

Poređenje distribuiranih izvora koji injektiraju aktivnu i reaktivnu snagu sa onima kod kojih se injektira isključivo aktivna snaga a pridodate su im i kondenzatorske baterije uz prisutnu rekonfiguraciju mreže

Branko Stojanović*, Tomislav Rajić**, Darko Šošić**

* Tehnički opitni centar, Beograd, Srbija

** Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Rezime - U radu je izvršeno tehničko i ekonomsko poređenje tri scenarija: distribuirani izvori su faktora snage 0,8 induktivno, faktora snage 0,95 induktivno i faktora snage 1 uz prisutne tri kondenzatorske baterije. Sva tri scenarija analizirana su za 1008 sati rada mreže uz prisutnu rekonfiguraciju i teretni naponski regulator u napojnom čvoru mreže. Analiza je izvršena na mreži od 69 čvorova sa 73 grane, 68 sekcionih i 5 spojnih koje sve mogu da komutuju. U sva tri slučaja prisutna su dva vetrogeneratora i dva solarna generatora čija su aktivna injektiranja ista. Pozicije za distribuirane generatore određene su na osnovu zametnog postupka uniformne raspodele po čvorovima mreže, za vetrogeneratore ukupne aktivne snage jednake 10 posto od nazivne aktivne potrošnje i solarne panele postavljene u sabirnicama najveće aktivne potrošnje, sve za nazivni režim. Postavljene su kondenzatorske baterije koje su fiksne za ceo period od 1008 sati na osnovu najčešće posećivanih čvorova mreže, najveći broj pojavljivanja. Primenjena je metoda minimalno razgranatog stabla, Kruskalov algoritam za rekonfiguraciju mreže i simulirano kaljenje za njenu kompenzaciju. Kruskalovim algoritmom se iznalazi konfiguracija koja je optimalna sa aspekta gubitaka aktivne snage ili joj vrlo bliska a simuliranim kaljenjem konfiguracija koja minimizira funkciju cilja svakog sata sastavljenu od cene gubitaka aktivne snage, cene ugrađenih kondenzatora i cene neisporučene električne energije. Ekonomska vrednost svakog scenarija predstavljena je zbirnom funkcijom cilja koju čine cena gubitaka isporučene električne energije, cena neisporučene električne energije, gubici vršne snage, cena kondenzatorskih baterija i cena komutacija sve za period od 1008 sati. U analizu je uključena i stohastičnost potrošnje i proizvodnje kao i dijagrami potrošnje za radni i neradni dan. Svaki od tri scenarija analiziran je i u pogledu tehničkih ograničenja (dozvoljenih napona i struja, neprekompensovanosti, zadovoljavajućeg faktora snage i maksimalnog broj komutacija po prekidačkom elementu). Poređenje pokazuje da je tehnički i ekonomski najbolji scenario sa generatorima koji injektiraju samo aktivnu, snagu a pridružene su im i kondenzatorske baterije.

Ključne reči - distribuirani izvori, rekonfiguracija, kondenzatorske baterije, simulirano kaljenje, minimalno razgranato stablo (Kruskalov algoritam)

I UVOD

Preporuke tekućeg standarda IEEE 1547 su da većina distribuiranih izvora (DG) radi pri jediničnom faktoru snage [1]. Smisao ove preporuke je da se izbegne uticaj DG na regulaciju napona u distributivnoj mreži zbog injektirane reaktivne snage pri faktoru snage koji je različit od jedinice. I pored preporuka IEEE 1547, isti autori ističu da je korist od instaliranih DG u mreži veća kada su oni injektirajući u pogledu reaktivne snage i to sa faktorom snage 0,8 [2]. U prvom planu je korist po smanjenje gubitaka aktivne snage.

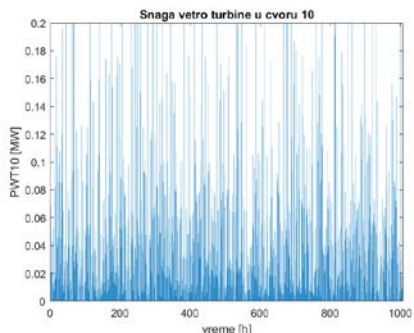
U ovom radu analiziraju se i pored scenariji u kojima se u distributivnoj mreži nalaze DG sa jediničnim faktorom snage (u tekstu Scenario 66), kao i scenariji koji podrazumevaju injektiranje reaktivne snage u mrežu sa faktorom snage 0,8 (Scenario 55) i 0,95 (Scenario 77). U slučaju jediničnog faktora snage DG, u mrežu se dodaju kondenzatorske baterije približne snage kao što je reaktivna injektirana snaga DG pri $\cos \varphi = 0,8$. Porede se slučajevi kada DG daju reaktivnu snagu sa onim kada reaktivna snaga injektirana u čvorovima mreže potiče samo od kondenzatorskih baterija. Ovakvo poređenje nije prisutno u skorijoj literaturi. Izvršena je tehnička analiza (maksimalni i minimalni napon, dozvoljena strujna ograničenja, ulazni faktor snage veći od 0,85 i neprekompensovanost mreže) i ekonomska analiza vrednosti pojedinih scenarija. U napojnom čvoru prisutna je teretna sklopka (OLTC) čiji je referentni napon podešen na 1,025 r.j. radi obezbeđivanja dozvoljenog naponskog opsega u mreži (0,95–1,05 r.j.). Analizirana je IEEE mreža sa 69 čvorova i 73 grane koje sve mogu da komutuju [3].

Posmatra se period od 1008 sati rada mreže, pri čemu je ovaj broj izabran tako da bude deljiv sa 24, u skladu sa zahtevima programskog okruženja. Pretpostavlja se da svi DG rade pri istom faktoru snage (kod određenog scenarija) i da je injektirana aktivna snaga ovih izvora ista i kada se radi o jediničnom faktoru snage i o faktorima snage različitim od jedinice. Reaktivna snaga DG prati promenu aktivne snage pri faktoru snage koji je konstantan za ceo posmatrani period od 1008 sati rada. U svim slučajevima prisutna je rekonfiguracija mreže radi smanjenja gubitaka aktivne snage, koja je implementirana algoritmom minimalno razgranatog stabla (Kruskalov algoritam) i prethodi kompenzaciji. Dobijena konfiguracija je radijalna uz primenjen

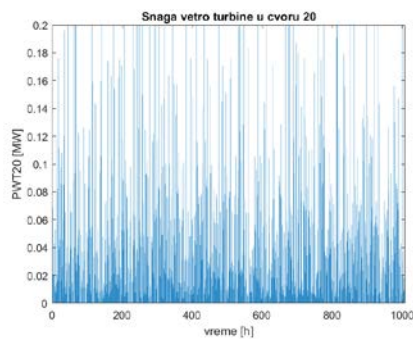
samo jedan algoritam tokova snaga, u svakom satu.

II PROMENLJIVOST POTROŠNJE, BRZINA VETRA I SOLARNA IRADIJACIJA

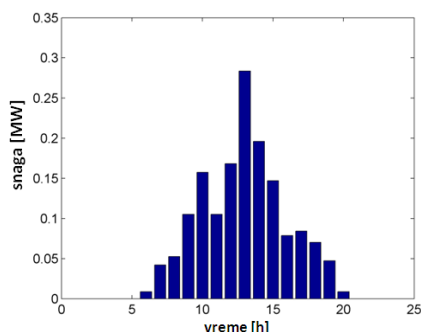
Analizira se rad mreže od 1008 sati sa potrošnjom koja osciluje po Gauss-ovoj raspodeli i proizvodnjom koja se menja po Weibull-u (vetrogeneratori), Slike 1 i 2 i prema dijagramu insolacije (solarni paneli) uz uvažavanje oblačnosti, Slike 3 i 4. Uvaženi su i dnevni dijagrami potrošnje za radni i neradni dan na koje se superponira Gauss-ova raspodela, Slike 5 i 6.



Slika 1. Snaga vetroturbine u čvoru 10



Slika 2. Snaga vetroturbine u čvoru 20



Slika 3. Insolacija solarnog panela pridruženog čvoru 49

Stohastičnost potrošnje predstavljena je Gauss-ovom raspodelom, formula (1):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

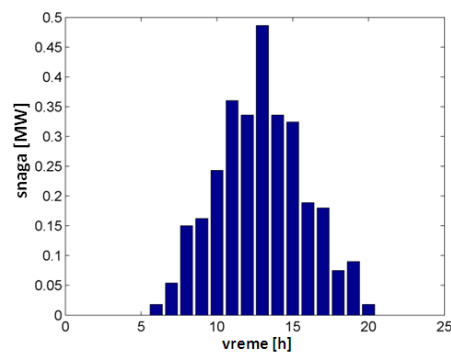
gde su:

$f(x)$ - funkcija gustine raspodele verovatnoća,

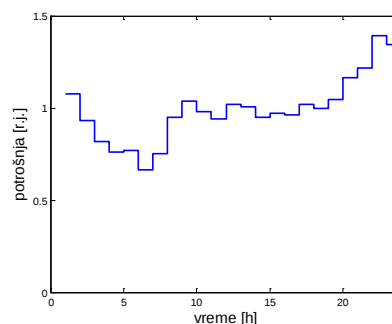
m - očekivana vrednost potrošnje u jednom čvoru i

σ - standardna devijacija, odstupanje od očekivane vrednosti

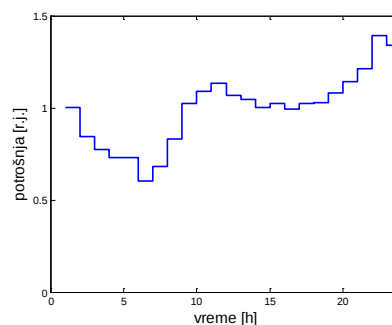
(usvojeno 10%.



Slika 4. Insolacija solarnog panela pridruženog čvoru 61

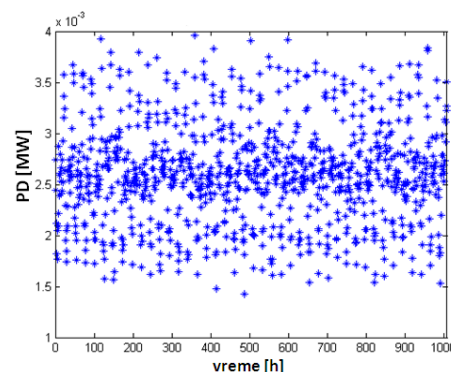


Slika 5. Tipična kriva potrošnje za radni dan

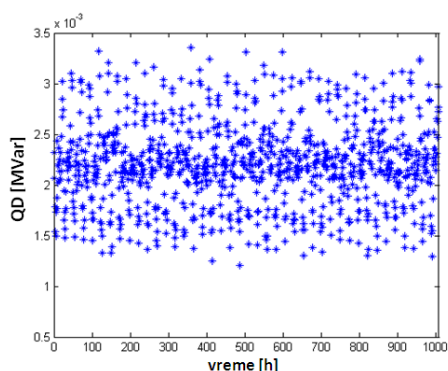


Slika 6. Tipična kriva potrošnje za neradni dan

Očekivana potrošnja u čvoru jednaka je nominalnim podacima za test mrežu [3]. Potrošnja aktivna i reaktivna u čvoru 6 osciluje oko svoje nazivne vrednosti po Gauss-ovoj raspodeli (2,6 kW i 2,2 kVAr) i predstavljena je na Slikama 7 i 8.



Slika 7. Potrošnja aktivne snage u čvoru 6 za 1008 sati rada



Slika 8. Potrošnja reaktivne snage u čvoru 6 za 1008 sati rada

Aktivna snaga vetrogeneratora (ukupna) iznosi 10% od ukupne nazivne aktivne potrošnje (3802 kW). Oni se uniformno raspoređuju po čvorovima mreže nakon čega su dodeljeni najposećenijim čvorovima. Postoje dva vetrogeneratora i svaki je snage 0,2 MW. Čvorovi sa vetrogeneratorima su čvorovi 10 i 20 [4]. Izlazna snaga vetrogeneratora zavisi od brzine vetra koja se menja po Weibull-ovoj raspodeli, jednačina (2):

$$f(v) = \frac{k}{A} \left(\frac{v}{A} \right)^{k-1} \exp \left(- \left(\frac{v}{A} \right)^k \right). \quad (2)$$

$f(v)$ – funkcija gustine verovatnoća Weibull-ove raspodele,
 v – brzina vetra [m/s],

A – parametar Weibull-ove skale u m/s ($A=6,00$ m/s),

k – parametar Weibull-ove forme ($k=2$).

Solarni paneli, dva solarna generatora su dodeljeni najopterećenijim čvorovima mreže aktivnom potrošnjom 61 (1,244 MW i 888 kVAr-a) i 49 (384,7 kW i 274,5 kVAr-a). Ovi rezultati poklapaju se sa rezultatima dobijenim analitičkom metodom. [1]. Snaga solarnih generatora je 0,5 MW (čvor 61) i 0,3 MW (čvor 49).

Pretpostavljeno je da su regije vetra i sunca iste za celu mrežu i da je dužina svake deonice 100 km radi lakšeg proračuna.

III PRIMENJENI OPTIMIZACIONI ALGORITMI

Primenjeni optimizacioni algoritmi su opisani u referencama [4, 5]. Kod minimalno razgranatog stabla kreće se od neizgrađene mreže. Polazi se od balansnog čvora, kome se dodaje grana sa najvećim težinskim koeficijentom (efektivna vrednost struje grana za potpuno upetljanu mrežu). Novodobijeni čvor se upisuje u spisak čvorova. Zatim se dodaje prva niža grana, po svojoj vrednosti, a da pri tome ne nastane petlja. Ako su pređeni svi čvorovi mreže algoritam terminira u protivnom nastavlja se ovim postupkom dok se svi čvorovi mreže ne obuhvate. Algoritam je skalabilan jer postoji samo jedan proračun tokova snaga a dobijena mreža (rekonfiguracija) je radialna i bliska globalnom optimumu sa aspekta gubitaka aktivne snage.

Simulirano kaljenje je robusni algoritam kombinatorijske optimizacije, zasnovan na probabilističkim metodama, koji je uspešno primenjen na kompenzaciju reaktivne snage. Mogu se razlikovati dve formulacije algoritma: homogeni (svaki Markovljev lanac se generiše pri fiksnoj temperaturi) i

nehomogeni (algoritam opisan jednim Markovljevim lancem kod koga se temperatura menja između uzastopnih prelaza). Ime simulirano kaljenje potiče od analogije sa fizičkim procesom kaljenja. Telo od rastopa u vrućoj kadi se hladi postepeno dok se ne postigne idealna kristalna struktura.

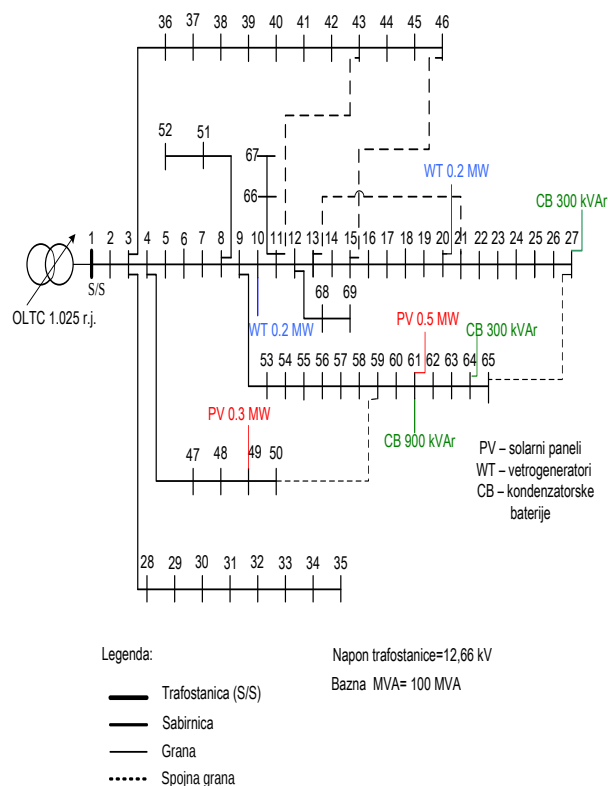
Usvojeni su sledeći parametri nehomogenog algoritma: početna temperatura ($T_{\text{početno}}$) 5000 °C, dužina Markov-ljevog lanca 3000, pravilo snižavanja temperature $T=0.95 \cdot T$ i stopa prihvatanja 0.001. Mada gori u pogledu optimalnosti rešenja nehomogeni algoritam je mnogo brži od homogenog.

Kondenzatorske baterije su dodeljene čvorovima mreže nakon primene algoritma simuliranog kaljenja posle rekonfiguracije. Najposećeniji čvorovi su 27 (300 kVAr), 61 (900 kVAr) i 64 (300 kVAr).

Analizirana su tri scenarija po svojim tehničkim parametrima i po svojoj ceni (Tabele 1 i 2). Boldovane vrednosti u tabeli odnose se na cenu komutacija od 50 \$ a neboldovane od 1\$ po komutaciji.

IV PODACI O TEST MREŽI

Testirana mreža je hipotetična, srednje razgranata, simetrična, nazivnog napona 12,66 kV sa 68 sekcionih grana i 5 spojnih [3]. Nazivna aktivna i reaktivna potrošnja iznose 3802 kW i 2694 kVAr. Gubici na nazivnom nivou iznose 225 kW što je 5.9% aktivne potrošnje. Ulazni faktor snage je $\cos \varphi$ 0,8212 (<0.85). Minimalni napon je 90,9% što nije u opsegu 0,95-1,05 r.j. Mreža je proračunata u MATPOWER okruženju u okviru MATLAB-a ('caseiang') i za Scenario 66 prikazana je na Slici 9.



Slika 9. Test mreža Scenario 66

Tabela 1. Rezultati simulacije rada mreže za različite scenarije za 1008 sati, kada se primenjuje hibridni algoritam SA i MST

Scenarij/ cosφDG/ kondenzatorske baterije (čvor bez multog)	Ulazno	Energy OLTC cena uključena	Energy Savings OLTC cena uključena	TVPI Ukupni indeks naponske slike	TPLI Ukupni indeks gubitaka aktivne snage	komutacije	ΔIpulazno	ΔIkrajnje	Umax polazno	Umax krajnje	Umin krajnje	cosφ	Qulazno	Trošak na neisporučenu električnu energiju
broj	r.j.	\$	\$	r.j.	r.j.	\$	A	A	r.j.	r.j.	r.j.		prekompenzovano	\$
55 cosφDG=0,8, bez kondenzatorskih baterija	1,025	1 626 300 1 662 707	-	-	-	743 37 150	-84,6481	-66,9281	1,025	1,0264	0,9383	<0,85	nije	1 539 600
77 cosφDG= 0,95, bez kondenzatorskih baterija	1,025	1 628 400 1 662 000	-	-	-	685 34 250	-84,9725	-67,2413	1,025	1,025	0,9383	<0,85	nije	1 541 700
66 cosφDG=1, sa kondenzatorskim baterijama 300 kvar (26) 300 kvar (63) 900 kvar (60)	1,025	1 608 400 1 638 143	-	-	-	607 30 350	-85,2258	-1,1354	1,025	1,025	0,9682	>0,85	nije	1 529 900

- Energy je novčana vrednost scenarija,
- OLTC, proizvođač M.Reinhausen, type VVIII, 600 A, 40 kV, motorni pogon ED100S i pribor, cena 54 463,5 \$.

Tabela 2. Ekonomska analiza za 1008 sati rada mreže za različite scenarije

Scenario	Energy OLTC cena uključena \$	Energy Savings OLTC cena uključena \$	Trošak na gubitke električne energije \$	Trošak na neisporučenu električnu energiju \$	Trošak na gubitke vršne snage \$	Komutacije \$	Cena kondenzatorskih baterija \$
55	1 626 300 1 662 707	-	2719,6	1 539 600	28 757	743 37 150	0
77	1 628 400 1 662 000	-	2804,0	1 541 700	28 785	685 34 250	0
66	1 608 400 1 638 143	-	1907,5	1 529 900	20 274	607 30 350	1245

V FUNKCIJA CILJA, OGRANIČENJA I DOZVOLJENI BROJ KOMUTACIJA PO GRANI

Funkcija cilja za 1008 sati rada je [5]:

$$\begin{aligned}
 \text{Energy}(\$) = & 0,15 \cdot E_{1,i,j} + 120 \cdot \max(P_{\text{loss},i,j}) + \\
 & + 0,03 \cdot \sum_{j=1}^{N^{\text{hours}}} P_{\text{loss},i,j} + \sum_{j=1}^{N^{\text{hours}}} C_{\text{int},i,j} + C_{\text{com},i}
 \end{aligned} \quad (3)$$

Prvi sabirak predstavlja trošak kondenzatorskih baterija, dobijen množenjem njihove cene iz Tabele 3 sa godišnjim koeficijentom troška, koji iznosi 0,15. Drugi sabirak odnosi se na cenu gubitaka vršne snage, uz primenu penalizacionog faktora od 120 \$/kW. Treći sabirak predstavlja cenu gubitaka na isporučenu električnu energiju, pri čemu je penalizacioni faktor 0,03 \$/kWh. Četvrti sabirak obuhvata cenu neisporučene električne energije, dok se peti sabirak odnosi na trošak komutacija, uz jediničnu cenu od 1 \$ ili 50 \$ po izvršenoj komutaciji. U izrazu (3) nije uračunata cena teretnog regulatora (OLTC) koja se naknadno dodaje.

Broj komutacija po prekidačkom element ograničen je na 6 za 24 sata.

Tabela 3. Cena kondenzatorske baterije (\$)

snaga baterije [kVAr]	< 300	(300, 600]	(600, 900]	(900, 1200]	> 1200
cena [\$]	1900	3200	4500	5400	6000
Cena održavanja i montaže uključena je u fiksni deo cene kondenzatorske baterije					

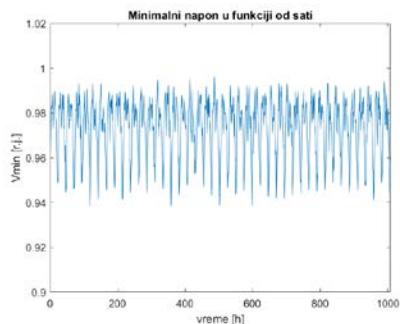
Deklarisane nazivne efektivne vrednosti struja grana su: grane 1-9 (500 A), 10-45 (300 A), 46-50 (400 A), 51 i 52 (300 A), 53-65 (400 A) i 66-73 (300 A).

Usvojena su sledeća ograničenja u proračunu:

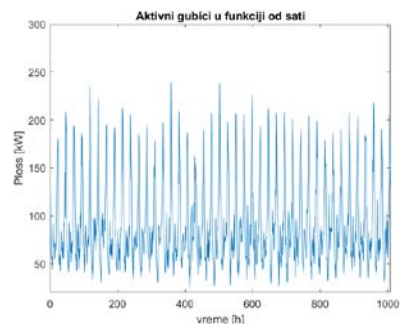
- struje grana moraju biti manje od njihovih nazivnih efektivnih vrednosti,
- naponi čvorova mreže moraju biti unutar tolerancija 0,95-1,05 r.j.,
- mreža ne sme biti prekompenzovana,
- ulazni faktor snage mora biti veći od 0,85 i
- maksimalni broj komutacija po prekidačkom elementu u toku 24 sata ne sme biti veći od 6.

VI NUMERIČKI REZULTATI

Vreme izvršavanja programa na računaru PRIME LIDER BAYONET PC (AMD Ryzen5 2600 3,4 do 3.9 GHz, 2x32 GB RAM) iznosi približno 2 min po scenariju, što je posledica dobre skalabilnosti Kruskalovog algoritma. Primenjen je Newton-ov algoritam tokova snaga modelovan u MATPOWER-u, a program je pisan u MATLAB R2021a.



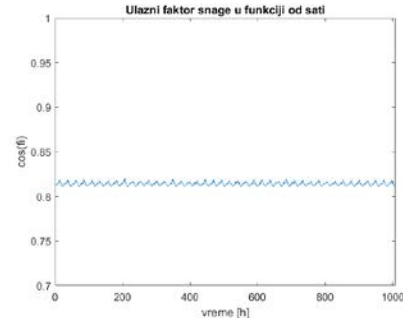
Slika 10. Minimalni napon u funkciji od sati, Scenario 55



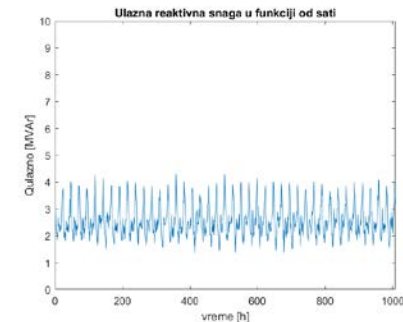
Slika 11. Aktivni gubici u funkciji od sati, Scenario 55

Analizom grafika za gubitke aktivne snage (Slike 11, 17 i 21) vidi se da su minimalni gubici u svim scenarijima ispod 50 kW.

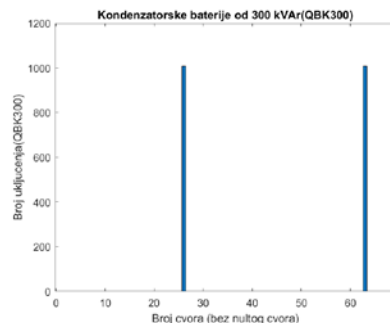
Analiza grafika za ulaznu reaktivnu snagu (Slike 16, 19 i 23), pokazuje da je njena vrednost znatno veća u scenarijima bez kondenzatorskih baterija. U njihovom prisustvu (Scenario 66) postignuta je praktično totalna kompenzacija u 486. satu.



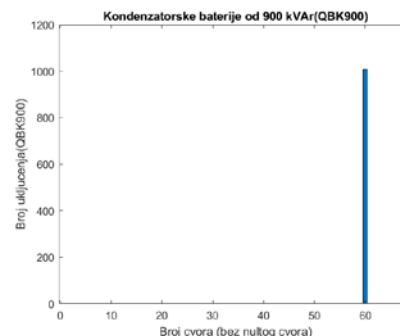
Slika 12. Ulazni faktor snage u funkciji od sati, Scenario 55



Slika 13. Ulazna reaktivna snaga u funkciji od sati, Scenario 55



Slika 14. Kondenzatorska baterija od 300 kVAr, uključenost, Scenario 66



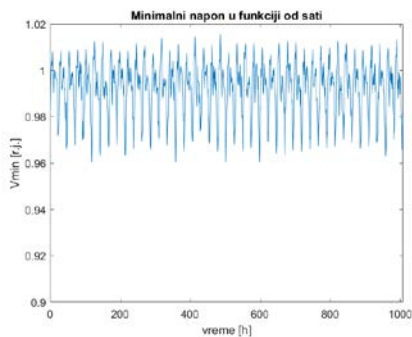
Slika 15. Kondenzatorska baterija od 900 kVAr, uključenost, Scenario 66

Analizom Tabele 1 zaključuje se:

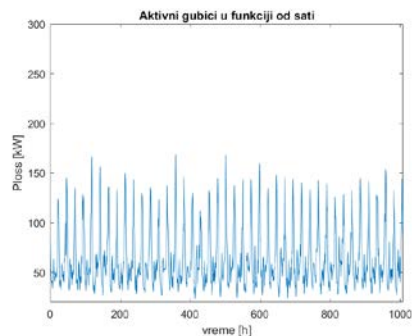
- najjeftiniji je Scenario 66 (1 608 400 \$),
- komutacije su takođe po broju najmanje za Scenario 66 (607),
- u pogledu polazne struje ne zadovoljava ni jedan

Scenario,

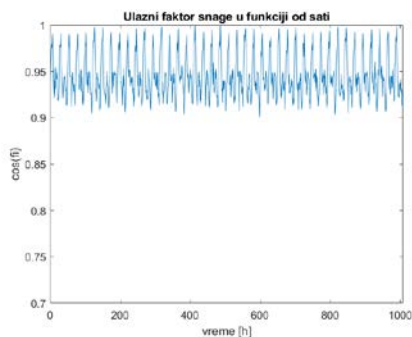
- u pogledu krajnje struje grana zadovoljava samo Scenario 66 (-1,1354 A), za toliko je struja neke od grana veća od dozvoljene vrednosti, najveće apsolutno odstupanje, ovo se može zanemariti i uzeti da je ovo ograničenje zadovoljeno,
- u pogledu minimalnog napona (Slike 10, 16 i 20) zadovoljava takođe samo Scenario 66 (0,9682 r.j.), dozvoljen je opseg od 0,95-1,05 r.j.
- ulazni faktor snage ($\cos \varphi$) zadovoljava samo kod Scenarija 66, veći od 0,85 (Slike 12, 18 i 22).



Slika 16. Minimalni napon u funkciji od sati, Scenario 66



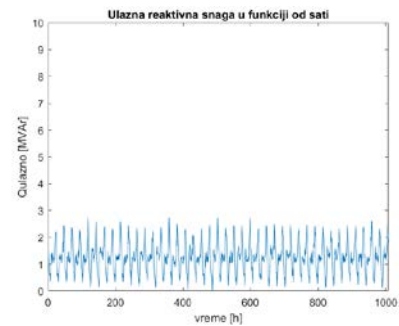
Slika 17. Aktivni gubici u funkciji od sati, Scenario 66



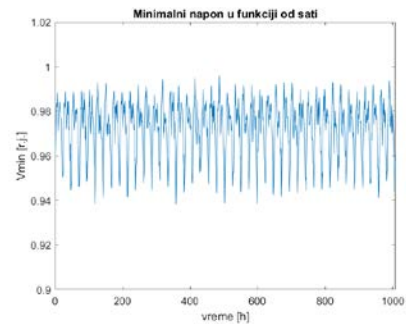
Slika 18. Ulazni faktor snage u funkciji od sati, Scenario 66

Analizom Tabele 2 zaključuje se:

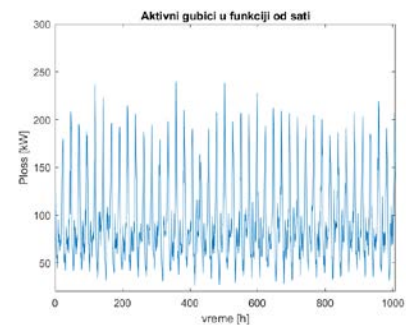
- trošak na gubitke električne energije najmanji je kod Scenarija 66 (1907,5 \$),
- trošak na neisporučenu električnu energiju takođe je najmanji za Scenario 66 (1 529 900 \$),
- trošak na gubitke vršne snage je najmanji kod Scenarija 66 (20 274 \$),
- cena komutacije je najmanja za Scenario 66 (607 \$).



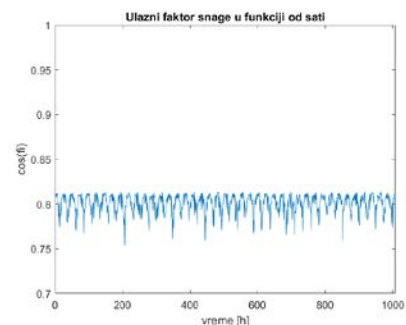
Slika 19. Ulazna reaktivna snaga u funkciji od sati, Scenario 66



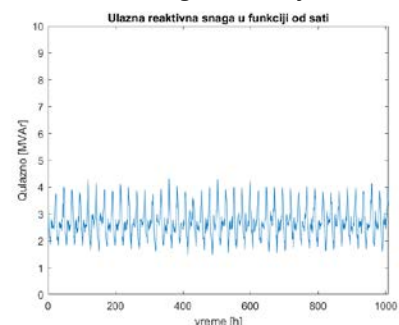
Slika 20. Minimalni napon u funkciji od sati, Scenario 77



Slika 21. Aktivni gubici u funkciji od sati, Scenario 77



Slika 22. Ulazni faktor snage u funkciji od sati, Scenario 77



Slika 23. Ulazna reaktivna snaga u funkciji od sati, Scenario 77

Prisutnost kondenzatorskih baterija prikana je na Slikama 14 i 15.

VII ZAKLJUČAK

Uprkos dodatnom trošku usled ugradnje kondenzatorskih baterija, Scenario 66 se pokazao tehnički i ekonomski superiornim u odnosu na Scenarije 55 i 77, u kojima se koriste DG izvori koji injektiraju reaktivnu snagu, ali kondenzatorske baterije nisu prisutne.

LITERATURA

- [1] Mithulananthan, N., Hung, D.Q., Lee, K.Y. *Intelligent Network Integration of Distributed Renewable Generation*, Springer, 2017.
- [2] Hung, D.Q., Mithulananthan, N. Multiple distributed generator placement in primary distribution networks for loss reduction, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 60, No. 4, pp. 1700-1708, 2013. <https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2112316>
- [3] Jiang, D. *Electric distribution system reconfiguration and capacitor switching*, Masters thesis, City of Worcester, Worcester Polytechnic Institute, 1994.
- [4] Stojanović, B., Rajić, T., Šošić, D. Rekonfiguracija distributivne mreže i otočna kompenzacija uz prisustvo vetrogeneratora i solarnih panela, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 4, pp. 12-21, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-4.12S>
- [5] Stojanović, B. *Rekonfiguracija distributivne mreže i kompenzacija reaktivne snage korišćenjem kombinacije simuliranog kaljenja i Kruskalovog algoritma*, Doktorska disertacija, Beograd, Univerzitet, Elektrotehnički fakultet, 2024.

AUTORI

dr Branko Stojanović, Tehnički opitni centar, Beograd, stojanovic.branko@rocketmail.com, ORCID [0000-0002-9846-4684](https://orcid.org/0000-0002-9846-4684)
dr Tomislav Rajić, docent, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, rajic@etf.rs, ORCID [0000-0003-4796-4117](https://orcid.org/0000-0003-4796-4117)
dr Darko Šošić, vanredni profesor, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, sosic@etf.rs, ORCID [0000-0001-9029-8979](https://orcid.org/0000-0001-9029-8979)

Comparison of Distribution Resources That Inject Both Active and Reactive Power with Active Power Units Accompanied with Capacitors in Presence of Network Reconfiguration

Abstract – Technical and economical comparison of scenarios with distributed generation (DG): the first with DG of 0.8 inductive power factor, the second with DG of 0.95 inductive power factor and the third DG-s with unity power factor accompanied with capacitors, is done. Time span is 1008 hours and reconfiguration is presented with On Load Tap Changer (OLTC) in supplying node. Analysed network has 68 sectional and 5 tie branches that all can commute. Injected active power of DG is the same in all three scenarios. Positions of wind turbines are done after uniform distribution of them amounting 10% of nominal active power consumption and solar panels are allocated to the most active power heavily loaded nodes. Capacitors are placed in accordance to the most visited nodes and are fixed for 1008 hour period. Minimum Spanning Tree (Kruskal algorithm) is applied for reconfiguration and Simulated Annealing for compensation. Kruskal algorithm gives configuration close to the global optimum in respect of power loss reduction and Simulated Annealing the best configuration for hourly objective function comprising of the cost of capacitors, the cost of active losses and of the undelivered electric energy. Economic value is presented by objective function for 1008 hours being of the following parts: the price of capacitors, of the peak power loss, the supplied electric energy loss, the undelivered energy and the cost of commutations. Stochastic nature of consumption and production as well as load diagrams for working and nonworking day are incorporated in the analysis. Each of the presented scenarios has to comply with technical requirements (voltage drop, allowed ampacities, input power factor, not-overcompensation and maximum number of commutations per switching element). Comparison brings us to conclusion that the best technical and economic scenario is the one with DGs of unity power factor accompanied with the capacitor banks.

Index terms – Distribution resources, Reconfiguration, Capacitor banks, Simulated annealing, Minimum spanning tree (Kruskal algorithm)