**ODREĐIVANJE OPTIMALNE LOKACIJE I VELIČINE FOTONAPONSKE ELEKTRANE**

D. ŠOŠIĆ, Univerzitet u Beogradu Elektrotehnički fakultet, Srbija

I. ŠKOKLJEV, Univerzitet u Beogradu Elektrotehnički fakultet, Srbija

**SAŽETAK**

U ovom radu je razmatrano određivanje lokacije i veličine fotonaponske elektrane sa stanovišta nezavisnog učesnika na tržištu električne energije. Za rešavanje ovog problema razvijene su dve metode. Prva metoda se zasniva na DC modelu mreže, odnosno ne posmatraju se gubici aktivne snage u mreži kao ni tokovi reaktivnih snaga. Druga metoda uvažava pomenuta zanemarenja kao i promenu napona u čvorovima mreže. Za rešavanje pomenutog problema uz uvažavanje svih relevantnih kriterijuma korišćena je kombinacija AC modela mreže i genetskog algoritma sa dvostrukom kriterijumskom funkcijom. Prvi od kriterijuma je nalaženje čvora u mreži koji ima najveći raspoloživi prenosni kapacitet (ATC) prema ostalim čvorovima u posmatranoj mreži, dok je drugi kriterijum izbor maksimalne snage proizvodnje fotonaponske elektrane u tom čvoru. Predložene metode su testirane na dve standardne mreže koje se mogu naći u literaturi, IEEE 5 i IEEE 30 sistem.

**Ključne reči:** fotonaponske elektrane, optimalna lokacija, optimalna dimenzija, raspoloživi prenosni kapacitet, genetski algoritam, distribuirana proizvodnja

**UVOD**

Kao posledica deregulacije i liberalizacije tržišta električne energije otvorio se prostor za nove učesnike na tržištu. Otvaranje tržišta električne energije i prisustvo novih proizvođača na istom, dovodi do poboljšanja kvaliteta i sigurnosti elektroenergetskog sistema. Pored ovoga, potrošačima se pruža mogućnost izbora snabdevača, a samim tim proizvođači koji imaju skuplju proizvodnju će morati da se prilagođavaju tržištu. Zbog globalnog zagrevanja, a i obaveza koje nameće Kyoto protokol, zemlje potpisnice ovog protokola su dužne da smanje proizvodnju gasova staklene bašte i donesu adekvatnu strategiju za zamenu konvencionalnih izvora energije koja rade na fosilna goriva sa obnovljivim izvorima energije (OIE). OIE imaju manji uticaj na okolinu u poređenju sa elektranama na fosilna goriva. Pored gasova staklene bašte konvencionalni izvori uzrokuju i zagađenje životne sredine koje se ogleda u zagađenju atmosfere, zemljišta i vode. Istraživanja su pokazala da je ugljen dioksid jedan do glavnih uzročnika (50-66%) povećanja temperature na površini zemlje [[1](#_ENREF_1)].

Energija koju proizvode OIE dolazi sa minimalnom ili nikakvom proizvodnjom ugljen dioksida. Tako da će veća upotreba OIE smanjiti pomenuta zagađenja okoline. Sagledajući sve navedeno, a i zbog slične situacije koja vlada u njihovoj zemlji, Turska [[2](#_ENREF_2)] je napravila plan smanjenja zagađenja i povećanja energetske nezavisnosti pošto je veliki uvoznik električne energije a poseduje veliki potencijal u OIE.

Poznato je da su OIE veoma primamljiva opcija za snabdevanje električnom energijom područja kojima je prenosna mreža nedostupna. Uticaj OIE na gubitke aktivne snage u distributivnoj mreži je opisan u [[3](#_ENREF_3)]. U [[4](#_ENREF_4)] je razvijena metoda za dimenzionisanje malih autonomnih hibridnih sistema koji koriste OIE. Višekriterijumska optimizacija je primenjena za poboljšanje ekonomske situacije na ostrvu Lesvos korišćenjem OIE [[5](#_ENREF_5)] za podmirenje potreba za električnom energijom i toplom vodom u kombinaciji sa postojećim sistemom za grejanje.

Fotonaponska (PV) proizvodnja je distribuirana proizvodnja koja se zasniva na upotrebi invertora. Ovaj vid proizvodnje očekuje svetla budućnost prvenstveno zbog smanjenja proizvodnih troškova PV panela. Instalacija ovih izvora u distributivnoj mreži ima nekoliko pogodnosti (poboljšanje naponskih prilika, smanjenje gubitaka, smanjenje pika potrošnje). Postoji dosta metoda koje se bave problemom optimalnog dimenzionisanja i izbora lokacije distribuiranih generatora [[6-8](#_ENREF_6)]. Hengsritawat, Tayjasanant i Nimpitiwan [[6](#_ENREF_6)] su razvili metodu za nalaženje lokacije PV generatora koja se zasniva na naponskim indeksima osetljivosti. Posle odabira lokacije, pomoću Monte Carlo tehnike određena je maksimalna snaga ovog generatora. Elnashar, Shatshat i Salama [[7](#_ENREF_7)] za rešavaje razmatranog problema koristili su vizuelni odabir najboljeg rešenja posle odrađene optimizacije. Mohammadi, Hosseinian i Gharehpetian [[8](#_ENREF_8)] su razvili metodu za optimalni dizajn mikro mreže hibridnog sistema koji se zasniva na minimizaciji ukupne sadašnje vrednosti projekta.

Zbog smanjenja troškova proizvodnje PV panela i zagarantovane otkupne cene električne energije u toku trajanja feed-in tarife, investitori će dobiti povraćaj kapitala za vreme trajanja feed-in tarife. U nekim zemljama investirani novac će se povratiti i pre isteka ugovora, u zavisnosti od garantovane otkupne cene električne energije. Po isteku ovog perioda, PV elektrane koje su se već isplatile ulaze na tržište električne energije sa mnogo manjim troškovima, a samim tim i cemnom, u poređenju sa konvencionalnim izvorima koji rade na fosilna goriva. Zbog ove činjenice, autori su se odlučili da PV elektranu posmatraju kao elektranu koja će uvek proizvoditi i prodavati celokupnu proizvodnju. U razmatranje ćemo uzeti period sa maksimalnom potrošnjom, a koji se poklapa sa maksimalnom proizvodnjom iz PV panela kada je sunce najviše, kao i sa periodom kada je cena električne energije najviša na tržištu. Za izbor optimalne lokacije PV elektrane autori su se odlučili za kriterijum najvećeg raspoloživog prenosnog kapaciteta (ATC), koji se računa od razmatranog čvora ka ostalim čvorovima u mreži. Prema NERC definiciji [[9](#_ENREF_9)], raspoloživi prenosni kapacitet je mera preostalog prenosnog kapaciteta u mreži za dalju komercijalnu upotrebu uvažavajući i već postojeće stanje u mreži.

Ovaj rad je organizovan na sledeći način: u drugom delu je opisan osnovni koncept rada genetskog algoritma. Metoda za računanje ATC je predstavljena u trećem delu. Četvrti deo sadrži opise predloženih metoda. Rezultati su prikazani u petom delu, dok je u šestom delu dat zaključak.

**GENETSKI ALGORITAM**

Evolucioni algoritmi oponašaju prirodnu evoluciju radi formiranja procedura za pretragu i optimizaciju. Ove metode se razlikuju od klasičnih procedura pretrage i optimizacije u mnogo čemu. Očigledna razlika je u tome što evolucioni algoritmi rade sa skupom potencijalnih rešenja (populacijom) dok klasične metode rade samo sa jednim rešenjem. Osim ovoga, evolucioni algoritmi konvergiraju ka globalnom optimumu, dok klasične metode, kao što je nelinearno programiranje, najčešće konvergira ka lokalnom optimumu. Zbog ovoga se kada je god to moguće za rešavanje optimizacionih problema u elektroenergetskom sistemu koriste evolucioni algoritmi. Jedna od bitnijih osobina je lakoća njihovog programiranja.

Genetski algoritam je metoda slučajne pretrage koja može da se iskoristi za rešavanje nelinearnih sistema jednačina i komplikovanih optimizacionih problema. Princip rada ovog algoritma se zasniva na izboru jedinki (rešenja). Nije mu potrebno dobro početno pogađanje da bi se našlo optimalno rešenje. Drugim rečima, rešenje nekog složenog problema može da se nađe ako se krene i od loših početnih pogađanja.

Standardni genetski algoritam radi sa binarnim nizovima, od kojih svaki predstavlja potencijalno rešenje problema. Tri osnovna operatora genetskog algoritma su elitizam, ukrštanje i mutacija, i ovi operatori se primenjuju na sve članove populacije a sve u cilju pravljenja boljih jedinki. Razvijene su dve metode kodiranja u genetskom algoritmu [[10](#_ENREF_10)]: binarno i decimalno kodiranje. U ovom radu autori su se odlučili za binarno kodiranje.

**Elitizam.** Elitizam je najčešće prvi operator koji se primenjuje na članove populacije. On pronalazi unapred zadat broj rešenja sa najboljom vrednošću fitnes funkcije i kopira ih direktno u novu populaciju. Ovo sprečava gubitak dobrih rešenja, i veoma ubrzava postupak nalaženja rešenja.

**Ukrštanje.** Operator ukrštanja je zadužen za pretragu prostora rešenja. On se upotrebljava odmah posle elitizma na članove trenutne populacije. U literaturi koja se bavi problematikom vezanom za genetski algoritam postoje opisi više vrsta operatora ukrštanja. Skoro svi operatori ukrštanja biraju proizvoljno dva rešenja iz trenutne populacije i mešaju neke njihove delove da bi dobili nove kandidate. U ovom redu je korišćena standardna metoda ukrštanja u jednoj tački.

**Mutacija.** Mutacija se koristi da bi se sprečilo konvergiranje svih rešenja u lokalni optimum rešavanog problema. Ovaj operator predstavlja proizvoljnu promenu bita nekog rešenja, uglavnom sa konstantnom verovatnoćom promene svih bitova u populaciji. Verovatnoća mutacije može da se menja u zavisnosti od veličine populacije, primene i osobina pretrage [[11](#_ENREF_11)], ili da bude fiksirana tokom celog procesa rešavanja problema.

**IZRAČUNAVANJE RASPOLOŽIVOG PRENOSNOG KAPACITETA**

Raspoloživi prenosni kapacitet je mera prenosnog kapaciteta koji je preostao za dalju komercijalnu upotrebu, uvažavajući pri tom već postojeće stanje u mreži. Metode za određivanje ATC se mogu grubo podeliti u jednokoračne [[12-14](#_ENREF_12)] i iterativne metode [[11](#_ENREF_11), [15](#_ENREF_15), [16](#_ENREF_16)]. Jednokoračne metode se oslanjaju na upotrebu DC modela mreže. U nastavku sledi kratak pregled načina izračunavanja ATC koji je detaljno opisan u [[14](#_ENREF_14)]. Prvo je neophodno izračunati faktore raspodele snage (power transfer distribution factor - PTDF), koji predstavljaju procentualni deo snage koji će teći po nekom vodu a koji je posledica uspostavljanja razmatrane transakcije. Ovi faktori se računaju na sledeći način:

 (1)

gde *xij* je reaktansa prenosnog voda koji spaja čvorove *i* i *j*, *Xim* predstavlja element *i*-tog reda i *m*-te kolone matrice reaktansi čvorova. Posle ovoga je moguće odrediti vrednost preostalog opteretnog kapaciteta kao:

 (2)

gde je *PijMAX* termičko ograničenje voda *ij*, a *Pij* je tok aktivne snage po vodu *ij*. Maksimalna snaga koja se može preneti između dva čvora u sistemu pri kojoj će posmatrani vod dostići svoj termički limit se računa na sledeći način:

 (3)

gde je *Ptrans ij,lk* maksimalna snaga transakcije između čvorova *i* i *j* pri kojoj vod *lk* dostiže svoj termički limit. ATC predstavlja minimum ovako izračunatih snaga transakcije, odnosno:

 (4)

Genetski algoritam se može upotrebiti za rešavanje ovog problema kada se koristi AC model mreže, što je i urađeno u radu [[11](#_ENREF_11)].

**PREDLOŽENI ALGORITAM**

U ovom radu autori su koristili dve metode za nalaženje optimalne lokacije i veličine fotonaponske elektrane u mreži. Prvi i brži metod se zasniva na upoterbi DC modela mreže i daje približnu sliku najboljeg rešenja. Kod mreža sa velikim brojem čvorova, rešenja dobijena pomoću ove metode mogu da posluže radi ubrzanja druge preciznije metode. Korišćenjem punog AC modela mreže i upotrebom genetskog algoritma dobijaju se konačna rešenja razmatranog problema.

**DC metoda**

Iako DC predstava mreže zanemaruje gubitke u sistemu, kao i tokove reaktivne snage i naponske prilike u mreži, rešenja dobijena ovom metodom daju dobru osnovu za dalju pretragu. U cilju nalaženja optimalne lokacije i veličine PV elektrane ovom metodom, autori su koristili SADCLF-ATC program, koji su razvili autori a koji je detaljno opisan u [[14](#_ENREF_14)]. Kada se za računanje ATC koriste simboli umesto brojeva kao rezultat se dobije simbolički izraz. Jednostavnom zamenom brojnih vrednosti parametara mreže i snaga injektiranja dobijaju se vrednosti ATC bez preračunavanja. Uticaj PV elektrane na vrednost ATC neke transakcije se određuje jednostavnim povećavanjem snage injektiranja čvora u kome se nalazi PV elektrana. Lokacija i veličina PV elektrane za koju se ima najveće povećanje vrednosti ATC prema svim čvorovima se bira za najbolje rešenje.

**Pun AC model mreže i GA metoda**

Korak 1: Priprema podataka mreže. Inicijalizacija parametara genetskog algoritma: veličina populacije (*N*), maksimalan broj generacija (*T*), stopa elitizma, stopa ukrštanja i stopa mutacije.

Korak 2: Izbor potencijalne lokacije konstrukcije PV elektrane. Izbor drugog čvora koji će sa prethodno odabranim činiti učesnika transakcije.

Korak 3: Za odabranu lokaciju i transakciju generisati proizvoljnu početnu populaciju, čiji su članovi maksimalna snaga PV elektrane i maksimalna snaga transakcije između posmatranih čvorova.

Korak 4: Za svakog člana populacije pustiti Newton-Raphson proračun tokova snaga. Ako neki od elemenata populacije naruši neko ograničenje (amplituda napona, termičko ograničenje voda, …) takav element se odbacuje i generiše se novi.

Korak 5: Ako je popunjena početna populacija ići na sledeći korak, u suprotnom vratiti se na korak 3.

Korak 6: Izračunavanje vrednosti fitnes funkcije svakog hromozoma pomoću sledeće formule:



gde je *Fi* vrednost fitnes funkcije *i*-tog hromozoma, *Pi* je vrednost snage transakcije *i*-tog hromozoma, *PPVi* je maksimalna snaga PV elektrane *i*-tog hromozoma, *μPV* i *γP* su težinski faktori za maksimalnu snagu PV elektrane i maksimalnu snagu transakcije.

Korak 7: Iz trenutne populacije izdvojiti određeni broj jedinki sa najboljom vrednošću fitnes funkcije i preneti ih direktno u novu populaciju. Broj jedinki koji se kopira je određen stopom elitizma.

Korak 8: Proizvoljnim izborom odabrati učesnike operacije ukrštanja. Za dobijene potomke uraditi Newton-Raphson proračun tokova snaga, i uraditi proveru koja je opisana u koraku 4. Ako su potomci izvodljivi upisuju se u novu populaciju, u suprotnom se odbacuju i postupak opisan u ovom koraku se ponavlja dokle god se ne postigne broj jedinki koji je definisan stopom ukrštanja.

Korak 9: Operacijom mutacije se popunjavaju preostali članovi nove populacije. Neophodno je testirati sve potomke kao što je opisano u koraku 4. Ovaj korak se ponavlja dok se ne popuni nova populacija.

Korak 10: Uvećati brojač generacija, i ako je on manji od maksimalnog broja generacija vratiti se na korak 6. U suprotnom iz trenutne populacije prikazati najbolje rešenje.

**REZULTATI**

Predložene metode su primenjene na sisteme IEEE 5 [[17](#_ENREF_17)], i IEEE 30 [[18](#_ENREF_18)]. Autori su usvojili pretpostavku da je u svakom čvoru u kome se ne nalazi generator moguće obezbediti prostor od 1 km2 za konstrukciju PV elektrane. Maksimalna snaga PV elektrane koja može da se sagradi na ovom prostoru je 50 MW.

Na slici 1 je prikazana zavisnost ATC svih transakcija od povećanja snage proizvodnje u posmatranom čvoru. Zbog uštede prostora prikazana slika pokazuje samo rešenje za najbolju lokaciju što je u ovom slučaju čvor 5. Razmatrali smo transakcije izbeđu bilo koja dva čvora *i* i *j*, gde *i* i *j* mogu uzimati vrednosti od 1 do *n*, pri čemu je *i* ≠ *j*, a *n* je ukupan broj čvorova u posmatranoj mreži. Transakcije su obeležene od 1 do (*nn*-*n*), što za mrežu od 5 čvorova znači da je sa 1 označena transakcija između čvorova 1 i 2, dok je sa brojem 20 obeležena transakcija između čvorova 5 i 4. Najveće povećanje vrednosti ATC za sve transakcije će biti ako se izgradi PV elektrana čija je maksimalna snaga proizvodnje 50 MW. Na slici 2 su prikazane vrednosti ATC za sve transakcije pre i posle izgradnje PV elektrane. Sa stanovišta vlasnika elektrane, kao nezavisnog učesnika na tržištu električne energije, najvažnija stvar je mogućnost prodaje električne energije potrošaču sa najvećom ponudom. Slika 2 pokazuje da bi se izgradnjom PV elektrane u čvoru 5 povećale vrednosti raspoloživog prenosnog kapaciteta od tog čvora ka svim ostalim čvorovima mreže, i da su te vrednosti mnogo veće od maksimalne snage proizvodnje.

Upotrebom predloženog algoritma sa punim AC modelom mreže i korišćenjem GA rešen je problem izbora lokacije i veličine PV elektrane za mrežu sa 5 čvorova. Rezultati pomenute analize su prikazani u tabeli 1.

Iz rezultata se vidi da bi sa izgradnjom PV elektrana čija je maksimalna snaga veća od one prikazane u tabeli 1, količina snage koja bi se mogla prodati određenom kupcu bi bila smanjena. Na primer, ako se investitor odluči da izgradi PV elektranu u čvoru 3 čija je maksimalna snaga 50 MW, ovo bi uzrokovalo smanjenje maksimalne snage koja se može prodati čvoru 1 na 218 MW, takođe bi se smanjila i maksimalna snaga razmene izbeđu čvorova 3 i 2 na 180 MW i između čvorova 3 i 4 na 126,5 MW. Iako su sve ove snage veće od 50 MW, i uprkos činjenici da se može prodati celokupna proizvodnja bilo kom čvoru, treba imati u vidu da sa prisustvom drugih

Slika 1.tif

Slika 1. Zavisnost vrednosti ATC svih transakcija od instalisane snage PV elektrane u optimalnom čvoru.

Slika 2.tif

Slika 2. Vrednosti ATC svih transakcija pre i posle instalacije PV elektrane.

TABELA 1 – OPTIMALNA VELIČINA PV ELEKTRANE SA STANOVIŠTA VISINE ATC TRANSAKCIJA

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Prodavac | | Kupac | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3 | ATC (MW) | 260,0 | 213,9 | / | 145,6 | 149,2 |
| PV (MW) | 8 | 5 | / | 0 | 50 |
| 4 | ATC (MW) | 199,5 | 309,8 | 158,2 | / | 160,9 |
| PV (MW) | 50 | 50 | 50 | / | 50 |
| 5 | ATC (MW) | 162,0 | 231,4 | 283,6 | 269,5 | / |
| PV (MW) | 50 | 50 | 48,8 | 50 | / |

novih izvora u mreži ili zbog tranzita energije kroz mrežu može doći do zagušenja i sprečavanja prodaje električne energije po najboljoj ceni za proizvođača. Zbog pomenutih razloga i uvidom u rezultate date u tabeli 1 čvor 5 predstavlja najbolje rešenje za izgradnju PV elektrane. Iz rezultata se može videti da je maksimalna snaga PV elektrane u zavisnosti od vrednosti ATC transakcija od interesa uniformna.

Obe od ovih analiza su reađene za mrežu sa 30 čvorova. Pomoću DC metode određena je lokacija u kojoj izgradnja PV elektrane ima najveći uticaj na vrednosti ATC. Rezultati ove analize su prikazani na slici 3. Slika pokazuje zavisnos vrednosti ATC samo za transakcije koje idu od čvora 7, u kome će se izgraditi PV elektrana, ka ostalim čvorovima mreže. Razlog za posmatranje samo ovih transakcija leži u činjenici da je vlasnik ove elektrane zainteresovan samo za povećanje svog profita. Sa slike 3 se vidi da se najveći utican na vrednosti posmatranih ATC ima pri maksimalnoj snazi PV elektrane od 50 MW. Pomoću bar dijagrama na slici 4 su prikazane vrednosti ATC ovih transakcija za slučaj sa i bez PV elektrane u posmatranom čvoru. Izgradnjom PV elektrane u ovom čvoru najviše bi se uticalo na maksimalnu snagu koja može da se prenese ka čvorovima koji su u okolini razmatrane lokacije gradnje. Iako bi se ova elektrana nalazila u blizini već postojećih konvencionalnih izvora, po isteku feed-in tarife vlasnik ove elektrane može da proda celokupnu proizvodnju zato što su njegovi troškovi daleko manji od troškova konvencionalnih izvora. Sa ovog stanovišta PV elektrana bi mogla da preuzme potrošače zbog svoje konkurentnosti na tržištu. Sa slike 4 se vidi da izgradnja PV elektrane u ovom čvoru ima zanemarljiv uticaj na visinu ATC ka udaljenim delovima mreže. Detaljnija analiza je sprovedena upotrebom druge metode kojom su potvrđeni prethodni rezultati. Zbog velike količine podataka i nemogućnosti

Slika 3.tif

Slika 3. Zavisnost vrednosti ATC transakcija iz čvora 7 ka ostalim čvorovima od instalisane snage PV elektrane.

Slika 4.tif

Slika 4. Vrednosti ATC transakcija iz čvora 7 pre i posle instalacije PV elektrane.

TABELA 2 – OPTIMALNO REŠENJE ZA MREŽU IEEE 30

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Čvor | ATC(MW) | PV(MW) | Čvor | ATC(MW) | PV(MW) | Čvor | ATC(MW) | PV(MW) |
| 1 | 129,6 | 50 | 11 | 59,9 | 0 | 21 | 23 | 0 |
| 2 | 106,5 | 50 | 12 | 59 | 50 | 22 | 28,5 | 0 |
| 3 | 169,1 | 50 | 13 | 58 | 50 | 23 | 19,4 | 50 |
| 4 | 163,7 | 49,5 | 14 | 33,9 | 50 | 24 | 17,5 | 0 |
| 5 | 46,2 | 49,7 | 15 | 27,6 | 50 | 25 | 21 | 50 |
| 6 | 131,3 | 50 | 16 | 31 | 50 | 26 | 7,3 | 25 |
| 7 | / | / | 17 | 33,2 | 50 | 27 | 29 | 0 |
| 8 | 12,5 | 0 | 18 | 18,5 | 50 | 28 | 22 | 0 |
| 9 | 63,3 | 0 | 19 | 25,2 | 50 | 29 | 12 | 0 |
| 10 | 68,7 | 49,5 | 20 | 30 | 20 | 30 | 7,6 | 0 |

efikaznog prikaza rezultata na malom prostoru rezultati sprovedene analize su dati u tabeli 2 samo za najbolju lokaciju.

**ZAKLJUČAK**

U ovom radu su prikazane dve metode za određivanje lokacije i veličine fotonaponske elektrane. Prva metoda, koja je i brža, zasniva se na upotrebi DC modela mreže i primeni simboličkog proračuna vrednosti raspoloživog prenosnog kapaciteta. ATC je u ovom radu korišćen kao mera statičke sigurnosti sistema. Druga metoda se zasniva na upotrebi punog AC modela mreže i genetskom algoritmu. Korišćenjem najboljih rešenja koja su dobijena pomoću prve metode znatno se ubrzava precizniji algoritam. Predložene metode su uspešno testirane na dve standardne mreže, IEEE 5 sabirnički sistem i IEEE 30 sabirnički sistem.

**ZAHVALNICA**

Autori zahvaljuju Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije koje je omogućilo izradu ovog rada u okviru Projekta III 42009 Inteligentne energetske mreže.

**LITERATURA**

[1] US DOE, 2002, "Energy efficiency and renewable energy". USA: Department of Energy, Dostupno na: http://www.eere.energy.gov.

[2] Keleş S, and Bilgen S, 2012, "Renewable energy sources in Turkey for climate change mitigation and energy sustainability", "Renewable and Sustainable Energy Reviews", "16", pp. 5199-5206.

[3] Batas-Bjelić I*,* Šošić D, i Rajaković N, 2013, "Energy loss in distribution network related to placement of solar photovoltaic systems," presented at the The Second International Conference on Renewable Electrical Power Sources.

[4] Gupta SC, Kumar Y and Agnihotri G, 2007 "Optimal sizing of solar-wind hybrid system," presented at the Information and Communication Technology in Electrical Sciences.

[5] Koroneos C, Michailidis M and Moussiopoulos N, 2004, "Multi-objective optimization in energy systems: the case study of Lesvos Island, Greece", "Renewable and Sustainable Energy Reviews", "8", pp. 91-100.

[6] Hengsritawat V, Tayjasanant T and Nimpitiwan N, 2012, "Optimal sizing of photovoltaic distributed generators in a distribution system with consideration of solar radiation and harmonic distortion", "International Journal of Electrical Power & Energy Systems", "39", pp. 36-47.

[7] Elnashar M, El Shatshat R and Salama M, 2010, "Optimum siting and sizing of a large distributed generator in a mesh connected system", "Electric Power Systems Research", "80", pp. 690-697.

[8] Mohammadi M, Hosseinian S and Gharehpetian G, 2012, "GA-based optimal sizing of microgrid and DG units under pool and hybrid electricity markets","International Journal of Electrical Power & Energy Systems", "35", pp. 83-92.

[9] NERC, 1996 "Available Transfer Capability Definitions and Determination", "Transmission Transfer Capability Task Force".

[10] Michalewicz Z, 1996, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs",."Springer".

[11] Šošić D and Škokljev I, 2013, "Evolutionary Algorithm for Calculating Available Transfer Capability", "Journal of Electrical Engineering", "64", pp. 291–297.

[12] Alvorado F and Oren S, 2000, "A Tutorial on the Flowgates versus Nodal Pricing Debate", "PSERC IAB Meeting Tutorial".

[13] Christie R, Wollenberg B and Wangensteen I, 2000, "Transmission management in the deregulated environment", "Proceedings of the IEEE", "88", pp. 170-195.

[14] Šošić D and Škokljev I, 2013, "A software tool for available transfer capability teaching purposes", "International Journal of Electrical Engineering Education", "50", pp. 96-109.

[15] Cheng Y, Chung T, Chung C and Yu C,2006, "Dynamic voltage stability constrained ATC calculation by a QSS approach", "International Journal of Electrical Power & Energy Systems", "28", pp. 408-412.

[16] Nireekshana T, Kesava Rao G and Siva Naga Raju S,2012, "Enhancement of ATC with FACTS devices using Real-code Genetic Algorithm", "International Journal of Electrical Power & Energy Systems", "43", pp. 1276-1284.

[17] Stagg G and El-Abiad A, 1968, "Computer Methods In Power System Analysis", "Mcgraw-Hill".

[18] Sood Y, 2007, "Evolutionary programming based optimal power flow and its validation for deregulated power system analysis", "International Journal of Electrical Power & Energy Systems", "29", pp. 65–75.