#### HRVATSKI OGRANAK MEĐUNARODNE ELEKTRODISTRIBUCIJSKE KONFERENCIJE - HO CIRED 9. (15.) savjetovanje Šibenik, 25. - 27. svibnja 2025.





dr.sc. Deni Ćetković, univ.mag.ing.el. HEP–ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka deni.cetkovic@hep.hr; deni.cetkovic@gmail.com

Siniša Vučinić, univ.mag.ing.el HEP–ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka sinisa.vucinic@hep.hr

David Vozila, univ.mag.ing.el. HEP–ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka david.vozila@hep.hr

# OPTIMIZACIJSKI ALGORITAM ZA TEHNOEKONOMSKI ODABIR IZMEĐU SANACIJE NN MREŽE REGULATOROM NAPONA ILI KABLIRANJEM

### SAŽETAK

U ovom radu predstavljen je tehnoekonomski optimizacijski algoritam za odabir između ugradnje regulatora napona i kabliranja dijela mreže (ili povećanja presjeka) za sanaciju naponskih prilika NN izvoda. Prvi dio algoritma sadrži rješenje za traženje optimalne pozicije regulatora napona te predlaže točnu poziciju regulatora u metrima, što je iskorak u odnosu na dosadašnja rješenja gdje se regulator postavljao u neki od čvorova mreže čime je optimalna pozicija bila limitirana čvorovima. Drugi dio algoritma fokusira se na odabir optimalnih dionica za kabliranje (povećanje presjeka), radi povratka napona unutar propisanih granica na najekonomičniji način, uz uzimanje u obzir troškova novih kabela i građevinskih radova. Algoritam zatim odabire isplativije rješenje. Rad algoritma nadalje je prikazan je kroz simulacije na dva primjera mreža. Kod dugačke kabelske mreže duljine 2,5 km, algoritam je kao isplativije rješenje predložio ugradnju regulatora napona a kod zračne mreže duljine 600 m predložio je kabliranje dijela zračne mreže.

Ključne riječi: optimizacija, pad napona, regulator, optimalni presjek, kabliranje

## OPTIMIZATION ALGORITHM FOR TECHNO-ECONOMIC SELECTION BETWEEN USING A VOLTAGE REGULATOR OR CABLING LV NETWORK

#### SUMMARY

This paper presents a techno-economic optimization algorithm for selecting between the installation of a voltage regulator and cabling parts of the LV network (or increasing cross-section) for voltage drop mitigation. The first part of the algorithm provides an improved solution for determining the optimal position of the regulator, proposing its exact position in meters. This represents an advancement over previous solutions where the regulator was positioned at one of the modeled network nodes, thus limiting the optimal position to those nodes. The second part of the algorithm focuses on optimizing and selecting segments for cabling or increasing the cross-section, aiming to restore voltage within prescribed limits in the most cost-effective way, considering the costs of new cables and construction works. In the end, the algorithm selects the more cost-effective solution. The operation of the algorithm is further demonstrated through simulations on two network examples. For a long cable network of 2.5 km, the algorithm suggested installing a voltage regulator, while for a 600 m overhead network, it recommended cabling part of the network.

Key words: optimization, voltage drop, regulator, optimal cross-section, cabling

## 1. UVOD

Problematika održavanja naponskih prilika unutar propisanih granica na niskonaponskim izvodima distribucijskih mreža postaje sve izraženija s porastom priključenja distribuiranih izvora i novih potrošača poput punionica za električna vozila. Takvi izazovi zahtijevaju tehnoekonomski optimalna rješenja koja balansiraju tehničke potrebe sustava i ekonomske troškove.

Dva najčešće korištena pristupa za rješavanje ovog problema uključuju ugradnju regulatora napona i kabliranje mreže, odnosno zamjenu postojećih vodiča vodičima većeg presjeka. Iako postoje i druga potencijalna rješenja, poput izgradnje dodatne trafostanice ili rasterećenja zračne mreže dodavanjem drugog zračnog voda na NN stupove, ovaj rad usmjeren je na slučajeve gdje takva rješenja nisu opcija.

Odabir između ugradnje regulatora napona i kabliranja ovisi o specifičnostima pojedine mreže, uključujući duljinu izvoda, otpor vodiča i potrebne investicije. Dosadašnja istraživanja često su se fokusirala na pojedinačne aspekte ovih rješenja, no nedostaje cjelovit i fleksibilan alat koji može usporediti oba pristupa u različitim scenarijima.

Cilj ovog rada je razviti tehnoekonomski optimizacijski algoritam koji omogućuje usporedbu ugradnje regulatora napona i kabliranja dijelova mreže, pružajući smjernice za odabir isplativijeg rješenja. Algoritam je prilagodljiv i može se koristiti za mreže s manjim brojem čvorova, kao što je prikazano u ovom radu, no njegov konceptualni okvir lako je proširiv na mreže s većim brojem čvorova uz manje dorade.

Prvi dio algoritma sadrži poboljšano rješenje za traženje optimalne pozicije regulatora napona te predlaže točnu udaljenost regulatora u metrima od trafostanice, što predstavlja iskorak u odnosu na dosadašnja rješenja gdje se regulator postavljao u neki od modeliranih čvorova mreže čime je optimalna pozicija bila limitirana čvorovima [1-2]. Drugi dio algoritma fokusira se na optimizaciju i odabir dionica za kabliranje ili povećanje presjeka.

Rješenja generirana algoritmom temelje se na minimalizaciji ukupnih troškova uz zadržavanje napona unutar propisanih granica. Važno je napomenuti da algoritam ne analizira širi spektar potencijalnih rješenja, već je usmjeren na specifične slučajeve gdje su ugradnja regulatora napona ili kabliranje ključne opcije. Njegova primjena demonstrirana je na dva primjera distribucijskih mreža: jednoj kabelskoj i jednoj zračnoj mreži. Rezultati pokazuju prilagodljivost algoritma specifičnostima pojedine mreže i njegov potencijal za široku primjenu u praksi.

## 2. METODA ZA ODABIR OPTIMALNE POZICIJE REGULATORA NAPONA

## 2.1. Modeliranje distribucijskog sustava

Jedna od dvije analizirane NN distribucijske mreže prikazana je na slici 1., a parametri mreže u Tablici I. Distribucijska mreža se sastoji od 2,585 km dugog podzemnog kabelskog voda presjeka Al 150 mm2. NN potrošači se napajaju iz samo 2 čvora ukupne vršne snage 20 kW, sa faktorom snage 0.95.



Slika 1. Situacija duge kabelske NN mreže

Vod između čvorova	Duljina	Radni otpor (Ω/km)	Reaktancija (Ω/km)	Vršna snaga (kW)
	dionice (km)			
0-1	1.1	0.203	0.08	15
1-2	1.485	0.203	0.08	5

Tablica I. Statistički pokazatelji mjerenja

Proračuni tokova snaga napravljeni su u Matlabu s "Backward/forward sweep" algoritmom [3-5]. Distribucijski vodovi modelirani su detaljnim π modelom koji uključuje serijski otpor i reaktanciju. Kapacitet linije nije uzet u obzir jer je učinak ove komponente na NN strani zanemariv. Model mreže za proračun bez ugrađenog regulatora prikazan je na slici 2.



Slika 2. Model mreže za proračun bez ugrađenog regulatora napona



Slika 3. Model mreže za proračun sa ugrađenim regulatorom napona

Kako bi se mogao izvršiti proračun tokova snaga i naponskih prilika u mreži s ugrađenim regulatorom napona ali i izvršiti precizan smještaj regulatora napona izrađen je model prikazan na slici 3. Parametri vodova u ovom modelu dani su sljedećim relacijama:

$$Z_{03} = Z_{01} \cdot \frac{l_{REG}}{l_{01}} \tag{1}$$

$$Z_{41} = Z_{01} \cdot \frac{(l_{01} - l_{REG})}{l_{01}} \tag{2}$$

U gorenavedenim relacijama  $Z_{01}$  predstavlja impedanciju voda 1,  $Z_{03}$  i  $Z_{41}$  predstavljaju impedanciju novoformiranih segmenata voda 1 prije i poslije pozicije ugrađenog regulatora napona,  $I_{01}$  predstavlja duljinu voda 1,  $I_{02}$  duljinu voda 2, a  $I_{reg}$  predstavlja duljinu od početka voda 1 do mjesta gdje optimizacijski algoritam predlaže položaj regulatora napona. Slične relacije vrijede i u slučaju kada algoritam predlaže postavljanje regulatora napona na neko mjesto na vodu 2 ili na nekom drugom vodu ukoliko se algoritam odluči primijeniti na mrežu sa više dionica i čvorova.

"Backward/forward sweep" algoritam je modificiran na način da omogućuje izračun porasta napona između ulaznog i izlaznog čvora regulatora napona. Napon na izlaznom čvoru dat je sljedećom relacijom:

$$U_{in} = U_{out} \cdot (1 + \frac{n}{100})$$
(3)

U gorenavenoj relaciji  $U_{in}$  predstavlja napon na ulaznom čvoru regulatora napona,  $U_{out}$  je napon na izlaznom čvoru, a *n* je upravljačka pozicija regulatora napona predložena algoritmom optimizacije od -20% do 20% u koracima od 5%.

#### 2.2. Optimizacijski algoritam za određivanje optimalne pozicije regulatora napona

Cilj optimizacijskog algoritma je odabir optimalne pozicije regulatora za koju će se u čvor niskonaponske mreže na kraju voda moći predati najveća moguća snaga a da pritom napon unutar cijele mreže ostane unutar propisanih naponskih granica od ± 10%.

$$Max f_1 = P_2 \tag{4}$$

Napon u svakoj točki distribucijske mreže treba zadovoljavati sljedeća ograničenja:

$$0.9 \cdot \text{Vn} \le \text{Vi} \le 1.1 \cdot \text{Vn} \tag{5}$$

U gore navedenoj relaciji *Vi* predstavlja vrijednost napona čvora *i*, dok Vn predstavlja nazivni napon distribucijske mreže (400V).

Pored navedenog ograničenja provjerava se i strujno ograničenje. Vrijednost maksimalne struje kroz svaku dionicu mora biti manja od nazivne struje vodiča.

U svrhu optimizacije, binarni genetski algoritam [6] modificiran je na način da slobodne varijable nisu kodirane binarnim zapisima nego cjelobrojnim zapisima. Ovakvo rekordno rješenje već je korišteno u optimizaciji srednjenaponskih mreža [7]. Slika 4. prikazuje dijagram toka korištenog optimizacijskog algoritma.



Slika 4. Dijagram toka korištenog optimizacijskog algoritma

Prvo, algoritam predlaže položaj regulatora napona i položaj kontrole napona. Za svako predloženo rješenje izgrađen je novi model mreže. Zatim se rade izračuni tokova snaga i naponskih prilika kako bi se ustanovilo zadovoljava li predloženo rješenje naponska ograničenja izražena relacijom (5). Ako predloženo rješenje ne zadovoljava naponska ograničenja, predlaže se novo rješenje. Svako rješenje se evaluira temeljem moguće priključne snage na kraju izvoda. Algoritam se izvodi dok se ne postigne maksimalan broj ponavljanja.

### 3. METODA ZA ODABIR OPTIMALNOG RJEŠENJA KABLIRANJA ILI POVEĆANJA PRESJEKA KABELA

Prvi dio algoritma dao je prijedlog pozicije optimalne pozicije ugradnje regulatora napona i maksimalnu moguću radnu snagu na kraju NN izvoda koja se može prenijeti u mreži sa ugrađenim regulatorom napona.

U drugom dijelu algoritma tražiti će se optimalno odnosno ekonomski najisplativije rješenje kabliranja ili povećanja presjeka postojećeg kabela kako bi se napon u istoj mreži ali bez ugrađenog regulatora napona zadržao unutar propisanih naponskih granica od ± 10 %. Pri tome mreža mora primiti istu snagu koju bi primila sa ugrađenim regulatorom napona.

### 3.1. Mogući presjeci kabela i modeliranje svih troškova kabliranja

Mogući presjeci, karakteristike i cijene kabela za kabliranje jedne ili više dionica prikazani su u Tablici II. U Tablici III prikazani su uobičajeni građevinski troškovi za različite tipove dionica.

rabilea in megael presjeel, karaktenetike reljene kabela				
Tip kabela	Radni otpor (Ω/km)	Reaktancija (Ω/km)	Cijena (EUR/m)	
NA2XY-0 (XP00-A) 4 x 150 mm2	0.203	0.08	14.98	
NA2XY-0 (XP00-A) 4 x 240 mm2	0.125	0.05	24.28	
2 x NA2XY-0 (XP00-A) 4 x 150 mm2	0.1015	0.04	29.95	
2 x NA2XY-0 (XP00-A) 4 x 240 mm2	0.0625	0.025	48.56	

Tablica II. Mogući presjeci, karakteristike i cijene kabela

l ablica III. Uobicajeni gradevinski troskovi kabilranja
--

Tip dionice	Cijena (EUR/m)
Zemljani kanal	50
Kanal u nerazvrstanoj prometnici s asfaltiranjem u širini 1m	90
Kanal u državnoj ili županijskoj cesti sa asfaltiranjem pune širine vozne trake	130

#### 3.2. Optimizacijski algoritam za odabir optimalnog kabliranja

Optimizacijski algoritam sličan je optimizacijskom algoritmu opisanom u prvom dijelu rada. Ključni dio je "rezanje" postojećih vodova i opisivanje impedancije "izrezanih" dijelova voda preko duljine svake dionice.



Slika 5. Primjer mreže

Primjerice, ukoliko algoritam predloži kabliranje prve dionice voda 0-1 sa slike 5. impedancija novoformiranih dionica će se izračunati preko sljedećih relacija:

$$Z_{0A} = Z_{01} \cdot \frac{l_A}{l_{01}} \tag{6}$$

$$Z_{A1} = Z_{01} \cdot (1 - \frac{l_A}{l_{01}}) \tag{7}$$

Nakon prijedloga dionica za kabliranje sa novodobivenim impedancijama pristupa se novom izračunu tokova snaga i provjerava jesu li zadovoljena naponska ograničenja definirana relacijom (5).

Funkcija cilja optimizacijskog algoritma može se opisati preko sljedeće relacije:

$$Min f_2 = \sum_{i=1}^{N_{-KB}} (C_{KBi} + C_{GRi})$$
(8)

U gorenavedenoj relaciji  $N_{KB}$  predstavlja broj dionica koje se kabliraju,  $C_{KBi}$  troškove nabavke novog kabela a  $C_{GRi}$  troškove građevinskih radova i polaganja kabela za dionicu *i*. Cilj je dakle minimizirati troškove kabliranja.

Građevinski troškovi definiraju se preko vektora građevinskih troškova. Primjerice, za mrežu sa slike 1. duljine 2585 m predmetni vektor biti će dimenzija [1 x 2585] a svaka varijabla u vektoru sadržavat će podatke o cijeni kabliranja svakog metra.



Slika 6. Situacija NN izvoda

Primjerice, za NN izvod iz promatrane mreže iz TS Jelenje 2 u kojem prvih 200 m predstavlja građevinski skupu dionicu prvi dio vektor cijene građevinskih radova poprimit će sljedeći izraz:

$$C_{GR} = [130 \ 130 \ 130 \ 130 \ 130 \ \dots]$$
 (9)

## 4. REZULTATI ZA DUGU KABELSKU MREŽU

Prvi dio algoritma dao je prijedlog optimalne pozicije ugradnje regulatora napona i maksimalnu moguću radnu snagu na kraju NN izvoda koja se može prenijeti u mreži sa ugrađenim regulatorom napona (Tablica IV).

<b>T I II I I I I I I</b>	1 I I I V I		
Lablica IV Rezultati za o	ntimalni emiesta	i i maksimalnii er	nadu na kralu izvoda
		I I marsimamu si	

		en je e talj i manten namen en alger m	
Maksimalni	Optimalna udaljenost	Optimalni polozaj preklopke	Maksimalna snaga
izlazni napon	regulatora od TS	regulatora u trenutku predaje	na kraju izvoda (kW)
regulatora (p.u.)	(km)	maks. snage	
1.1 Un	0.67	4(+20%)	59.00

Za predmetnu snagu od 59 kW tražit će se rješenje kabliranja. Dobiveni prijedlog rješenja kabliranja prikazan je u Tablici V. Vidljivo je da je algoritam izbjegao kabliranje prve dionice, građevinski skupe. No u preostalom dijelu predložio je najskuplju varijantu kabela kako bi zadržao napon unutar propisanih granica.

Tablica V. Prijedlog kabliranja			
	Dionica	Kabliranje DA/NE	
	0 – 210 m	Zadržava se postojeći KB	
	210 m – 2585m	Kabliranje sa 2 x NA2XY-0 (XP00-A) 4 x 240 mm2	



Slika 7. Naponski profil za različite scenarije za dugu kabelsku mrežu

Naponski dijagram izvoda prikazan je slici 7. Bez regulatora napon, dodatnih 59 kW na kraju izvoda uzrokovalo bi nagli pad napona te bi pad napona na kraju mreže bio približno 30%.

Korištenjem regulatora napona postavljenog 670 m od TS napon se podiže na vrijednost blizu 1.1 Un čime se dozvoljava daljnji kontinuirani pad napona prema kraja mreže i prenošenje vrlo visoke vrijednosti snage.

Kabliranjem, na dijelu gdje se kablira zbog ogromnog smanjenja otpora znatno se ublažava strmina krivulje pa će se napon do kraja mreže zadržati unutar propisanih ±10%.

i adilca VI. Troskovi za obje varijante			
Varijanta	Cijena (EUR)		
Ugradnja regulatora napona	40 000		
Kabliranje	253 190		

Konačno, Tablica VI prikazuje troškove za obje varijante. Može se zaključiti kako je u ovom slučaju ugradnja regulatora napona značajno isplativije rješenje od povećanja presjeka kabela. Cijena ugradnje regulatora napona procijenjena je na 40 000 EUR a cijena kablirana 253 190 EUR.

## 5. REZULTATI ZA KRAĆU ZRAČNU MREŽU

Kraća zračna mreža opisana je modelom mreže **duljine 600 m** sa NN vodom tip FR-N1XD9-AR 3 x 70 mm2. U predmetnoj mreži simulirana su dva centra potrošnje, prvi na polovini mreže sa snagom 20 kW a drugi na kraju. Za čvor na kraju mreže traži se optimalna pozicija regulatora te maksimalna moguća prenosiva snaga.

Opis NN mreže:

- Dionica 1 na prvih 100 m zračna niskonaponska mreža nalazi se uz cestu višeg značaja (državna/županijska) te je za kabliranje predmetne dionice potrebno vršiti iskope unutar prometnice (veći troškovi polaganja kabela)
- Dionica 2 preostalih 500 m zračne niskonaponske mreže nalazi se na dijelu gdje je zamjenu moguće izvršiti polaganjem NN kabela u zemljanom dijelu (manji troškovi polaganja kabela)

Prvi dio algoritma dao je prijedlog optimalne pozicije ugradnje regulatora napona i maksimalnu moguću radnu snagu na kraju NN izvoda koja se može prenijeti u mreži sa ugrađenim regulatorom napona (Tablica IV).

	Tablica VII. Rezultati za optimalili sinjestaj Entaksimalitu shagu na kraju izvoda				
Maksimalni	Optimalna udaljenost	Optimalni polozaj preklopke	Maksimalna snaga		
izlazni napon	regulatora od TS	regulatora u trenutku predaje	na kraju izvoda (kW)		
regulatora (p.u.)	(km)	maks. snage			
1.1 Un	0.143	3(+15%)	72.00		

Tablica VII. Rezultati za optimalni smještaj i maksimalnu snagu na kraju izvoda

Za predmetnu novu snagu od 72 kW na kraju izvoda tražit će se rješenje kabliranja. Dobiveni prijedlog rješenja kabliranja prikazan je u Tablici VIII. Algoritam i u ovom slučaju izbjegava kabliranje prve dionice radi ulaznih podataka gdje je postavljena skupa cijena te dionice. No odmah nakon završetka skupe dionice predlaže se kabliranje sa ukupnim presjekom 300mm2 u duljini 290 m.

Tablica VIII. Prijedlog kabliranja		
Dionica	Kabliranje DA/NE	
0 – 110 m	Zadržava se postojeći KB	
110 m – 400 m	Kabliranje sa NA2XY-0 (XP00-A) 4 x 150 mm2	
400 m – 600 m	Zadržava se postojeći KB	



Slika 8. Naponski profil za različite scenarije za kraću zračnu mrežu

Naponski dijagram izvoda prikazan je slici 9. Bez regulatora napon, dodatnih 72 kW na kraju izvoda uzrokovalo bi veliki pad napona te bi pad napona na kraju mreže bio blizu 20%.

Korištenjem regulatora napona postavljenog 143 m od TS napon se podiže što omogućuje daljnji kontinuirani pad napona prema kraja mreže i prenošenje vrlo visoke vrijednosti snage.

Kabliranjem, na dijelu duljine 290m gdje se kablira zbog smanjenja otpora ublažava se strmina krivulje pa će se napon do kraja mreže zadržati unutar propisanih ±10%.

raplica IX. Troskovi za obje varijanile		
Varijanta	Cijena (EUR)	
Ugradnja regulatora napona	40 000	
Kabliranje	23 186	

Tablica IX. Troškovi za obje varijante

Konačno, Tablica IX prikazuje troškove za obje varijante. Može se zaključiti kako je **u ovom slučaju kabliranje sa cijenom od 23 186 EUR isplativije rješenje** od ugradnje regulatora napona, procijenjene vrijednosti 40 000 EUR.

## 5. ZAKLJUČAK

Tehnoekonomski optimizacijski algoritam razvijen u ovom radu pokazao je fleksibilnost i učinkovitost u prilagodbi specifičnostima mreža različitih konfiguracija. Analizom rezultata dvaju primjera mreža, algoritam je potvrdio svoju sposobnost da odabere tehnoekonomski isplativije rješenje između ugradnje regulatora napona i kabliranja dijelova mreže. U radu su analizirane mreže sa manjim brojem potrošačkih centara, no pristup je lako prilagodljiv i nakon dorade može se primijeniti na mreže s mnogo većim brojem čvorova. Prikazane metode naglašavaju ključne korake u optimizaciji, pružajući osnovu za daljnje unapređenje i proširenje funkcionalnosti algoritma.

Kod dugačke kabelske mreže duljine 2,5 km, ugradnja regulatora napona pokazala se značajno isplativijom opcijom, s procijenjenim troškom od 40 000 EUR u odnosu na 253 190 EUR za kabliranje. S druge strane, kod kraće zračne mreže duljine 600 m, koja koristi vodič većeg otpora, kabliranje s troškom od 23 186 EUR predstavljalo je povoljnije rješenje od ugradnje regulatora napona procijenjene vrijednosti 40 000 EUR.

Generalno, može se zaključiti da je povećanje presjeka primjenjivije rješenje u slučajevima kada se radi o kraćim zračnim mrežama, dok je ugradnja regulatora napona pogodnija opcija kod duljih kabelskih mreža. Ovo posebno vrijedi za mreže koje su s vremenom dobivale sve više novih potrošača i produljivale se, čime se potreba za rješavanjem problema naponskih prilika pojavljuje na većim udaljenostima od trafostanice te bi sanacija kabliranjem izazvala prevelike građevinske troškove.

Ovi rezultati potvrđuju da algoritam može pružiti optimalna rješenja za različite vrste mreža, uzimajući u obzir tehničke i ekonomske aspekte. Korištenjem ovog pristupa moguće je donijeti odluke koje maksimiziraju tehničku učinkovitost uz minimalne troškove, čime se unapređuje planiranje i upravljanje distribucijskim mrežama.

## 5. LITERATURA

- [1] Rama Rao, P.V.V., Sivanaga Raju, S. : 'Voltage Regulator Placement In Radial Distribution Network Using Plant Growth Simulation Algorithm', International Journal of Engineering, Science and Technology Vol. 2, No. 6, 2010, pp. 207-217
- [2] Lopez, R., Lopez, M.A., Vannier, J.C. : 'Optimal location of voltage regulators in radial distribution networks using genetic algorithms', 15th Power Systems Computation Conference, Liege, Belgium, August 22-26 2005.
- [3] Haque, M. H. A General Load Flow Method for Distribution System. // Electric Power System Research. 54, 1(2000), pp. 47-54.
- [4] Hamouda, S. A.; Zehar, K. Efficient Load Flow Method for Radial Distribution Feeders. // Journal of Applied Sciences. 6, 13(2006), pp. 2471-2478.

- [5] Prenc, R., Škrlec, D., Komen, V., "A novel load flow algorithm for radial distribution networks with dispersed generation", Tehnički vjesnik – Technical Gazette, Vol. 20, No., 6, December 2013., pp. 969-977.
- [6] 'Matlab Mathworks', https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/67435-the-geneticalgorithm-ga-selection-crossover-mutation-elitism, accessed 15 August 2018
- [7] Sulaiman, M.H., Aliman, O., Abdul Rahim S.R. "Optimal Allocation of EG in Distribution System Using Genetic Algorithm Technique", Journal of Energy and Power Engineering, Vol. 4, No. 1, January 2010, pp. 56-63.