

PREDLOG MERA ZA SMANJENJE TEHNIČKIH GUBITAKA U SREDNJENAPONSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI 10 kV

D. ĆETENović, Fakultet tehničkih nauka Čačak, Srbija

V. MIJAILOVIĆ, Fakultet tehničkih nauka Čačak, Srbija

A. RANKOVIĆ, Fakultet tehničkih nauka Čačak, Srbija

1. UVOD

Prema poslednjim podacima koje je objavila Svetska banka [1], Srbija spada u red zemalja čiji se elektroenergetski sistem odlikuje izrazito visokim gubicima električne energije. Na Slici 1 su prikazani gubici električne energije za razvijene zemlje Evrope i sveta, kao i za pojedine zemlje iz okruženja, za 2012. godinu. Gubici električne energije u Srbiji u 2012. godini iznosili su 15,5%. Najveći deo tih gubitaka čine tehnički gubici u distributivnoj mreži.

Naponski nivo 10 kV je strateški važan naponski nivo. On obuhvata 23% ukupne dužine nadzemnih vodova i 40% ukupne dužine podzemnih kablova koji pripadaju distributivnoj mreži Srbije. Osim toga, 96% energetskih transformatora u distributivnoj mreži su transformatori prenosnog odnosa 10(20)/0,4 kV/kV. Najveći broj neplaniranih prekida (kvarova) u distributivnoj mreži se dešava na naponskom nivou 10(20) kV [2].

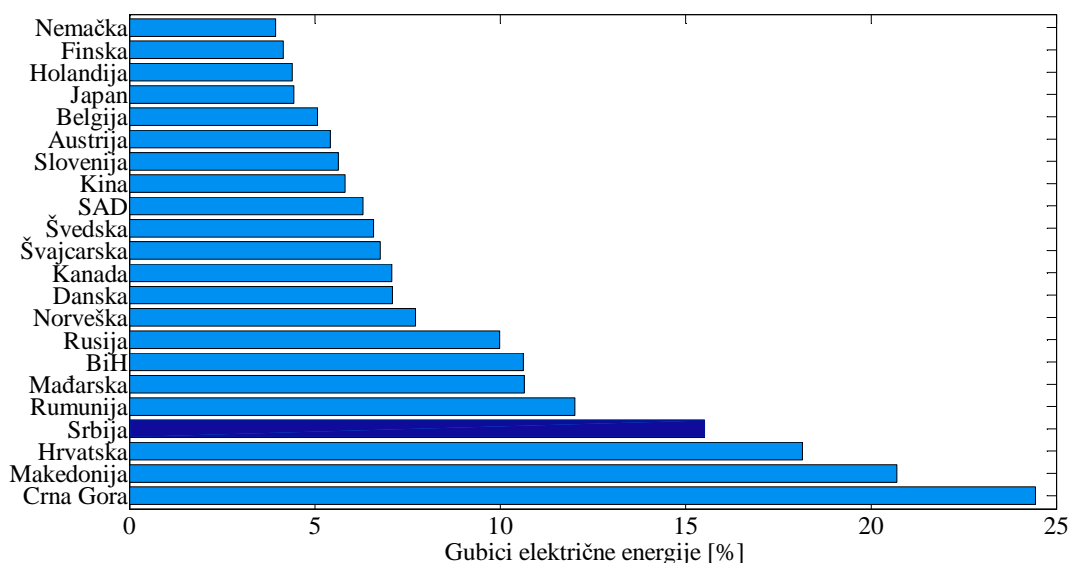
S druge strane, značajan deo mreže 10 kV je dotrajao ili se bliži kraju životnog ciklusa u sledećih 10 godina, i to: 18% ukupne dužine nadzemnih vodova, 63% ukupne dužine podzemnih kablova i 49% ukupnog broja transformatora 10/0,4 kV/kV [2].

Tehnički gubici se mogu redukovati, između ostalog, primenom sledećih mera:

- povećanjem poprečnog preseka kablovskih i nadzemnih vodova, i
- zamenom preopterećenih i dotrajalih energetskih transformatora klasične konstrukcije transformatorima sa amorfnim jezgrom.

U ovom radu razmatrana je primena predloženih mera na primeru distributivne mreže 10 kV za dva slučaja:

- kada se opravdanost primene prodloženih mera proverava u fazi planiranja izgradnje novog objekta, i
- kada se vrši jednostavna rekonstrukcija tokom eksploatacije već izgrađene mreže.



SLIKA 1 – Ukupni gubici u prenosu i distribuciji električne energije za pojedine zemlje sveta u 2012. godini

Analize su sprovedene za realne cene opreme, radova i cenu električne energije u Srbiji. Rad je organizovan na sledeći način: u drugom poglavlju dat je model za proračun troškova i perioda otplate investicije za kablovsku i nadzemnu mrežu i energetske transformatore, u trećem poglavlju su prikazani rezultati proračuna i na kraju, u četvrtom poglavlju su istaknuti glavni zaključci do kojih se došlo u ovom radu.

2. MODEL ZA PRORAČUN TROŠKOVA I PERIODA OTPLATE INVESTICIJE

2.1 Kablovska mreža

Ukupni troškovi izgradnje i eksploatacije kablovske mreže, računati po kilometru dužine kabla, c_{uk} , mogu se odrediti kao

$$c_{uk}(n) = c_k + c_g + \Delta c_{gub}(n) \quad (1)$$

gde su:

c_k – troškovi nabavke kabla [€/km],

c_g – troškovi polaganja kabla [€/km],

Δc_{gub} – troškovi usled gubitaka aktivne energije na kablju tokom perioda eksploatacije [€/km],

n – period eksploatacije [god].

Troškovi nabavke rastu sa povećanjem poprečnog preseka kabla, dok troškovi polaganja (kopanje kanala, ukopavanje kabla i zatrpavanje) ne zavise od poprečnog preseka kabla i iznose 15000 €/km. Za razliku od ovih troškova, koji su za odabrani poprečni presek kabla fiksni, troškovi gubitaka aktivne energije zavise od broja radnih sati, stepena opterećenja kabla i cene električne energije. Troškovi Δc_{gub} svedeni na sadašnju vrednost se mogu dobiti iz

$$\Delta c_{gub}(n) = 3 \cdot r_k \cdot (m \cdot I_{uIT})^2 \cdot 8760 \cdot c_{en} \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (2)$$

gde su:

- r_k – podužna aktivna otpornost provodnika kabla [Ω/km],
 m – srednji godišnji stepen opterećenja kabla [r.j.],
 I_{dT} – tablična vrednost trajno dozvoljene struje kabla za date uslove eksploatacije [A],
 c_{en} – cena električne energije na srednjem naponu [€/kWh],
 i – minimalno atraktivna stopa povraćaja kapitala (kamatna stopa) [r.j.].

Prema važećoj metodologiji, poprečni presek provodnika kabla se bira na osnovu maksimalne radne snage i na osnovu termičkih naprezanja tokom trofaznog kratkog spoja. Neka za datu naznačenu snagu i uslove tokom kratkog spoja treba usvojiti kabl poprečnog preseka q_a . U cilju smanjenja gubitaka aktivne energije, proverićemo da li je opravdano ugraditi kabl poprečnog preseka q_b , takav da je $q_b > q_a$. Povećanjem poprečnog preseka ne menja se vrednost struje koja će teći kroz kabl, ali će se imati manja aktivna otpornost kabla ($r_{k,b} < r_{k,a}$) i veći troškovi nabavke istog ($c_{k,b} > c_{k,a}$). Da bi se ustanovila opravdanost ugradnje kabla većeg poprečnog preseka, potrebno je utvrditi nakon koliko godina n_b će se veća investicija isplatiti kroz smanjenje gubitaka aktivne energije, odnosno naći rešenje jednačine

$$c_{uk,a}(n_b) = c_{uk,b}(n_b) \quad (3)$$

U prethodnim razmatranjima, indeksi a i b se odnose na kabl poprečnog preseka q_a i q_b , respektivno. Analiza se sprovodi za dva moguća slučaja i to kada se odluka o izboru kabla donosi:

1. u fazi planiranja, kada se opredeljujemo za kabl. U tom slučaju, oba rešenja zahtevaju izvođenje građevinskih radova, pri čemu je cena izvođenja radova ista za oba rešenja, tako da se jednačina (3) svodi na

$$3 \cdot m^2 \cdot I_{dT,a}^2 \cdot 8760 \cdot c_{en} \cdot \frac{(1+i)^{n_b} - 1}{i \cdot (1+i)^{n_b}} = \frac{c_{k,b} - c_{k,a}}{r_{k,a} - r_{k,b}} \quad (4)$$

2. u nekom trenutku eksploatacije, kada je kabl poprečnog preseka q_a već položen i zatrpan, tako da u tom slučaju na njemu imamo samo troškove usled gubitaka aktivne energije. Njegova eventualna zamena zahteva troškove nabavke kabla poprečnog preseka q_b , kao i ponovne građevinske radove (otkopavanje starog i ukopavanje novog kabla). Polazeći od pretpostavke da, nakon zamene, kabl preseka q_a nema preostalu vrednost, period otplate se nalazi kao rešenje jednačine

$$3 \cdot m^2 \cdot I_{dT,a}^2 \cdot 8760 \cdot c_{en} \cdot \frac{(1+i)^{n_b} - 1}{i \cdot (1+i)^{n_b}} = \frac{c_{k,b} + c_g}{r_{k,a} - r_{k,b}} \quad (5)$$

Treba istaći da je ovako usvojena pretpostavka pesimistična, čime se ide na stranu sigurnosti, svesno povećavajući period otplate investicije.

Na osnovu relacija (4) i (5) može se zaključiti da je period otplate investicije određen stepenom opterećenja kabla.

2.2 Nadzemna mreža

Kod nadzemne mreže osim troškova nabavke aluminijum-čeličnih (Al/Fe) provodnika u obzir se moraju uzeti i troškovi nabavke i ugradnje betonskih stubova i izolatora. Po analogiji sa kablovskom mrežom, ukupni troškovi izgradnje i eksploatacije nadzemne mreže, računati po kilometru dužine nadzemnog voda, mogu se odrediti kao

$$c_{uk}(n) = c_{Al/Fe} + c_{iz} + c_s + 3 \cdot r_{Al/Fe} \cdot (m \cdot I_{dT})^2 \cdot 8760 \cdot c_{en} \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (6)$$

gde su:

- $c_{Al/Fe}$ – troškovi nabavke Al/Fe provodnika [€/km],
 c_{iz} – troškovi nabavke izolatora [€/km],

c_s – troškovi nabavke i ugradnje stubova [€/km],

$r_{Al/Fe}$ – podužna aktivna otpornost Al/Fe provodnika [Ω /km],

dok ostale oznake imaju isto značenje kao u slučaju kablovske mreže.

Troškovima polaganja kabla u slučaju nadzemne mreže odgovaraju troškovi montaže Al/Fe provodnika, izolatora i stubova. Troškovi montaže provodnika i izolatora spadaju u redovne operativne troškove pogonskog osoblja, dok su troškovi montaže stubova uračunati preko troškova c_s . Postojeći izolatori u SN nadzemnoj mreži su predimenzionisani sa stanovišta mehaničke prelomne sile. Ukoliko bi duplo povećali poprečni presek provodnika, porast mehaničkog naprezanja koje bi trpeo izolator nije dovoljan da zahteva ugradnju jačih i skupljih izolatora. Zbog toga se može smatrati da cena izolatora ne zavisi od poprečnog preseka Al/Fe provodnika i da je fiksna za dati naponski nivo. Na osnovu toga, kombinujući jednačine (3) i (6), period otplate investicije se u slučaju nadzemne mreže može dobiti:

1. za fazu planiranja kao rešenje jednačine

$$3 \cdot m^2 \cdot I_{dT,a}^2 \cdot 8760 \cdot c_{en} \cdot \frac{(1+i)^{n_b} - 1}{i \cdot (1+i)^{n_b}} = \frac{c_{mv,b} - c_{mv,a}}{r_{Al/Fe,a} - r_{Al/Fe,b}} \quad (7)$$

2. za fazu zamene kao rešenje jednačine

$$3 \cdot m^2 \cdot I_{dT,a}^2 \cdot 8760 \cdot c_{en} \cdot \frac{(1+i)^{n_b} - 1}{i \cdot (1+i)^{n_b}} = \frac{c_{mv,b}}{r_{Al/Fe,a} - r_{Al/Fe,b}} \quad (8)$$

uz pretpostavku da, nakon zamene, "stara" oprema nema preostalu vrednost.

U jednačinama (7) i (8) sa c_{mv} su označeni troškovi izgradnje za 1 km nadzemnog voda, takvi da je $c_{mv} = C_{Al/Fe} + c_s$.

2.3 Energetski transformatori

Veliki broj transformatora 10/0,4 kV/kV je pri kraju očekivanog radnog veka ili mu je isti istekao, što zahteva njihovu zamenu. Namera je da se proveri opravdanost zamene dotrajalog transformatora klasične konstrukcije transformatorom sa amorfnim jezgrom, za očekivani period eksploatacije transformatora. Troškovi koji se imaju tokom perioda eksploatacije c_{uk} [€/km], a koji su od interesa, sastoje se od troškova nabavke c_i novog transformatora, troškova gubitaka aktivne energije u gvožđu Δc_{Fe} i troškova gubitaka aktivne energije u bakru Δc_{Cu} . Za razliku od transformatora klasične konstrukcije, transformatori sa amorfnim jezgrom zahtevaju veće troškove nabavke, ali za iste uslove eksploatacije imaju manje gubitke aktivne energije.

Sadašnja vrednost ukupnih troškova c_{uk} za planirani period eksploatacije od n godina iznosi:

$$c_{uk} = c_i + \Delta c_{Fe} + \Delta c_{Cu} = c_i + (\Delta W_{Fe,god} + \Delta W_{Cu,god}) \cdot c_{en} \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (9)$$

gde su:

$\Delta W_{Fe,god}$ – godišnji gubici aktivne energije u gvožđu transformatora [kWh/god],

$\Delta W_{Cu,god}$ – godišnji gubici aktivne energije u bakru transformatora [kWh/god].

Gubici aktivne snage u gvožđu P_{Fe} [kW] ne zavise od opterećenja transformatora i konstantni su za dati radni napon, tako da je

$$\Delta W_{Fe,god} = 8760 \cdot P_{Fe} \quad (10)$$

S druge strane, gubici aktivne snage u bakru P_{Cu} [kW] zavise od dijagrama opterećenja transformatora, tako da gubici aktivne energije u toku jedne godine, za faktor snage transformatora $\cos\varphi = 1$, iznose

$$\Delta W_{Cu, god} = \int_0^{8760} P_{Cu}(t) dt = \frac{R}{U_n^2} \int_0^{8760} P^2(t) dt = \frac{P_{Cum}}{S_{nT}^2} \int_0^{8760} P^2(t) dt \quad (11)$$

gde su:

- R – aktivna otpornost namotaja transformatora [Ω],
- U_n – naznačeni napon transformatora [kV],
- P_{Cum} – naznačeni gubici aktivne snage u bakru transformatora [kW],
- S_{nT} – naznačena snaga transformatora [kVA],
- P – opterećenje transformatora [kW],
- t – vreme [h].

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Pod pretpostavkom da je kamatna stopa $i = 5\%$, čime se dodatno ide na stranu sigurnosti, analiziran je krajnje pesimističan slučaj. Period otplate investicije je dobijen za aktuelnu cenu električne energije na srednjem naponu od $c_{en} = 0,06$ €/kWh u funkciji srednjeg godišnjeg stepena opterećenja mreže, za slučaj prelaska na jedan od prva dva veća standardizovana poprečna preseka. Rezultati su prikazani na Slici 2 za kablovsku, odnosno Slici 3 za nadzemnu 10 kV mrežu.

TABELA 1 – Tehnički i ekonomski podaci za kablovske vodove 10 kV

j	Poprečni presek kabla q_j [mm ²]	Trajno dozvoljena struja kabla $I_{dt,j}$ [A]	Podužna aktivna otpornost provodnika kabla $r_{k,j}$ [Ω /km]	Cena kabla c_j [€/km]
a	1 x 95	221	0,411	4000
b	1 x 150	281	0,265	6000
c	1 x 240	367	0,161	7500

Temperatura tla $\theta_t = 20^\circ\text{C}$; specifična toplotna otpornost tla $\rho_t = 1,5^\circ\text{C}\cdot\text{m}/\text{W}$; dubina polaganja $h = 0,8$ m.
Način polaganja: tri jednofazna kabla u trouglastom snopu, direktno položena u zemlju.

TABELA 2 – Tehnički i ekonomski podaci za nadzemne vodove 10 kV

j	Poprečni presek provodnika q_j [mm ²]	Trajno dozvoljena struja provodnika $I_{dt,j}$ [A]	Podužna aktivna otpornost provodnika $r_{Al/Fe,j}$ [Ω /km]	Troškovi izgradnje $c_{nv,j}$ [€/km]
a	3 x 50	170	0,595	14000
b	3 x 70	235	0,413	16000
c	3 x 95	290	0,306	18500

Trajno dozvoljena temperatura provodnika $\theta_p = 80^\circ\text{C}$; temperatura vazduha $\theta_a = 40^\circ\text{C}$;
brzina vetra $v = 0$ m/s; provodnik izložen direktnom sunčevom zračenju.

Tehnički podaci za kablove su preuzeti iz kataloga proizvođača [3], za tipske preseke provodnika glavnih napojnih vodova gradskih kablovskih mreža srednjeg naponu [4]. U pitanju su jednofazni XLPE – kablovi, sa izolacijom od umreženog polietilena i provodnikom od aluminijuma, čija je trajno dozvoljena temperatura 90°C . Vrednosti dozvoljenog strujnog opterećenja kabla važe za referentne uslove eksploatacije navedene na dnu Tabele 1. Kako su kablovi jednofazni, ukupni troškovi nabavke za 1 km kablovskog voda imaju trostruku vrednost cene kabla navedene u Tabeli 1, tj. $c_{k,j} = 3c_j$.

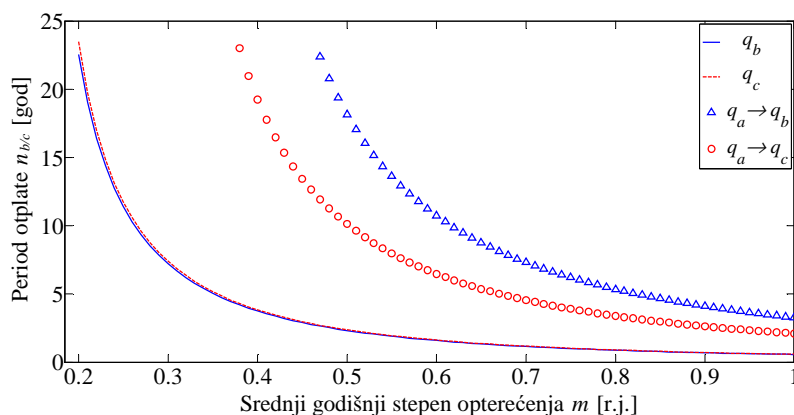
U troškove izgradnje kod nadzemnog voda osim cene faznih provodnika uračunata je i cena nabavke i ugradnje stubova. Analiza je sprovedena za tipse preseke Al/Fe provodnika karakterističnih za srednjenaponske distributivne mreže, čiji su tehnički i ekonomski podaci prikazani u Tabeli 2 [5, 6].

Na Slici 2 punom i isprekidanom linijom su prikazani rezultati za slučaj da se u fazi planiranja opredelimo za kabl većeg poprečnog preseka q_b i q_c , respektivno, dok su markerima prikazani rezultati za slučaj da postojeći kabl poprečnog preseka q_a zamenimo kablom većeg poprečnog preseka q_b (trougao), odnosno q_c (kružić).

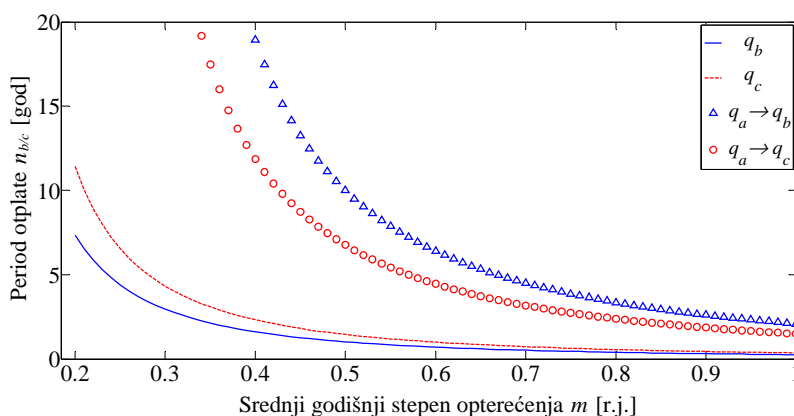
Ako se odluka donosi u fazi planiranja, predloženo rešenje je isplativo i za relativno nizak stepen opterećenja mreže. Za stepen opterećenja od $m = 0,3$ period otplate je manji od 8 godina bilo da se, umesto kabla preseka 95 mm^2 , odlučimo za kabl preseka 150 mm^2 ili kabl preseka 240 mm^2 . Pri stepenu opterećenju mreže većem od $m = 0,76$ investicija se otplate za manje od godinu dana u oba slučaja.

Zamena postojećeg kabla preseka 95 mm^2 kablom preseka 150 mm^2 nije opravdana za $m < 0,5$ jer smanjenje gubitaka tokom perioda od 20 godina nije dovoljno da opravda investiciju. Zamena kablom preseka 240 mm^2 je povoljnija obzirom da daje nešto kraći period otplate, zbog male razlike u nabavnoj ceni.

Po analogiji, na Slici 3 su prikazani rezultati za slučaj da se predloženo rešenje primeni u nadzemnoj mreži. Zbog povoljnijeg odnosa tržišnih cena opreme u odnosu na kablovsku mrežu, kao i zbog znatno niže cene montažnih radova, period otplate investicije za isti stepen opterećenja je kraći za nadzemnu mrežu. Ovo posebno dolazi do izražaja pri manjem stepenu opterećenja mreže.



SLIKA 2 - Period otplate investicije u funkciji srednjeg godišnjeg stepena opterećenja za kablovsku mrežu

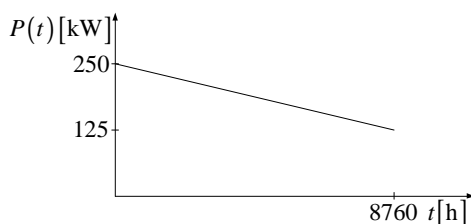


SLIKA 3 - Period otplate investicije u funkciji srednjeg godišnjeg stepena opterećenja za nadzemnu mrežu

Na Slici 4 je prikazan godišnji linearizovani dijagram trajanja opterećenja potrošačkog područja napajanog iz transformatorske stanice TS 10/0,4 kV/kV. Prema Slici 4, vremenska zavisnost snage potrošačkog područja se može predstaviti izrazom

$$P(t) = 250 - \frac{125}{8760} \cdot t \quad (12)$$

Izbor novog energetskog transformatora za zamenu dotrajalog u postojećoj TS je izvršen za transformatore različitih naznačenih snaga i tipova konstrukcije, čiji su podaci dati u Tabeli 3 [7].



SLIKA 4 – Linearizovani godišnji dijagram trajanja opterećenja

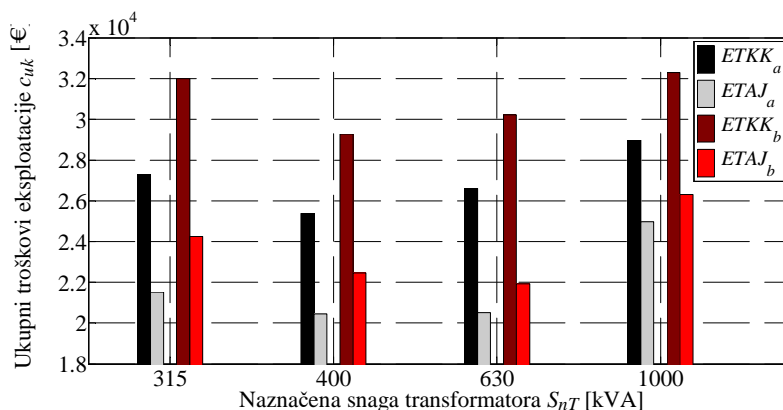
TABELA 3 – Tehnički i ekonomski podaci za nove energetske transformatore 10/0,4 kV/kV

	Naznačena snaga transformatora S_{nT} [kVA]	Gubici aktivne snage u gvožđu P_{Fe} [W]	Naznačeni gubici aktivne snage u bakru P_{Cun} [W]	Troškovi nabavke transformatora c_i [€]
Energetski transformatori klasične konstrukcije	315	600	5350	6570
	400	750	6000	8300
	630	1030	8400	10600
	1000	1350	12500	14400
Energetski transformatori sa amorfnim jezgrom	315	160	3650	9400
	400	220	3850	11600
	630	300	5060	14340
	1000	500	6530	19000

Rezultati proračuna su prikazani na Slici 5 za očekivani period eksploatacije od $n = 30$ godina, za dva različita scenarija:

- aktuelnu cenu električne energije u Srbiji od $c_{en} = 0,06$ €/kWh i kamatnu stopu od $i = 5\%$, i
- cenu električne energije u razvijenim zemljama Evrope od $c_{en} = 0,12$ €/kWh i kamatnu stopu od $i = 10\%$.

Na Slici 5 oznake $ETKK_a$ / $ETKK_b$ i $ETAJ_a$ / $ETAJ_b$ se odnose na energetski transformator klasične konstrukcije za scenario pod a) / b) i energetski transformator sa amorfnim jezgrom za scenario pod a) / b), respektivno. Može se zaključiti da se veća investicija u energetske transformatore sa amorfnim jezgrom isplati kroz smanjenje gubitaka aktivne energije za očekivani period eksploatacije, ostvarujući pri tome uštedu od prosečno 5000 € po jedinici.



SLIKA 5 – Sadašnja vrednost ukupnih troškova za planirani period eksploatacije energetskih transformatora različite naznačene snage i tipa konstrukcije

Prema kriterijumu da maksimalno opterećenje transformatora ne bude veće od 80% njegove naznačene snage može se usvojiti jedinica naznačene snage 315 kVA. Međutim, prema kriterijumu minimalnih troškova isplativo je usvojiti jedinicu od 400 kVA. Relativno maksimalno opterećenje transformatora bi tada iznosilo 0,625. Inače, po ovom kriterijumu se opterećuju energetske transformatori svih naponskih nivoa u Nemačkoj, gde je relativno opterećenje u opsegu (30-60)%.

4. ZAKLJUČCI

U cilju smanjenja gubitaka aktivne energije, izvršena je provera opravdanosti ugradnje provodnika većeg poprečnog preseka, i zamene preopterećenih i dotrajalih energetskih transformatora klasične konstrukcije transformatorima sa amorfnim jezgrom.

Rezultati analize pokazuju da se ugradnjom kablovskih i nadzemnih vodova većeg poprečnog preseka u fazi planiranja uložena investicija otplati za 2-3 godine pri relativno niskom srednjem stepenu opterećenja mreže od 0,5, dok se postojeći gubici aktivne energije mogu smanjiti i do 50%. Sa evropskom cenom električne energije i porastom potrošnje, period otplate investicije se dodatno smanjuje.

Zamenom postojećih kablovskih i nadzemnih vodova vodovima većeg poprečnog preseka dobija se nešto nepovoljniji period otplate, ali uz krajnje pesimističnu pretpostavku da zamenjena oprema nema preostalu vrednost. Čak i u takvim uslovima, istraživanja su pokazala da je apsolutno opravdano izvršiti zamenu pri većem stepenu opterećenja, naročito u slučaju nadzemne mreže. Takođe, povećanje poprečnog preseka provodnika u odnosu na minimalno potreban pruža mogućnost i za povećanje snage distribuiranih izvora koji se mogu priključiti na dati izvod, uz poštovanje svih tehničkih normi.

Zavisno od naznačene snage transformatora, ugradnjom transformatora sa amorfnim jezgrom gubici aktivne energije u gvožđu se mogu smanjiti za (63-73)%, a gubici u bakru za (32-48)% u odnosu na odgovarajuće gubitke kod energetskih transformatora klasične konstrukcije iste snage. Za očekivani period eksploatacije od 30 godina, isplativo je energetski transformator odabrati tako da njegovo relativno opterećenje u normalnom pogonu ne prelazi 60%.

Imajući u vidu da je ukupan broj energetskih transformatora 10(20)/0,4 kV/kV u distributivnoj mreži Srbije oko 35000, zamenom onih čiji je očekivani radni vek istekao (23% od ukupnog broja) može se ostvariti ušteda od prosečno 40 miliona €, ukoliko bi se u fazi zamene odlučili za transformatore sa amorfnim jezgrom.

Preduzimanje pomenutih mera omogućava oslobađanje proizvodnih kapaciteta i pruža mogućnost da Srbija postane izvoznik električne energije. Rekonstrukcijom distributivne mreže u velikoj meri bi se uposlila i domaća industrija. Predložene mere se mogu na isti način primeniti i na sredjenaponsku mrežu 20 kV i 35 kV.

LITERATURA

- [1] World Bank Group, "Electric power transmission and distribution losses", dostupno na: <http://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS/countries/1W?display=default>, posećeno: mart, 2016.
- [2] Arthur D Little, jul 2015, "Upravljanje životnim ciklusom distributivnih sredstava – Konačni izveštaj"
- [3] OMAN cables industry, 2011, "Medium voltage cables"
- [4] Novembar 2012, "Tehnička preporuka br. 3 - Osnovni tehnički zahtevi za izbor i montažu energetskih kablova i kablovskog pribora u elektrodistributivnim mrežama 1 kV, 10 kV, 20 kV, 35 kV i 110 kV", "JP EPS – Direkcija za distribuciju", V izdanje, Beograd
- [5] Oktobar 2003, "Tehnička preporuka br. 10b - Osnovni tehnički zahtevi za projektovanje i gradnju nadzemnih vodova 10 kV, 20 kV, 35 kV", "JP EPS – Direkcija za distribuciju", I izdanje, Beograd
- [6] JUS N.C1.351, 1985, "Al-čelična užad za nadzemne vodove – Tehnički uslovi", II izdanje
- [7] Nahman J, Mijailović V, 2015, "Razvodna postrojenja", "Akademska misao", drugo izdanje, Beograd