

dr. sc. Slaven Kaluđer, znanstveni suradnik
HEP ODS Elektroslavonija Osijek
Slaven.kaluder@hep.hr

STRATEGIJA POSTAVLJANJA KONDENZATORSKIH BATERIJA KAO POTPORA NAPONA U 35 kV MREŽI DP ELEKTROSLAVONIJE OSIJEK

Sažetak

U ovom radu je obrađena jedna od izrazito važnih zadaća ODS-a, a to je što bolje upravljanje tokovima jalove energije u funkciji podrške naponu. Strategija postavljanja kondenzatorskih baterija kao potpora naponu u 35 kV mreži DP Elektroslavonije Osijek kao jedna od mogućnosti utjecanja na Q-karakteristiku sustava. U radu je provedena usporedba trenutnog stanja s optimalnim stanjem u vidu lokacija i veličina kondenzatorskih baterija kako bi se dao smjer u kojem se treba krenuti u pogledu formiranja sveobuhvatne Q-karakteristike sustava. Također se napravila usporedba napona u čvorištima 35 kV mreže DP Elektroslavonije u djelomično provedenoj kompenzaciji pomoću kondenzatorskih baterija (trenutno stanje) s naponima u čvorištima 35 kV mreže nakon optimizacije. Prikazani su radni gubici u 35 kV mreži prije i poslije sustavne kompenzacije. Strategija optimizacije će se provesti pomoću genetskog algoritma, najprirodnije metode umjetne inteligencije za ovakvu vrstu problematike.

Ključne riječi: koordinacija jalove snage, upravljanje naponom, kondenzatorske baterije, umjetna inteligencija, genetski algoritam

THE STRATEGY OF INSTALLING CAPACITOR BANKS FOR VOLTAGE SUPPORT IN THE 35 kV NETWORK DP ELEKTROSLAVONIJE OSIJEK

Summary

This paper deals with one of the most important ODS roles, which is the best way to manage the reactive power flows in function of voltage support. The strategy of installing capacitor banks for voltage support in the 35 kV network of DP Elektroslavonija Osijek as one of the possibilities of influencing the Q-characteristics of system. In this paper, a comparison of the current condition with the optimum condition in terms of location and size of the capacitor banks was made in order to give the direction in which to go about the formation of the comprehensive Q-characteristics of system. A comparison of the voltage in the 35 kV nodes of the DP Elektroslavonija node was also performed in partial compensation by capacitor batteries (current condition) with voltages in the 35 kV nodes after optimization. Real losses in 35 kV network are shown before and after system compensation. The optimization strategy will be implemented using a genetic algorithm, the most natural artificial intelligence method for this type of problem.

Key words: reactive power coordination, voltage control, capacitor banks, artificial intelligence, genetic algorithm

1. UVOD

Ovih godina povećana pozornost je dana na poboljšanje funkcioniranja EES-a pomoću smanjenja potrošnje goriva na način kako bi se bolje iskoristila postojeća oprema (infrastruktura) te kako bi se odustalo od kupovine primarne opreme [1]. Jedan od pristupa rješavanju tog problema je gospodarenje jalove snage. Postoje dva osnovna tipa toka jalove snage koja se odnose na EES, a to su: jalova snaga koju konzumiraju tereti i jalova snaga koja je konzumirana unutar same mreže[1].

Komponente koje apsorbiraju jalovu snagu su generatori, sinkroni kompenzatori (rade s kutom prethođenja), induktiviteti vodova i transformatora, statička kompenzacija i tereti. Jalova snaga se generira pomoću generatora, sinkronih kompenzatora (s kutom zaostajanja), statičkom kompenzatorima, statičkim kondenzatorima i kapacitetima u vodovima i kabelima.

Kompletna interakcija između komponenti sustava (koordinacija) je potrebna kako bi se kontrolirao napon i tokovi jalove snage na takav način kako bi se minimizirali gubici prijenosa te naziva se koordinacija jalove snage. U koordinaciji jalove snage koriste se računalni programi za optimizaciju u postizanju toga cilja.

Gospodarenje jalovom snagom je širi pojam od koordinacije jalove snage te podrazumijeva strateški pristup. Gospodarenje jalovom snagom se može definirati kao upravljanje naponom generatora, transformatorskim preklopkama, kompenzacijom, promjenjivom kompenzacijom te također rasporedom novih kompenzacija i kondenzatorskih baterija sve u vidu smanjenja gubitaka sustava ili upravljanja naponom [2]. Gospodarenje jalovom snagom kod kompanija koje se bave tom djelatnošću kod statičkog stanja, a i kod dinamičkih uvjeta u sustavu može se podijeliti u planiranje jalove snage, planiranje operativnog djelovanja u sustavu i raspored i upravljanje jalovom snagom [1]. Okviri cjelokupne strategije gospodarenja jalovom snagom uključuju postojanje distribuirane proizvodnje, transformaciju distribucijske mreže u distribucijski sustav i nedostatak naprednog upravljanja [3].

Planiranje jalove snage se odnosi na instaliranje ili deinstaliranje opreme za kompenzaciju jalove snage u EES-u. To je ovisno o uvjetima u sustavu od nekoliko mjeseci do nekoliko godina u budućnost [1].

Planiranje funkcioniranja sustava se odnosi na poboljšanje procedura djelovanja koristeći postojeću opremu za jalovu snagu. Takvo se planiranje provodi od nekoliko dana do godine dana u budućnost[1].

Raspored i upravljanje jalovom snagom određuje se stvarno djelovanje opreme. Potrebna analiza se provodi od nekoliko sekundi do nekoliko sati prije implementacije. Pojam opreme se odnosi na uređaje za kompenzaciju jalove snage, nadzor, upravljanje i komunikacijsku opremu koja je potrebna kako bi se provela funkcija dispečiranja u stvarnom vremenu. Oprema za kompenzaciju jalove snage koja može biti instalirana, deinstalirana ili upravljana, a uključuje šant kapacitete, šant reaktore, serijske kondenzatore, statičke kompenzatore, sinkrone kompenzatore, generatore i transformatore s promjenjivom preklapkom u odnosu na opterećenje [1]. Dodatna oprema uključuje uređaje za mjerenje jalove snage, releje, automatsko upravljanje (npr. automatizacija u TS), sklopke i prekidače te komunikacijsku opremu [1].

Ciljevi kompanija za svaku kategoriju gospodarenja su sigurnost i ekonomičnost. U prošlosti su kompanija problem jalove snage i kontrole napona promatrala kao sigurnosno pitanje [1]. Kazalo se kako je EES siguran ako je mogao izdržati poremećaj bez da prekrši parametre djelovanja [1]. U praksi stupanj sigurnosti koji može biti planiran kod EES-a je ograničen na ekonomsku isplativost. I kod planiranja i upravljanja EES-a potrebno je uzeti u obzir sigurnost uz maksimizaciju profita. Ekonomija uključuje procjenu alternativa baziranih na usporedbi troškova i koristi (engl. cost/benefit, CBA). Kod planiranja i upravljanja EES-a gospodarenje jalovom snagom (energijom) poboljšava financijske i sigurnosne parametre u EES-u.

Koristi od primjene strategije gospodarenja jalovom snagom da poboljša funkcioniranje EES-a [1]: Ušteda zbog smanjenja gubitaka u sustavu. Smanjenje ukupnih gubitaka ima koristi radi snižavanja troškova goriva kod generatora. Budući prividna snaga mora snabdijevati terete i gubitke, troškovi goriva će se smanjiti kada se smanje gubici u sustavu. Poboljšanje naponskih prilika, generalna slika naponskih prilika je poboljšana izravnavanjem i povećanjem nominalne naponske vrijednosti. Ovo je važno zbog toga što je naponski profil mjera toka jalove snage u EES-u. Naponski profil je važan indikator stanja u sustavu.

Bolje upravljanje naponom je moguće na širokoj osnovi. Strategija globalnog upravljanja naponom gdje se obuhvaća cijeli sustav je bolja od lokalne strategije upravljanja naponom. Investiranje u komunikacijsku i mjernu opremu je nužno kako bi se dobio maksimum. Poboljšana sigurnost sustava je ostvarena na način boljeg iskorištenja jalovih resursa, tako imajući veće jalove rezerve dostupne za

uvjete u sustavu koje zahtijevaju iznenadno povećanje potražnje za jalovom snagom. Različiti uvjeti mogu uzrokovati nagle potrebe u sustavu za jalovom energijom (npr. značajno opterećivanje već opterećenog dalekovoda nakon čega slijedi reakcija zaštite na neki drugi dalekovod će dovesti do značajnog povećanja potreba za jalovom snagom). Takve se posljedice mogu ublažiti dispečiranjem jalove snage. Rasterećenje prijenosne opreme nastaje uslijed smanjenog toka jalove snage. Smanjenje opterećenja jalovom snagom dovodi do mogućeg povećanja transfera djelatne snage. Ovo je atraktivno budući nije potrebno kupovati novu primarnu opremu.

Osnovna obveza operatora sustava je nadzor nad proizvodnjom radne snage, tokovima radne i jalove snage u sustavu kako bi se napon mogao održavati u granicama te sustav optimalno funkcionirati. Operatori ponekad teže zadržavanju velikih rezervi jalove snage što može rezultirati neekonomičnim radom.

Kompanije koje se bave prijenosom i distribucijom električne energije sve su više zainteresirane za maksimizaciju korištenja postojeće opreme. Dispečiranje i optimalno gospodarenje jalovom snagom pružaju mogućnost kako bi se napravio idući korak u tom smjeru [1].

2. UMJETNA INTELIGENCIJA ZA Volt/VAr REGULACIJU

Unatoč djelomičnom uspjehu algoritamskih metoda postoji velika grupa problema koje nije bilo moguće riješiti, a to je: baza znanja u kojemu bi se pohranilo ljudsko znanje, prosudba operatera u praktičnim situacijama, iskustvo koje je skupljeno kroz duži period i nepredvidivost mreže u pogledu promjenjivosti opterećenja. Od metoda umjetne inteligencije razmotrene su ekspertni sustavi, neuronske mreže i genetski algoritmi [4, 5, 6].

2.1. Ekspertni sustavi

Glavne prednosti Ekspertnih sustava (ES) da su stalni i konzistentni, lako se mogu transportirati ili umnožiti i lako se mogu dokumentirati. Razvijen je prototip Volt/VAr ES za upravljanje čija glavna svrha bila dokazati kako je moguće ostvariti ovakav sustav za predmetnu vrstu problema. Razvijeni sustav sadrži znanje koje proizlazi iz iskustva, pokusa a i modele u obliku uzroka-posljedice. Sustav je stavljen u pogon u Portugalskom EDP nacionalnom operatoru [4]. Glavni problem je bio u rješavanju Volt/VAr problema u okviru SCADA/EMS sustava. Potrebno je bilo suočiti se s problemom velikog kompleksnog sustava i računalnom efikasnošću u „real-time“ okolini. Glavne prednosti kombiniranog ES i nelinearne optimizacijske funkcije u EDP su ocjena na više razina u vidu provedbe i organizacije. Rezultati tog projekta su [4]: „real-time“ djelovanje Volt/VAr ES koji je integriran u optimizacijski paket, manje upravljačkih akcija koje su više lokalizirane i pragmatične, smanjeno je vrijeme izračuna, ekspertna funkcija se provodi nakon svake promjene stanja ili topologije te i periodički svakih 10 min, ako i nije bilo nikakvih promjena u sustavu [4].

- Sposobnost da izvede ozbiljan zaključak kod Volt/VAr problema i da se adaptira rješenje dobiveno iz ES i optimizacije.
- Demonstracija provedivosti i korisnosti efikasne integracije različitih paradigmi npr. algoritamskih metoda i metoda umjetne inteligencije u EMS okružju upravljačkog centra.
- Sistematizacija znanja i podataka o mrežnim resursima, upravljačkim nedostacima i operativnim praksama povezanim sa specifičnom domenom Volt/VAr gospodarenjem.
- Redefiniranjem operativnih kriterija koji se odnose na koordinaciju upravljanja, upravljanja rezervama jalove energije i nadziranje naponskog profila.
- Poboljšanje točnosti modela i parametara što dovodi do širenja kvalitetnih informacija prema drugim odjelima u kompaniji najčešće prema odjelu za planiranje.

Iskustvo dobiveno u EDP projektu daje nam uvid u efikasniju ulogu ES u EMS okolini i evolucijski proces integracije umjetne inteligencije (UI) u elektroenergetskoj industriji [4]. Za NGC EDP razvijena je „stand-alone“ verzija koja se sastoji od VCES koji je bio razvijen kako bi procesirao podskup alarma koji su proizašli iz naponskih odstupanja u koordinaciji s višekriterijskom (engl. multi-objective) optimizacijom jalove snage. To je izgrađeno oko algoritamskog kernela, numerički robusnog MINOS (engl. Modular incore nonlinear optimization system) paketa. ES kombinira opće znanje o Volt/VAr problemu sa specifičnim znanjima operativnih praksi koje se odnose na mrežu i opremu.

2.2. Neuronske mreže

Karakteristike neuronskih mreža (NM) su brzina, sposobnost učenja, adaptivnost na nove uvjete (podatke), robusnost i prigodne su za nelinearno modeliranje. Te prednosti sugeriraju korištenje NM za nadzor naponske sigurnosti (engl. Voltage security) [4]. Prilikom sloma napona (engl. Voltage collapse) je provedena istraga pomoću višeslojne NM (engl. feedforward), a utrenirana je pomoću algoritma (engl. backward error propagation). Također obrađen je problem statističkog sloma napona korištenjem metode jedinične minimalne vrijednosti. Misli se kako je treniranje NM računalno zahtjevno te je neizbježno potrebno dodatno vrijeme kako bi se procijenila stabilnost napona jednom kada je mreža utrenirana. Neki od nedostataka NM su puno dimenzija, odabir optimalne konfiguracije (za tu svrhu koristi se GA), problem konvergencije, odabir trening metodologije (korištenje GA u tu svrhu u istraživanju), prikaz pomoću crne kutije (manjak mogućnosti objašnjavanja) i činjenica da su rezultati uvijek dobiveni iako su ulazni podaci besmisleni [4].

Predloženo je da se metode koje se nadopunjavaju mogu povezati, a to je ES i NM kako bi se ostvarila određena prednost u rješavanju problema nadzora sloma napona [4]. U tom hibridnom sustavu ES provodi na visokoj razini nadzor, dijagnozu ili planiranje, a NM se koriste kao alat za procjenu lokalnih problema koji bi inače uključivali veliku analitičku složenost. Hijerarhijska struktura za nadzor od sloma napona podrazumijeva da se NM fokusira na pod-skup domene problema zbog čega je potreban skup podataka reduciran na razumnu veličinu kako bi se mogla utrenirati. U prvom stupnju (koraku) slom napona je procijenjen pomoću ES koristeći skup iskustvenih pravila [4].

Nadalje provodi se kategorizacija rezultata tj. oni koji su sigurni i oni koji su nesigurni. Raščlanjivanje mora biti brzo kako bi se dozvolilo vrijeme za korektivnu akciju i konzervativno kako bi se izbjegli nepostojeći ili krivi alarmi. Situacije koje su neizvjesne se onda prenose u drugi stupanj za daljnju analizu pomoću prigodne NM kako bi se odredio stupanj sigurnosti u strožim uvjetima. Na kraju se konačni rezultat prezentiranju ES na izvođenje logičkih zaključaka. Svojsvo logičkog izvođenja zaključaka uzročno-posljedično kod ES je inkorporirano u sami ES npr. ako NM vrati nisku razinu pouzdanosti ES će možda dati neko objašnjenje i uputu ili proslijediti drugoj NM na ponovnu procjenu.

3. GENETSKI ALGORITAM ZA Volt/VAr UPRAVLJANJE

Svaki optimizacijski problem ima funkciju cilja i uvjete (ograničenja) koji mogu biti linearni i nelinearni [7,8]. Može se iskoristiti jedna funkciju cilja za povezivanje dva cilja koji imaju jednu zajedničku osobinu (značajku), a to je trošak. Kod nekih optimizacijskih problema nije moguće pronaći zajedničku osobinu kod različitih ciljeva. Također ponekad su razlike kvalitativne, a ponekad je relativnu važnost tih ciljeva moguće kvantificirati [9].

Optimizacija s više ciljeva kod koje evolucija funkcije cilja nas dovodi do raznih modela koje kombiniraju troškove kondenzatorskih baterija i gubitke u sustavu te se nazivaju višestruke funkcije cilja (engl. multi objective functions) [9]. Odabir funkcije cilja kod problema gospodarenja jalovom snagom se uglavnom bazira na troškovima.

Svaki optimizacijski problem sastoji se od funkcije cilja i grupe ograničenja (uvjeta) [9]. Glavna ograničenja su povezana sa izračunom tokova snaga kod rješavanja problema planiranja jalove snage [9].

Cilj optimalnog postavljanja kondenzatorskih baterija je smanjenje troškova u sustavu. Troškovi su iskazani kao inicijalni troškovi instaliranja kondenzatorskih baterija, troškovi kupovine kondenzatora, troškovi održavanja i amortizacije i trošak ukupnih gubitaka. Funkcija cilja iskazana je relacijom (1).

$$\min F = \sum_{i=1}^{N_{sab}} (x_i C_{0i} + Q_{ci} C_{1i} + B_i C_{2i} T) + C_2 \sum_{l=1}^{N_{load}} T_l P_L^l \quad (1)$$

N_{sab} – broj kandidata (sabirnica)

x_i – 0/1, 0 znači kako kondenzator nije instaliran kod sabirnice i

C_{0i} – trošak instaliranja

C_{1i} – trošak kondenzatorske baterije po kVar

Q_{ci} – snaga kondenzatorske baterije u kVAr

B_i – broj kondenzatorskih baterija

C_{2i} – troškovi održavanja kondenzatorskih baterija po godini

T – Planirani period

C_2 – Trošak radnih gubitaka nj/kWh

I – razina opterećenja, maksimum, prosjek, minimum

T_I – vremensko trajanje opterećenja I u satima

P_L^I – ukupni gubici sustava pri opterećenju I

Ograničenja (uvjeti) kod optimalnog rasporeda kondenzatorskih baterija se prvenstveno odnose na ograničenja tokova snaga. Također svi naponi (amplitude) kod sabirnica na kojima je teret (PQ) trebaju biti unutar granica. Faktor snage treba biti veći od zadanog minimuma. Ograničenja su iskazana na sljedeći način (2).

Tokovi snaga $F(x,u) = 0$

$$V_{\min} \leq V \leq V_{\max}, \cos \varphi_{\min} \leq \cos \varphi \leq \cos \varphi_{\max} \text{ za sve PQ sabirnice} \quad (2)$$

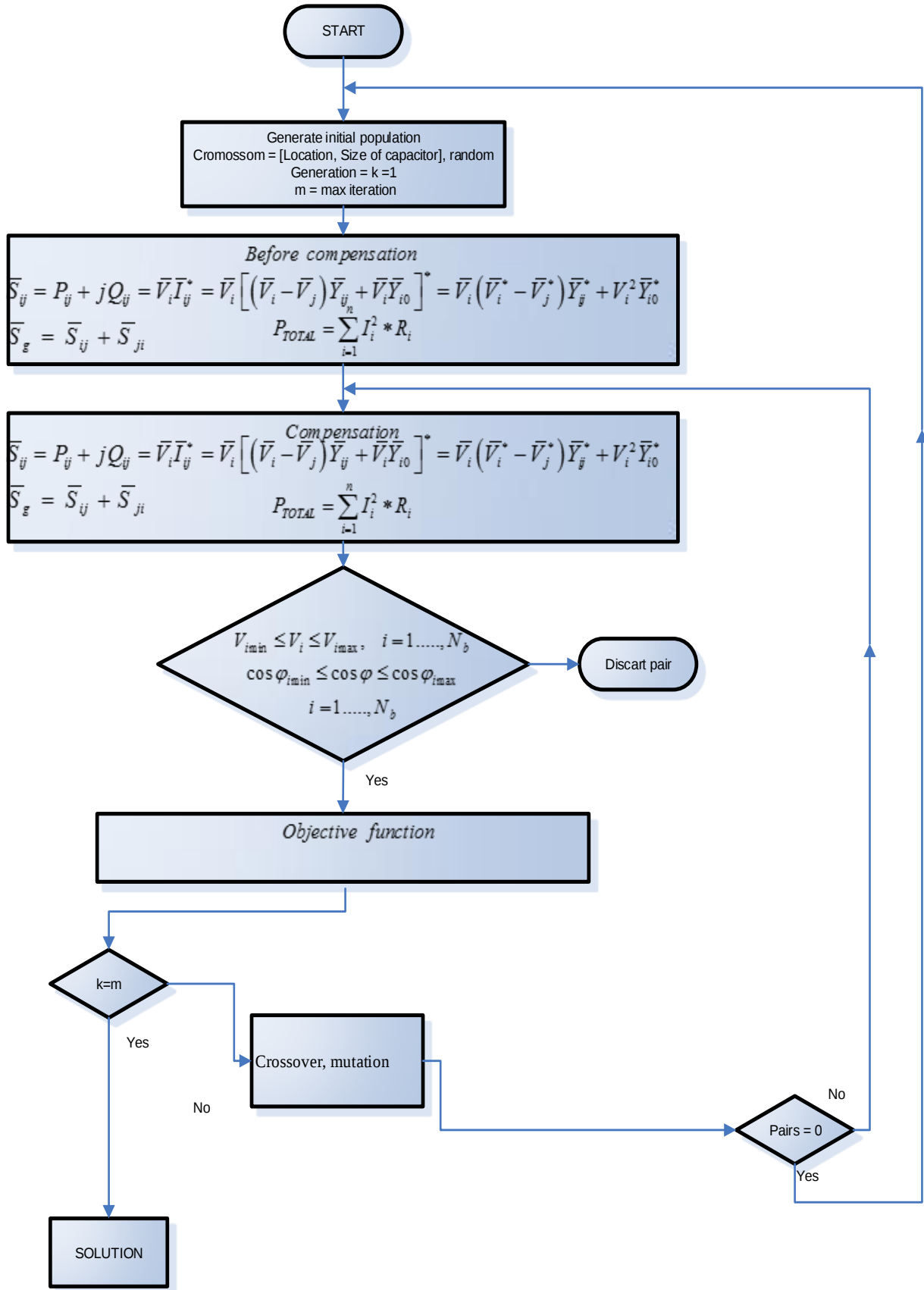
Genetski algoritam je optimizacijska tehnika bazirana na prirodnoj selekciji. Genetski algoritam kreće sa generacijom rješenja s širokom raznolikošću kako bi se obuhvatio cijeli prostor pretraživanja. Koristeći svojstva mutacija i križanja dobre karakteristike se prenose na buduću generaciju. Optimalno rješenje se dobiva kroz određeni broj generacija.

Genetski algoritmi su generalni optimizacijski algoritmi koje je prvi razvio John Holland 1975. godine. Oni se razlikuju od klasičnih algoritama jer koriste koncept populacijske genetike kako bi napravili optimizacijsku pretragu. Genetski algoritam funkcionira na principu populacije individualnih rješenja.

Stohastičkim procesom križanja i mutacija GA kombinira osobine najboljih rješenja u populaciji kako bi došao do nove populacije rješenja s ciljem da sačuva poželjne karakteristike individualnih rješenja iz jedne generacije u drugu Slika 1.

Prednosti GA nad tradicionalnim algoritmima je što treba samo grubu informaciju o funkciji cilja i lokacije te nema ograničenja kao što su diferencijabilnosti i konveksnost funkcije cilja. Metoda funkcionira na principu skupa rješenja iz jedne generacije u drugu, a ne s jednim rješenjem i tako nastoji izbjeći konvergenciju u lokalni minimum. Metoda koristi populaciju rješenja gdje je svako rješenje prikazano kao niz bitova gdje zamjena mjesta bitovima predstavlja pretraživanje u prostoru rješenja pa je tako efekt pretraživanja raširen istovremeno u mnogim regijama prostora za pretraživanje. Dobivena rješenja su bazirana na stohastici genetskih operatora križanja i mutacija pa početno rješenje neće utjecati na smjer pretraživanja GA.

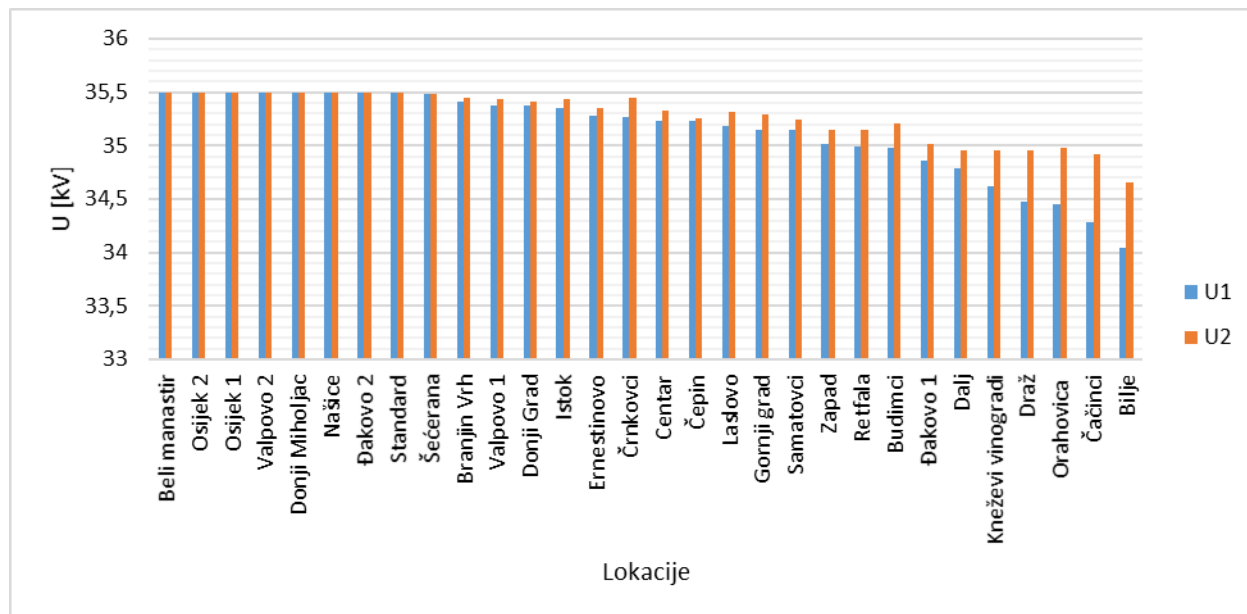
Prva pojavljivanja GA u svrhu optimizacije EES-a, a posebno za kompenzaciju jalove snage i kontrolu napona su iz 1991. godine [4].



Slika 1. Genetski algoritam za optimalan raspored kondenzatorskih baterija

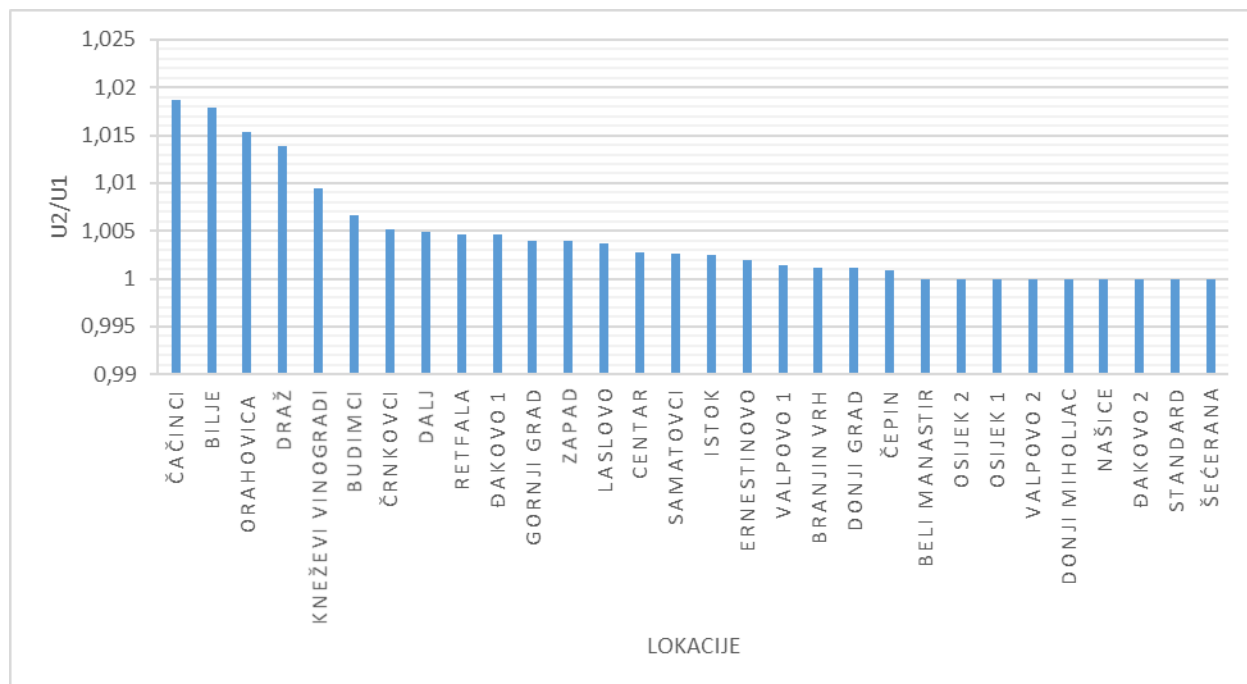
4. REZULTATI

Naponske prilike prije i poslije optimalnog raspored kondenzatorskih baterija prikazuje slika 2. na kojoj je prikazan napon na sabirnicama 35 kV u pojnim čvorištima distribucijske mreže 35 kV prije kompenzacije prikazan s plavim stupcem, a nakon kompenzacije prikazan s crvenim stupcem [10]. Vidi se sa slike 2 kako su naponske prilike poboljšale u svim čvorištima.



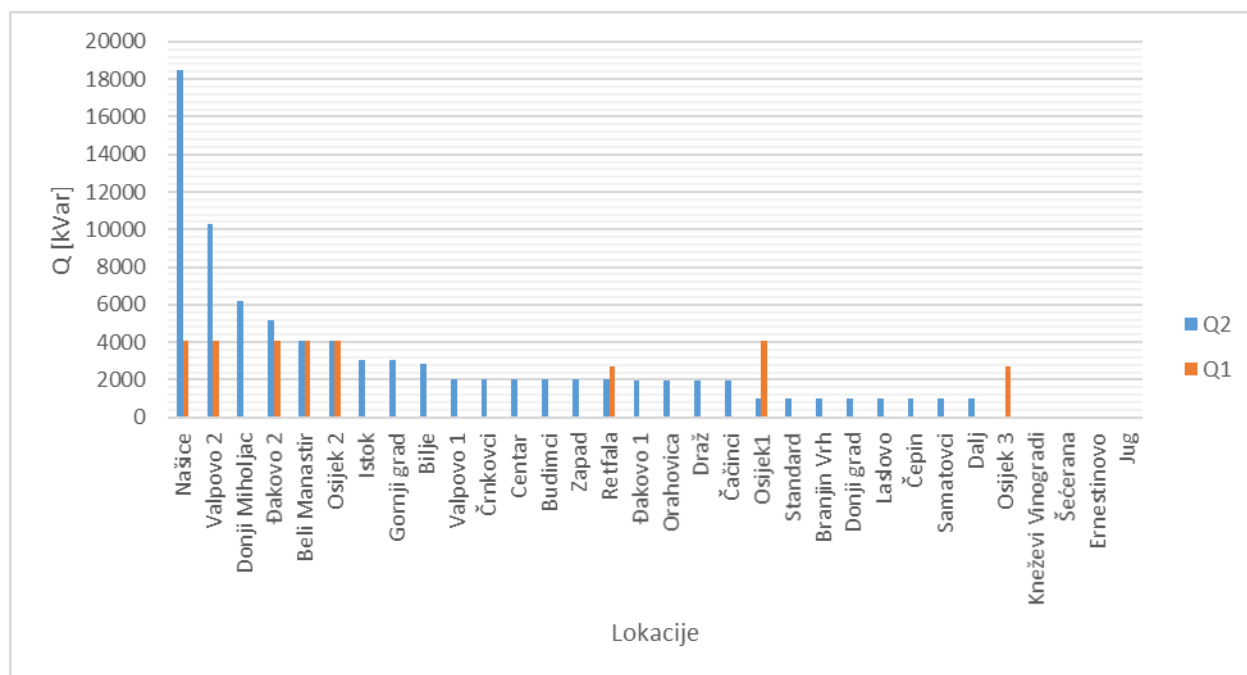
Slika 2. Iznosi napona prije i poslije kompenzacije

Relativni iznosi napona po TS 35/10 kV prikazani su na Slici 3 s koje se vidi poboljšani naponski profil cijele 35 kV mreže DP Elektroslavonija obzirom na provedenu sustavnu kompenzaciju jalove snage pomoću kondenzatorskih baterija [10].



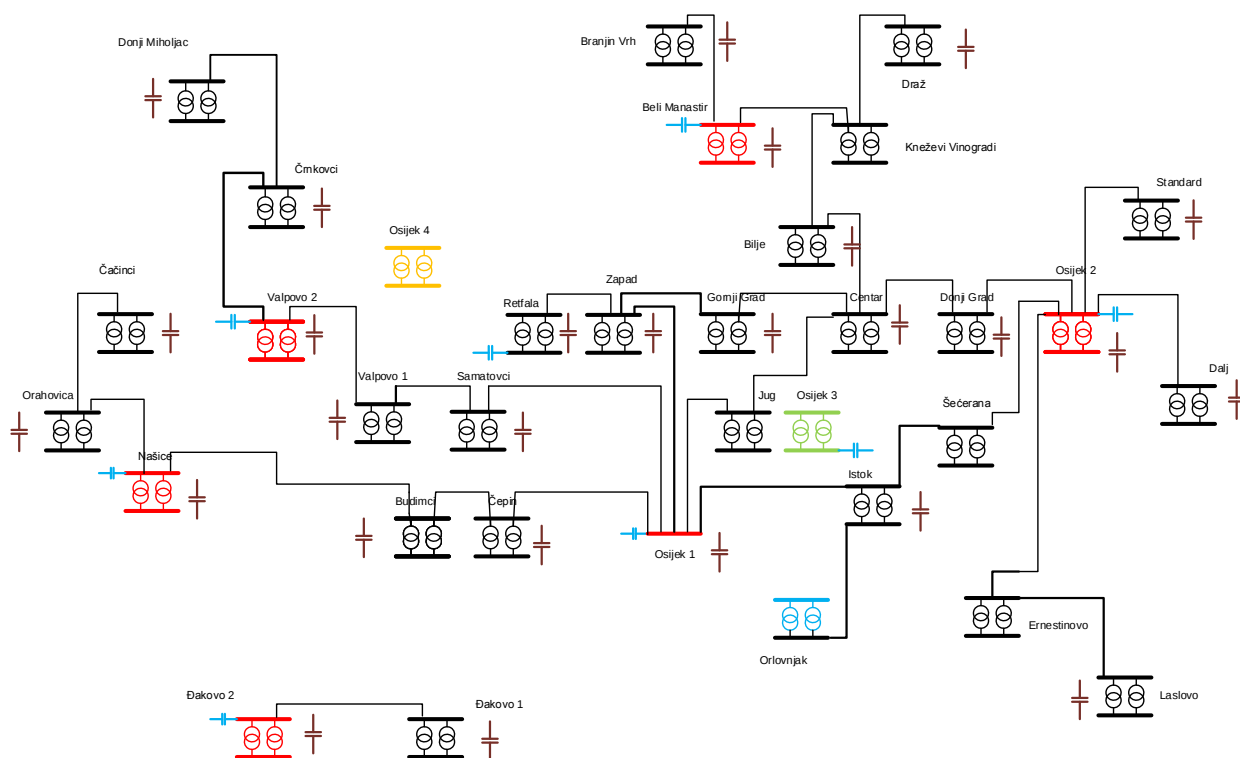
Slika 3. Relativni iznosi napona nakon sustavne kompenzacije jalove snage

Na slici 4 prikazane su postojeće kondenzatorske baterije u distribucijskoj mreži 35 kV i distribucijskoj mreži 10 kV DP Elektroslavonije s crvenim stupcem (lokacija i snaga) dok plavi stupac predstavlja optimalan raspored kondenzatorskih baterija sa svojom lokacijom i jalovom snagom na 35 kV sabirnicama [10].



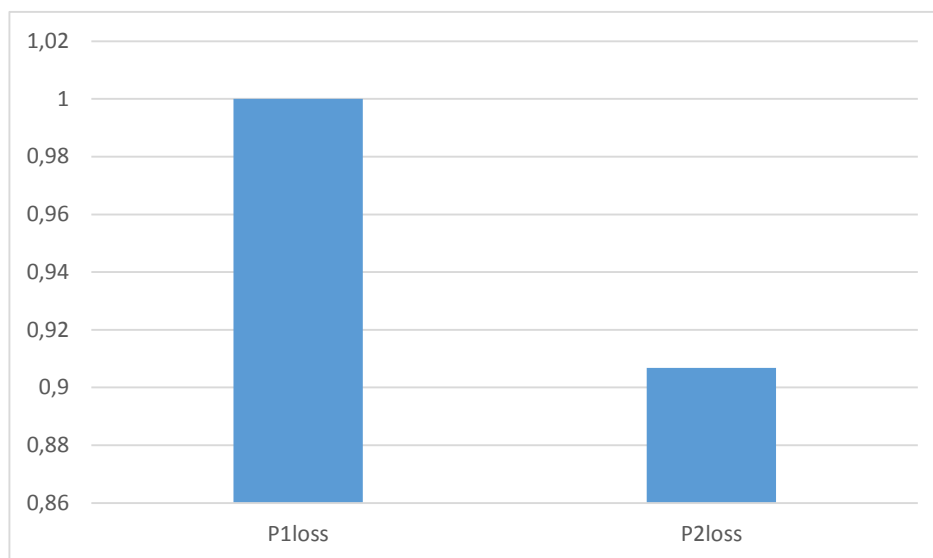
Slika 4. Optimalni iznosi i lokacije kondenzatorskih baterija

Distribucijska mreža 35 kV DP Elektroslavonija na kojoj su s plavim kondenzatorima označene postojeće kompenzacije, a smeđom bojom je prikazan optimalan raspored kompenzacije uz naponski uvjet $\pm 4 \% U_n$ i određenu konfiguraciju distribucijske mreže slika 5.



Slika 5. Optimalni raspored kondenzatorskih baterija u distribucijskoj mreži 35 kV

Na slici 6 prikazan je relativan odnos radnih gubitaka prije i poslije sustavne kompenzacije u distribucijskoj mreži 35 kV DP Elektroslavonija Osijek te se vidi kako su radni gubici smanjeni za cca. 9,3 % [10].



Slika 6. Relativni odnos radnih gubitaka prije i poslije kompenzacije

5. ZAKLJUČAK

Provođenje sustavne kompenzacije jalove snage dovodi do puno boljeg upravljanja naponom po široj osnovi, povećanja stabilnosti sustava, uštede zbog smanjenja gubitaka, poboljšanje prijenosnog kapaciteta i poboljšanje funkcioniranja samog sustava.

Naponi na svim sabirnicama 35 kV u pojnim čvorištima su poboljšani postavljanjem kondenzatorskih baterija s točno definiranim lokacijama i snagama.

Poboljšanje naponskog profila sustava je vidljivo iz odnosa napona prije i poslije sustavne kompenzacije jalove snage.

Optimalno rješenje na osnovi lokacija i snaga kondenzatorskih baterija je različito od postojeće kompenzacije te definitivno daje kvalitetnije rješenje u smislu potpore naponu i upravljanja tokovima jalove snage. Rezultat razlike između ostalog je zbog djelomično različite konfiguracije mreže, profil opterećenja kroz godine se promijenio, različitih naponskih granica, različitih snaga kondenzatorskih baterija, različitih ciljeva gdje je osim potpore naponu moguće i poboljšanje faktora snage, a i upotreba genetskog algoritma u svrhu optimiranja tehnološkog procesa je neosporna.

Osim potpore naponu sustavna kompenzacija jalove snage dovodi do smanjenja radnih gubitaka u distribucijskoj mreži 35 kV DP Elektroslavonija za približno 9.3 % što znači kako je povećana raspoloživa prijenosna moć te maksimizirana iskoristivost postojeće primarne opreme. Zarade su velike te se mogu podijeliti na direktne u smislu smanjenja radnih gubitaka i indirektnu uštedu zbog nepostojanja potrebe za instaliranjem primarne opreme. Buduća ulaganja treba usmjeriti u opremu potrebnu za gospodarenjem jalovom snagom, sustavnu automatizaciju distribucijskog sustava i integraciju sustava umjetne inteligencije, a ulaganja u primarnu opremu svesti na minimum.

6. Literatura

- [1] Miller T. J. E.; „*Reactive power control in electric systems*“, John-Wiley&Sons, Toronto, 1982.
- [2] Green J. N., Wilson R., „*Control and automation of electrical power distribution systems*“, CRC, US, 2007.

- [3] Damir K.; „*Jalova snaga kao zaglavni kamen održivosti pogona budućeg distribucijskog sustava*“, HO CIRED, 5.(.11) savjetovanje, Osijek, 2016.
- [4] Warwick K., Ekwue A., Aggarwal., „*Artificial intelligence techniques in power systems*“, IEE, London, 1997.
- [5] Song Y. H., Johns A., Aggarwal R., „*Computational Intelligence Applications to Power Systems*, Kluwer A. P., New York, 1996.
- [6] Song Y. H., „*Modern optimization techniques in power systems*“, Kluwer A. P., Netherlands, 1999.
- [7] Amaris H., Alonso M., Ortega C. A., „*Reactive power management of power networks with wind generation*“ Springer, London, 2013.
- [8] Zhu J., „*Optimization of power system operation*“, Wiley, New Jersey, 2015.
- [9] Process Optimization, Multi-Objective Optimization, Presentation, University Ottawa, 2004.
- [10] Slaven K.; „*Kompenzacija jalove energije u distribucijskoj mreži 35 kV DP Elektroslavonija Osijek*“, Studija razvoja, Osijek, 2017.