

## SPECIFIČNOSTI REŠENJA PRELASKA NA NAPONSKI NIVO 20 KV NA PODRUČJU ARANĐELOVCA

M. STANKOVIĆ, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Elektrotehnički fakultet u Nišu, Srbija

A. ŠARANOVIĆ, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Srbija

S. MINIĆ, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Srbija

A. JANKOVIĆ, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija

R. KOSTIĆ, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija

M. DILPARIĆ, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija

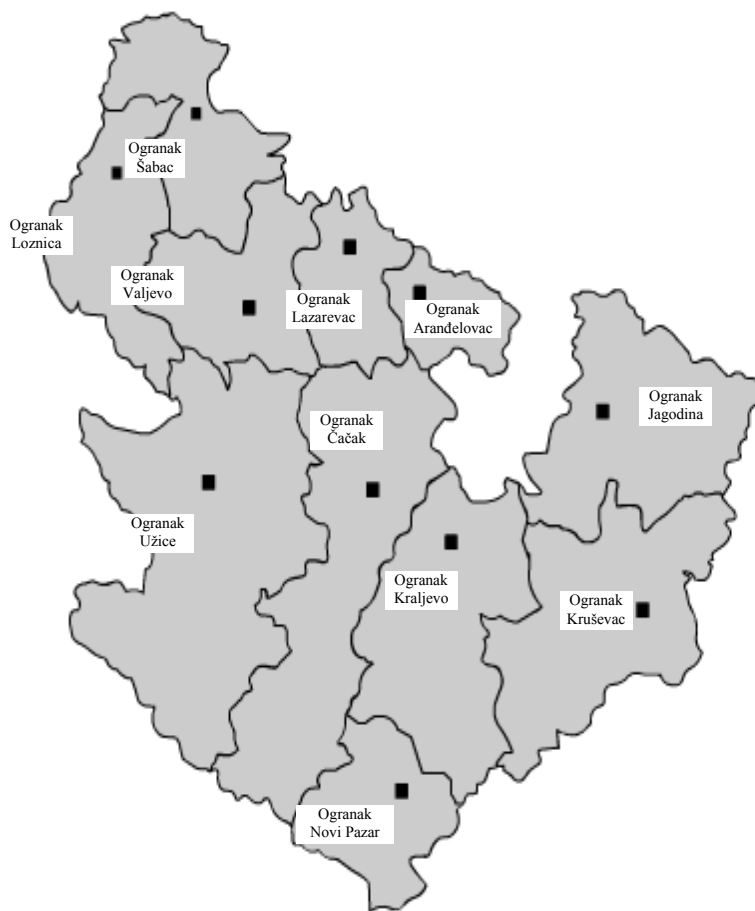
### 1 UVOD

Ovaj rad je nastao na osnovu rezultata Studije dugoročnog perspektivnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 110 kV i 35 kV na području PD „Elektrosrbija“ d.o.o. Kraljevo (1), koja je realizovana u periodu od 2011. do 2013. godine. U radu su navedeni samo najznačajniji zaključci sprovedenih analiza na području ogranka Aranđelovac.

Privredno društvo za distribuciju električne energije "Elektrosrbija" d.o.o. Kraljevo isporučuje električnu energiju konzumnom području ukupne površine 25211 km<sup>2</sup>, na teritoriji 12 okruga i dela grada Beograda, odnosno na teritoriji 11 gradova i 44 opštine sa ukupno 2345 naselja. Organizaciono se sastoji od jedanaest ogranaka: Aranđelovac, Valjevo, Kraljevo, Jagodina, Kruševac, Lazarevac, Loznica, Novi Pazar, Čačak, Šabac i Užice (**Error! Reference source not found.**).

U postojećem stanju konzum PD "Elektrosrbija" Kraljevo se napaja iz 52 transformatorske stanice TS 110/X kV (od toga dve na području ogranka Aranđelovac - TS 110/35/20/10 kV Aranđelovac i TS 110/35/10 kV Topola) i 207 transformatorskih stanica prenosnog odnosa 35/X kV (ogranku Aranđelovac pripada šest - TS 35/10 kV Bukulja, Vrbica, Zabrežje, Zabrežje Knjaz Miloš, Meterize i Jarmenovci). U sastavu ogranka Aranđelovac su dva pogona, Aranđelovac i Topola. Mreža na području ovog ogranka se napaja iz dva pravca - iz pravca TE Kolubara iz koje se plasira snaga u pravcu TS 110/35/20/10 kV Aranđelovac i iz pravca TS 400/110 kV Kragujevac 2 odakle se plasira snaga u pravcu TS 110/35/10 kV Topola. Dve pomenute TS 110/X kV sa područja ovog ogranka su međusobno povezane preko 110 kV veze. Iz TS 110/35/20/10 kV Aranđelovac postoji i 110 kV veza u pravcu TS 110/35 kV Mladenovac, kojom se prenosi snaga u pravcu Mladenovca.

Osnova za izvršene analize su detaljne podloge o mreži i njenim elementima čija sistematizacija je opisana u posebnom delu rada. Na osnovu formirane prognoze opterećenja za period do 2030. godini, analize postojećeg stanja mreže, pretpostavkama o životnom veku pojedinih elemenata mreže, te na bazi usvojenih kriterijuma za planiranje i jediničnih cena elemenata mreže formirana su varijantna rešenja mreže. Osnovni rezultati analize funkcionisanja mreže i prognoze potrošnje prikazani su u posebnim segmentima ovog rada.



**SLIKA 1 - OGRANCI ELEKTROSBIJE**

## **2 ANALIZA FUNKCIONISANJA MREŽE**

Za potrebe analiza funkcionisanja mreže 35 i 110 kV modelovana su opterećenja po TS X/0.4 kV i mernim mestima X kV koja su proračunata na osnovu ukupne energije isporučene kupcima kroz svaku TS X/0.4 kV i na svakom mernom mestu X kV u 2011. godini (u pitanju je period 1. oktobar 2010. godine - 30. septembar 2011. godine). Koeficijent srazmere energije isporučene kupcima i modelovanog aktivnog opterećenja je tzv. prosečno vreme korišćenja energije isporučene kupcima. U formiranim modelima mreža modelovana su opterećenja koja odgovaraju nivou vrha TS 110/X kV iz tzv. proračunske 2011. godine. Potrebno je naglasiti da je u slučaju direktnih kupaca sa ekvivalentnim vremenom trajanja vršne snage koje je bilo veće od usvojenih vrednosti za prosečno vreme korišćenja energije isporučene kupcima računato sa njihovim vršnim opterećenjem. Za kupce iz kategorija "domaćinstva" i "javna rasveta" reaktivno opterećenje je izračunato na osnovu aktivnog opterećenja i usvojenog faktora snage. Kada su u pitanju potrošači iz kategorije "virmanski kupci" (u okviru koje su i tzv. "direktno prognozirani kupci"), kod potrošača koji imaju samo merenje aktivne energije, reaktivno opterećenje je izračunato na osnovu aktivnog opterećenja i usvojenog faktora snage. Za potrošače koji imaju merenje aktivne i reaktivne energije, računato je sa faktorom snage koji je proračunat na osnovu izmerenih vrednosti isporučene aktivne i reaktivne energije u proračunskoj 2011. godini.

Na strani 110 kV u TS 110/X kV napon je modelovan na osnovu izmerenih vrednosti napona u trenutku pojave maksimalnog opterećenja kompletnog PD Elektrosrbija (31. 12. 2010. godine u 18<sup>00</sup>h). Za aktuelno

stanje u mreži, regulatori u TS 110/X kV su podešeni tako da u slučaju jedinica 110/35 kV regulišu napon na referentnu vrednost 35,5 kV (napon na sekundaru se kreće oko vrednosti 35,5 kV), a u slučaju jedinica 110/20 kV, regulišu napon na referentnu vrednost 21 kV.

Za sve TS X/0.4 kV sa ugrađenom kompenzacijom na niskom naponu u mreži modelovan je iznos ove kompenzacije (na osnovu dostavljenih podataka).

Ukupni modelovani konzum na području pogona Arandelovac iznosi oko 34.22 MW i 9.568 Mvar. Za potrebe analize postojećeg stanja mreže modelovano je aktuelno uklopno stanje u mreži 10, 20 i 35 kV (20 kV naponski nivo prisutan je samo na području pogona Arandelovac).

Na osnovu formiranog modela mreže za analizu postojećeg stanja došlo se do važnih zaključaka. Kada je reč o 110 kV mreži, može se uočiti da je nešto više opterećen 110 kV pravac TS 400/110 kV Kragujevac 2 - TS 110/35/10 kV Topola (DV 123/3 - 66%), dok su preostali vodovi znatno niže opterećeni, što u mnogome zavisi od angažovanja TE Kolubara i TE Morava. Što se tiče 35 kV mreže na području pogona Arandelovac, najpre se uočava problem radijalno napojene fabrike Šamot Arandelovac, koja nema sigurno napajanje. Zatim, nešto je više opterećen 35 kV napojni vod za TS 35/10 kV Zabrežje (71%), koji napaja deo postrojenja koji je vlasništvo distribucije (reč je o početnoj deonici ovog pravca koja je izvedena provodnikom preseka Cu 35 mm<sup>2</sup>). Što se tiče instalisanih kapaciteta u TS, nešto su više opterećene jedinice 110/35 kV i 35/10 kV u TS 110/X kV Arandelovac (84%), i visoko su opterećeni transformatori snage 4 MVA u TS 35/10 kV Zabrežje koji su vlasništvo distribucije (108%), dok se nivo opterećenja preostalih jedinica kreće ispod 70% naznačene struje.

Sprovedena je analiza sigurnosti i ono što se sigurno može zaključiti jeste da prisustvo 4 naponska nivoa u TS 110/35/20/10 kV Arandelovac ne ostavlja puno mogućnosti za rezerviranje ispada instalisanih jedinica u ovoj TS.

U okviru analize postojećeg stanja analizirano je i uklopno stanje u mreži srednjeg napona. Kada je reč o mreži 10 kV predložena je jedna promena uklopnog stanja koja je vezana za područje pogona Arandelovac i odnosi se na novu preraspodelu opterećenja između izvoda Orašac-Dom i Ranilovići iz TS 110/X kV Arandelovac. Reč je o dva vrlo dugačka izvoda za koje su karakteristične loše naponske prilike na njihovim krajevima. Predlaže se da se deo konzuma sa područja Orašca i deo konzuma sa područja Misače (ukupno oko 300 kVA) koji se napaja putem izvoda Ranilovići prebaci na izvod Orašac-Dom. To bi popravilo naponske prilike na izvodu Ranilovići (bio bi ispunjen usvojeni kriterijum koji se odnosi na naponske prilike,  $\geq 9.5$  kV), a ne bi negativno uticalo na naponske prilike na kraju izvoda Orašac-Dom, koje nisu zadovoljavajuće u aktuelnom stanju. Ovom promenom uklopnog stanja realizovalo bi se smanjenje gubitaka u mreži od 29 kW (kada se analizira modelovano stanje sa proračunskim opterećenjima koja odgovaraju nivou transformacije 110/X kV), što bi smanjilo godišnje troškove gubitaka za oko 6250 € (računato je sa cenom gubitaka od 216 €/MW).

Izvršena je i analiza koja se odnosi na prepodešavanje prenosnog odnosa na transformatorima u TS 35/10 kV. Naime, modelovan je minimalni režim (modelovano je stanje sa 25% modelovanog aktivnog opterećenja i 50% modelovanog reaktivnog opterećenja i u skladu sa tim opterećenjima prepodešena je regulacija na jedinicama 110/X kV) u kojem je ispitano da li se na nekim jedinicama 35/10 kV može prepodesiti prenosni odnos. Sprovedena analiza je pokazala da, kada je reč o području pogona Arandelovac, nema mogućnosti za prepodešavanje prenosnog odnosa na jedinicama instalisanim u TS 35/10 kV.

### 3 PROGNOZA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

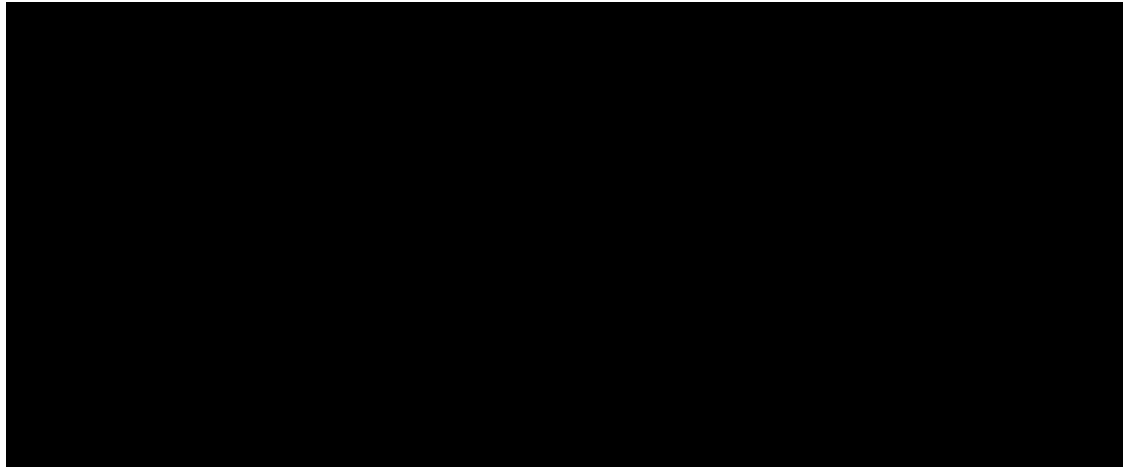
Da bi se sagledali osnovni trendovi u potrošnji električne energije, formirane su tabele u kojima su dati sledeći podaci: ukupna nabavka električne energije, prodaja po naponskim nivoima i kategorijama kupaca i ukupna prodaja i gubici, za period 2001-2011. godine (podaci prikazani u tabelama odnose se na kalendarsku godinu).

**TABELA 1 – PREGLED NABAVKE I PRODAJE ZA POGON ARANĐELOVAC U PERIODU 2001-2011. GODINA**

A large black rectangular box redacting the content of Table 1.

Analizom tabele o nabavci i prodaji na području pogona Aranđelovac uočeno je da nabavka električne energije, u posmatranom desetogodišnjem periodu, malo raste, prosečno za oko 1.03% godišnje. Što se tiče prodaje električne energije zabeležen je rast koji iznosi 1.58% godišnje. Ipak, ovi procenti nisu dobar pokazatelj kretanja prodaje električne energije po pojedinim kategorijama potrošnje, posebno kada je reč o prodaji električne energije na 35 kV (u pitanju je jedan kupac, fabrika Šamot) gde je prisutan gotovo konstantan pad. Takođe, analizom je uočen blag pad prodaje u kategoriji domaćinstava i iznosi oko 0.38% godišnje, dok je najveći porast registrovan kod kategorije kupaca koji preuzimaju energiju na 10 i 20 kV (prosečni godišnji rast prodaje u ovoj kategoriji je 5.78%) i kategoriji "javna rasveta" (prosečni godišnji rast od 6.39%). U slučaju kupaca iz grupe "I i II stepen na 0.4 kV" zabeležen je blag porast od 1.3% godišnje. Da bi se formirala dobra prostorna raspodela, prognoza potrošnje električne energije je sprovedena po pojedinim kategorijama kupaca u višoj i nižoj varijanti. Izdvojene su sledeće kategorije: "domaćinstva", "ostala potrošnja", "javna rasveta" i "direktno prognozirani kupci". Prethodno je bilo neophodno proveriti da je za svakog kupca definisano sa koje se TS X/0.4 kV, odnosno mernog mesta X kV, napaja, dok je za kupce iz kategorije "domaćinstava" bilo potrebno definisati i kom popisnom naselju pripadaju. Za svaku kategoriju potrošnje usvojena je metodologija na osnovu koje je urađena prognoza potrošnje električne energije (2). Ukupna prognoza potrošnje električne energije po TS X/0.4 kV i mernim mestima X kV predstavlja zbir prognoza za pojedine kategorije potrošnje. Takođe, u okviru prognoze potrošnje električne energije sprovedena je i prognoza procenata gubitaka, vrednosti energije koja će se legalizovati i uticaj na prognozu opterećenja u perspektivnom periodu. Smanjenje gubitaka uzeto je u obzir dvojako: jednim delom će se povećati fakturisana električna energija, kao posledica prijavljivanja u ovom trenutku neprijavljenih kupaca, a delom će se smanjiti kao posledica racionalnije potrošnje prijavljenih kupaca, potpunog isključenja pojedinih mesta neovlašćenog preuzimanja energije i smanjenja tehničkih gubitaka na nivou 0.4 kV mreže.

**TABELA 2 – PREGLED NABAVKE I PRODAJE ZA POGON ARANĐELOVAC U PERIODU 2001-2011. GODINA**

A large black rectangular box redacting the content of Table 2.

## 4 POTENCIJALNI PRAVCI RAZVOJA MREŽE NA PODRUČJU OGRANKA ARANDELOVAC, POGON ARANDELOVAC

### 4.1 Potencijalni pravci razvoja mreže 110 kV.

Ukupno prognozirano opterećenje u perspektivnoj 2030. godini na području pogona Arandelovac iznosi oko 53.5 MW i 13 Mvar (odgovara nivou transformacije 110/X kV). U mreži na području pogona Arandelovac trenutno je instalirano 2x31.5 MVA u transformaciji 110/X kV (jedinica 110/35 kV snage 31.5 MVA i jedinica 110/20 kV snage 31.5 MVA). Jasno je da do kraja perspektivnog perioda, kada je reč o transformaciji 110/X kV, na ovom području treba imati ukupno instalirano minimalno 3x31.5 MVA, kako bi bio ispunjen usvojeni princip sigurnosti "n-1".

U okviru analize postojećeg stanja već je ukazano na činjenicu da prisustvo 4 naponska nivoa u TS 110/35/20/10 kV Arandelovac ne ostavlja puno mogućnosti za rezerviranje ugroženog konzuma pri ispadima bilo koje od jedinica koje su u pogonu (svi ispadi su praćeni redukcijom značajnih delova ispane snage). Najjednostavnije rešenje bi bila izgradnja nove TS 110/X kV Arandelovac 2. Lokacija za novu TS rezervirana je na području Bukovičke Banje, u pitanju je plac neposredno pored fabrike "Knjaz Miloš". Odabrana lokacija se geografski nalazi relativno blizu 110 kV voda TS 110/X kV Arandelovac - TS 110/X kV Topola na koji bi se nova TS priključila. Mreža na ovom području je u velikoj meri već pripremljena za 20 kV napon: uglavnom su položeni kablovi 20 kV, u velikom broju TS 10/0.4 kV ugrađeni su prevezivi transformatori 10(20)/0.4 kV i sredjenaponski blokovi 20 kV, a troškovi zamene izolacije na nadzemnim vodovima, gde je to potrebno, su relativno niski. U novu TS bi, dakle, trebalo da bude ugrađena transformacija 110/20 kV. Na kraju perspektivnog perioda postojećoj TS 110/35/20/10 kV Arandelovac gravitirao bi konzum nivoa oko 36 MVA, dok bi novoj TS 110/20 kV Arandelovac 2 gravitirao konzum nivoa oko 20 MVA, iz čega proizilazi da bi u cilju ispunjenja principa sigurnosti "n-1" u transformaciji 110/X kV bilo dovoljno imati ukupno instalirano 3x31.5 MVA, uz mogućnost lakog međusobnog rezerviranja transformacije 110/X kV između dve TS. Ovakav zaključak svakako isključuje prisustvo četiri naponska nivoa u TS 110/X kV Arandelovac i zahteva gašenje 10 i 35 kV napona na kompletnom području pogona Arandelovac, što bi direktno uticalo na gašenje transformacije 110/35 kV u postojećoj TS 110/X kV Arandelovac. Time bi se otvorila mogućnost za ugradnju druge jedinice 110/20 kV u ovu TS, umesto jedinice 110/35 kV koja bi se demontirala. To bi praktično značilo da bi postojeća TS 110/X kV Arandelovac završila perspektivni period sa instalisanom snagom 2x31.5 MVA u transformaciji 110/20 kV, dok u novu TS treba ugraditi jednu jedinicu 110/20 kV snage 31.5 MVA. Imajući u vidu da postojeća jedinica 110/20 kV snage 31.5 MVA instalirana u TS 110/X kV Arandelovac do kraja perspektivnog perioda izlazi iz pogona, zbog dotrajalosti, dakle, do kraja perspektivnog perioda razvoja treba računati sa nabavkom ukupno tri nove jedinice 110/20 kV snage 31.5 MVA.

Kada je reč o uklapanju nove TS u mrežu srednjeg napona, analiza potencijalnih pravaca razvoja pokazuje da bi iz nove TS 110/20 kV Arandelovac 2 trebalo formirati ukupno 8 izvoda: 6 izvoda da bi se realizovalo napajanje kompletnog konzuma koji u postojećem stanju gravitira TS 35/10 kV Zabrežje i Zabrežje (Knjaz Miloš) i 2 izvoda koji bi obrazovali dva funkcionalna međupovezna voda u pravcu TS 110/X kV Arandelovac, značajna sa aspekta sigurnosti, imajući u vidu da nova TS 110/20 kV Arandelovac 2 završava perspektivni period sa jednom instalisanom jedinicom. Jedan od njih bi se iskoristio za napajanje najvećeg dela konzuma koji u postojećem stanju gravitira TS 35/10 kV Vrbica, po prevođenju kompletnog konzuma koji gravitira ovoj TS na rad pod naponom 20 kV.

U postojećem stanju preko transformacije 35/10 kV ugrađene u TS 110/X kV Arandelovac se napaja ukupno pet 10 kV izvoda (ukupno prognozirano opterećenje u 2030. godini, modelovano na ovim izvodima, iznosi skoro 10 MVA, za modelovana opterećenja na nivou TS 110/X kV) i oni su u većoj ili manjoj meri pripremljeni za prelazak na rad pod naponom 20 kV, s čime svakako treba računati do kraja perspektivnog perioda, s obzirom da se očekuje gašenje naponskog nivoa 10 kV u ovoj TS. Kada je reč o realizaciji napajanja ovog konzuma pod naponom 20 kV treba računati sa opremanjem ukupno šest izvodnih 20 kV ćelija u TS 110/X kV Arandelovac, pet da bi se realizovalo napajanje postojećih izvoda pod naponom 20 kV i još jedne kako bi se formirao poseban 20 kV izvod za potrebe napajanja buduće industrijske zone (koja bi se u početnoj fazi napajala preko jednog od postojećih 10 kV izvoda iz ove TS).

Za konzum koji u postojećem stanju gravitira TS 35/10 kV Bukulja se takođe očekuje kompletan prelazak na rad pod naponom 20 kV. Analiza potencijalnih pravaca razvoja ukazuje na potrebu da se eventualno na lokaciji ove TS zadrži razvodno postrojenje 20 kV. Za napajanje RP 20 kV bi se iskoristio 35 kV vod kojim se u postojećem stanju napaja TS 35/10 kV Bukulja, i bilo bi potrebno obnoviti međupovezni vod koji je svojevremeno povezivao TS 110/X kV Arandelovac i TS 35/10 kV Bukulja. Iz pravca RP 20 kV Bukulja bi se realizovalo napajanje preostalog dela konzuma TS 35/10 kV Vrbica (već je pomenuto da bi se najveći deo konzuma koji gravitira ovoj TS prihvatio iz pravca TS 110/20 kV Arandelovac 2 putem jednog od dva izvoda koji bi trebalo da formiraju jedan od dva međupovezna voda u pravcu TS 110/X kV Arandelovac).

#### **4.2 Potencijalni pravci razvoja mreže 35 kV**

U mreži srednjeg napona na području pogona Arandelovac prisutna su dva naponska nivoa, 10 kV i 20 kV, pri čemu gradski deo mreže najvećim delom radi pod naponom 20 kV. Pri tome treba imati u vidu da je veliki deo vangradske mreže već pripremljen za prelazak na 20 kV - položeni su kablovi 20 kV, veliki broj TS X/0.4 kV ima ugrađene prevezive transformatore 10(20)/0.4 kV, tako da bi godišnji troškovi prevođenja na napon 20 kV za najveći broj izvoda bili manji od uštede u gubicima na godišnjem nivou koji bi se na taj način realizovali. S druge strane treba imati u vidu i činjenicu da bi u slučaju zadržavanja naponskog nivoa 10 kV bila neophodna značajna investiranja u povećanje kapaciteta u transformaciji 35/10 kV i izgradnju novih izvoda 10 kV. Nameće se zaključak, da do kraja perspektivnog perioda, treba kompletnu mrežu srednjeg napona prevesti na rad pod naponom 20 kV, što bi praktično značilo da bi došlo do gašenja naponskih nivoa 10 i 35 kV (35 kV napon bi se eventualno zadržao u TS 110/X kV Arandelovac zbog napajanja fabrike Šamot, ukoliko bi ona ostala na 35 kV naponu).

### **5 ZAKLJUČAK**

Osnovni zaključak analize potencijalnih pravaca razvoja na području pogona Arandelovac je da je neophodna hitna izgradnja nove TS 110/20 kV Arandelovac 2 što bi omogućilo sigurnu isporuku električne energije, a što podrazumeva gašenje naponskih nivoa 10 i 35 kV na ovom području. Ukupni instalisani kapacitet u transformaciji 110/20 kV bi trebalo da bude 3x31.5 MVA, pri čemu bi dve jedinice bile instalisane u postojećoj TS 110/X kV Arandelovac, a jedna jedinica bi bila ugrađena u novu TS. To praktično znači da bi do kraja perspektivnog perioda trebalo da se nabave ukupno tri nove jedinice, pošto se za postojeću jedinicu 110/20 kV instalisanu u TS 110/X kV Arandelovac očekuje izlazak iz pogona zbog dotrajalosti. S obzirom da se do kraja perspektivnog perioda očekuje prelazak kompletnog konzuma na rad pod naponom 20 kV, da bi se postojeća mreža pripremila za taj prelazak potrebno je investirati ukupno nešto više od 3 miliona € u ugradnju SN blokova za 20 kV i jedinica 20/0.4 kV u TS X/0.4 kV, i zamenu izolatora na postojećim dalekovodima. Pored navedenih troškova, da bi se realizovalo napajanje kompletnog konzuma pod naponom 20 kV, potrebno je opremiti ukupno 33 ćelije 20 kV u napojnim TS (za šta je potrebno investirati ukupno oko milion €). Za potrebe uklapanja nove TS u mrežu srednjeg napona, pored pripreme postojeće mreže za rad pod naponom 20 kV, neophodna je izgradnja ukupno oko 9.39 km novih dalekovoda i polaganje oko 6 km novih 20 kV kablova, za šta je potrebno izdvojiti još dodatnih 620000 €. Dakle, u mrežu na području pogona Arandelovac, koja bi ispunjavala sve usvojene kriterijume, do kraja perspektivnog perioda potrebno je investirati ukupno oko 8 miliona €.

## 6 LITERATURA

1. Šaranović A, Marković M, Kecman D, Stanković M, Sovrlić V, Belić I, Ivković S, Perić J, Šušnica N, Janjić T, Minić S, 2013, „Studija dugoročnog perspektivnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 110 kV i 35 kV na području PD “Elektrosrbija“ doo Kraljevo“
2. Šaranović A, Kecman D, Belić I, Čupić B, Ivanović M, Sovrlić V, Stanisavljević I, 2007, “Metodologija izrade prognoze potrošnje električne energije i njene prostorne raspodele i primeri primene“, “Zbornik radova. Elektrotehnički institut Nikola Tesla“, “18“, 85-107