivnim slučajevima koordinacije DG i SVC rasterećenje tokova reaktivnih snaga je izraženije što je ujedno i u korelaciji sa manjim gubicima snage.



Slika 9. Tokovi (a) aktivnih (b) reaktivnih snaga prije i nakon priključivanja DG i TCSC

## DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Na osnovu predstavljene analize simulacionih rezultata mogu se istaći sljedeći glavni rezultati ovog istraživanja:

- Koordinisana alokacija DG i razmatranih FACTS uređaja doprinosi značajnom smanjivanju ukupnih gubitaka, poboljšanju naponskih prilika i rasterećivanju vodova sa aspekta prenosa aktivne i reaktivne snage;
- U poređenju sa pojedinačnom alokacijom DG i FACTS koordinisana alokacija daje bolje rezultate u pogledu minimalne vrijednosti gubitaka, naponskih prilika i tokova snaga;
- Sa aspekta minimizacije gubitaka u razmatranoj radijalnoj distributivnoj mreži mnogo je efikasnije optimalno koordinisati priključivanje DG i SVC u odnosu na DG i TCSC;
- Preloženi BONMIN solver daje bolje rezultate u pogledu minimalnih gubitaka snage u odnosu na metahurističke i hibridne algoritme iz dostupne literature.

Iako je prezentovano istraživanje relevantno, neophodno je istaći određena ograničenja primjene predložene metode za alokaciju i dimenzionisanje DG i FACTS. U realnim sistemima, snage potrošnje, kao i proizvodnje, se mijenjaju u vremenu, što značajno usložnjava analizu čitavog sistema. Ovo istraživanje se bazira na jednovremenoj analizi koordinacije DG i FACTS uređaja, tj. na posmatranju jednog vremenskog trenutka. Prema tome, prethodno predstavlja najveće, ali literaturno opšteprihvaćeno, ograničenje. Drugo ograničenje odnosi se na testnu IEEE 33-čvornu mrežu. Ova mreža sadrži svega 33 čvora i 32 grane, te se sa sigurnošću ne može dati ocjena numeričkih performansi BONMIN solvera za veće mreže. Takođe, bitno je spomenuti da je za dobijanje realnije slike o benefitima koordinacije DG i FACTS neophodno analizirati realnu distributivnu mrežu sa tačnim podacima o parametrima sistema i stanju konzuma.

U daljem istraživačkom radu fokus će biti na razvijanju metoda za optimalno alociranje i dimenzionisanje FACTS uređaja u realnim mrežama sa obnovljivim izvorima električne energije, pri čemu se uzima u obzir nesigurnost u proizvodnji iz obnovljivih izvora i razmatra uticaj FACTS uređaja na kvalitet električne energije sa aspekta naponskih prilika i totalne harmonijske distorzije. Takođe, u daljem istraživanju, pored SVC i TCSC, razmatraće se i drugi FACTS uređaji: statički sinhroni kompenzator (*Static Synchronous COMpenzator* – STATCOM) i statički sinhroni serijski kompenzator (*Static Synchronous Series Compensator* – SSSC).



**LITERATURA**

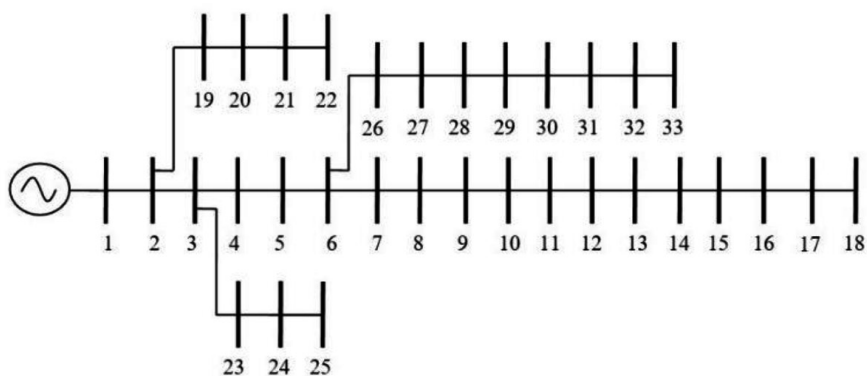
- [1] Funabashi T. (2016). *Integration of distributed energy resources in power systems: implementation, operation and control*, Academic Press: Amsterdam.
- [2] Masters, G. M. (2004). *Renewable and efficient electric power systems*, John Wiley & Sons: Hoboken.
- [3] Eremia, M., Liu, C. i Edris, A. (2016). *Advanced solutions in power systems: HVDC, FACTS, and artificial intelligence*, IEEE Press: Nju Džersi.
- [4] Hajiabbas, M. P. & Mohammadi-Ivatloo, B. (2014). *Optimization of power systems problems: methods, algorithms and MATLAB codes*, Čam: Springer.
- [5] Ullah, Z., Wang, S. i Radosavljević, J. (2019). A novel method based on PPSO for optimal placement and sizing of distributed generation, *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 14 (12), 274-292, <https://doi.org/10.1002/tee.23001>.
- [6] Jammani, J. G. i Pandya, M. (2019). Coordination of SVC and TCSC for management of power flow by particle swarm optimization, *Energy Procedia*, 156, 321-326, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.149>.
- [7] Mistry, K. D. i Roy, R. (2014). Enhancement of loading capacity of distribution system through distributed generator placement considering techno-economic benefits with load growth, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 54, 505-515, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.07.032>.
- [8] Fadel, W., Kilic, U. i Taskin, S. (2017). Placement of Dg, Cb, and Tesc in radial distribution system for power loss minimization using back-tracking search algorithm, *Electrical Engineering*, 99 (3), 791-802, <https://doi.org/10.1007/s00202-016-0448-4>.
- [9] El-Fergany, A. (2015). Optimal allocation of multi-type distributed generators using backtracking search optimization algorithm, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 64, 1197-1205, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.09.020>.
- [10] Jordehi, A. R. (2015). Brainstorm optimization algorithm (BSOA): An efficient algorithm for finding optimal location and setting of FACTS devices in electric power systems, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 69, 48-57, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.12.083>.
- [11] Ali, E. S., Elazim, S. M. i Abdelaziz, A. Y. (2017). Ant lion optimization algorithm for optimal location and sizing of renewable distributed generations, *Renewable Energy*, 101, 1311-1324, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.023>.
- [12] George, T., Youssef, A. i Kamel, S. (2018). Optimal allocation of DG and TCSC in radial networks using ant lion optimizer, *20th International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, Kairo, Egipat, <https://doi.org/10.1109/MEPCON.2018.8635274>.
- [13] Muthukumar, K. i Jayalalitha, S. (2016). Optimal placement and sizing of



- distributed generators and shunt capacitors for power loss minimization in radial distribution networks using hybrid heuristic search optimization technique, *International Journal of Electrical, Power and Energy Systems*, 78, 299-319, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.11.019>.
- [14] Angalaeswari, S., Sanjeevikumar, P., Jamuna, K. i Leonowicz, Z. (2020). Hybrid PIPSO-SQP algorithm for real power loss minimization in radial distribution systems with optimal placement of distributed generation, 12 (14), 5787, <https://doi.org/10.3390/su12145787>.
- [15] Hassan, A. A., Fahmy, F. H., Nafeh, A. E. A. i Abu-Elmagd, M. A. (2015). Genetic single objective optimisation for sizing and allocation of renewable DG systems, *International Journal of Sustainable Energy*, 36 (6), 545-562, <https://doi.org/10.1080/14786451.2015.1053393>.
- [16] Yammani, C., Masheswarapu, S. i Matam, S. K. (2016). Optimal placement and sizing of distributed generations using shuffled bat algorithm with future load enhancement, *International Transactions on Electrical and Energy Systems*, 26 (2), 274-292, <https://doi.org/10.1002/etep.2076>.
- [17] Čalasan, M., Konjić, T., Kecojević, K. i Nikitović, L. (2020). Optimal allocation of static var compensators in electrical power system, *Energies*, 13 (12), 3219, <https://doi.org/10.3390/en13123219>.
- [18] Das, J. (2017). *Load Flow Optimization and Optimal Power Flow*, CRC Press/Taylor & Francis Group: Boca Raton.
- [19] Zobaa, A. F., Abdel Aleem, S. H. E. i Abdelaziz, A. Y. (2018). *Classical and Recent Aspects of Power System Optimization*, Academic Press: London.
- [20] Lee, J. i Leyffer, S. (2012). *Mixed Integer Nonlinear Programming*, Springer: Nju Jork.
- [21] GAMS (2023). *User's guide*, Dostupno na: <https://www.gams.com/> [Pristupano 31. maja 2023].
- [22] Vita, V. (2017). Development of a decision-making algorithm for the optimum size and placement of distributed generation units in distribution networks, *Energies*, 10 (9), 1433, <https://doi.org/10.3390/en10091433>.
- [23] Rakočević, S., Čalasan, M. i Abdel Aleem, S. H. E. (2021). Smart and coordinated allocation of static var compensators, shunt capacitors and distributed generators in power systems toward power loss minimization, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-19, <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1930289>.
- [24] Ahmed, E. M., Rakočević, S., Ali, Z. M., Hasanei, H. M., Turkey, R. A. i Abdel Aleem, S. H. E. (2022). BONMIN solver-based coordination of distributed FACTS compensators and distributed generation units in modern distribution networks, *Ain Shams Engineering Journal*, 13 (4), 101664, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.101664>.

## Prilozi

## Prilog 1. Osnovni podaci o IEEE 33-čvornoj mreži



Slika P1. Linijski dijagram IEEE 33-čvorne mreže

Sabirnica	$P_L$ (kW)	$Q_L$ (kVAr)
2	100	60
3	90	40
4	120	80
5	60	30
6	60	20
7	200	100
8	200	100
9	60	20
10	60	20
11	45	30
12	60	35
13	60	35
14	120	80
15	60	10
16	60	20
17	60	20
18	90	40
19	90	40
20	90	40
21	90	40
22	90	40
23	90	50

24	420	200
25	420	200
26	60	25
27	60	25
28	60	20
29	120	70
30	200	600
31	150	70
32	210	100
33	60	40
Ukupno	3715	2300

**Tabela P1.** Podaci o aktivnim ( $P_L$ ) i reaktivnim ( $Q_L$ ) snagama potrošača

Grana	Od čvora	Do čvora	$R$ [ $\Omega$ ]	$X$ [ $\Omega$ ]
1	1	2	0.0922	0.0470
2	2	3	0.4930	0.2511
3	3	4	0.3660	0.1864
4	4	5	0.3811	0.1941
5	5	6	0.8190	0.7070
6	6	7	0.1872	0.6188
7	7	8	1.7114	1.2351
8	8	9	1.0300	0.7400
9	9	10	1.0440	0.7400
10	10	11	0.1966	0.0650
11	11	12	0.3744	0.1238
12	12	13	1.4680	1.1550
13	13	14	0.5416	0.7129
14	14	15	0.5910	0.5260
15	15	16	0.7463	0.5450
16	16	17	1.2890	1.7210
17	17	18	0.7320	0.5740
18	2	19	0.1640	0.1565
19	19	20	1.5042	1.3554
20	20	21	0.4095	0.4784
21	21	22	0.7089	0.9373
22	3	23	0.4512	0.3083
23	23	24	0.8980	0.7011

---

24	24	25	0.8960	0.1941
25	6	26	0.2030	0.1034
26	26	27	0.2842	0.1447
27	27	28	1.0590	0.9337
28	28	29	0.8042	0.7006
29	29	30	0.5075	0.2585
30	30	31	0.9744	0.9630
31	31	32	0.3105	0.3619
32	32	33	0.3410	0.5302

---

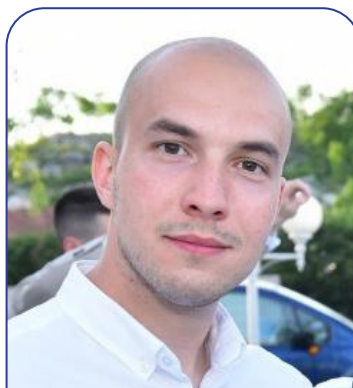
**Tabela P2.** Otpornosti (R) i reaktanse (X) dalekovoda

**Stevan RAKOČEVIĆ**

## **COORDINATED ALLOCATION AND SIZING OF DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES AND FLEXIBLE AC TRANSMISSION DEVICES IN RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM**

**Abstract:** This work deals with the problem of optimal coordinated allocation and sizing of distributed generators (DG) and flexible AC transmission devices (FACTS) in a radial distribution network. The primary focus of the optimal allocation of DG and FACTS is the minimization of total losses in the network, while the impact of the mentioned devices on voltage profile and power flows in the network was also considered. The optimization problem was modeled using mixed-integer nonlinear programming (MINLP) in the GAMS software package, while the problem was solved using GAMS's built-in BONMIN solver. The performance evaluation of the proposed method was performed through simulation on the IEEE 33-bus test network, where the cases of individual and coordinated allocation of DG and FACTS were considered. The simulation results obtained with the proposed method were compared with the results obtained using metaheuristic and hybrid methods from the available literature. The presented results show that the coordinated allocation and dimensioning of DG and FACTS contribute to a significant reduction of losses, while the optimal connection of the mentioned devices has a positive impact on voltage profile and power flows. Also, it was shown that the proposed BONMIN solver compared to metaheuristic and hybrid algorithms gives better results in terms of the minimum losses value.

**Keywords:** distributed energy resources, FACTS, power losses



## Elektrotehnički fakultet

**STEVAN RAKOČEVIĆ** rođen je 13.8.1998. godine u Nikšiću, gdje je završio osnovnu i srednju školu. Za uspijehe u osnovnoj i srednjoj školi nagrađen je nagradom „Luča 1“. Elektrotehnički fakultet u Podgorici upisao je 2017. godine, gdje je osnovne studije na odsjeku Energetika i automatika završio sa prosječnom ocjenom 9.28. Master studije na Elektrotehničkom Fakultetu u Podgorici upisao je 2020. godine. Ove studije završio je sa prosječnom ocjenom 9.77 odbranivši master rad na temu *Koordinisana alokacija i dimensionisanje distribuiranih izvora električne energije i uređaja za fleksibilan prenos električne energije u radijalnoj*

*distributivnoj mreži*. Doktorske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici upisao je 2022. godine. Oblasti njegovog naučnog interesovanja su: distribuirani izvori električne energije, optimizacija ESS-a i FACTS uređaji. Objavio je 5 naučnih i stručnih radova u međunarodnim i domaćim časopisima i međunarodnim i domaćim konferencijama, pri čemu je posebno istaći 2 rada u časopisima sa SCI/SCIE liste. Trenutno je zaposlen u Elektroprivredi Crne Gore AD Nikšć, gdje u skopu službe za elektro radove HE „Perućica“ obavlja funkciju Inženjera za elektro poslove i opremu.