

Uticaj uvažavanja temperature ambijenta pri modelovanju distributivnih mreža

Nada Vrceļ¹, Dejan Milošević¹, Nikola Šušnica¹, Vesna Stanojević²

¹ Elektrotehnički Institut Nikola Tesla, Univerzitet u Beogradu, Koste Glavinića 8a,
11000 Beograd, Srbija
nada@ieent.org, dejan.milosevic@ieent.org, nikola.susnica@ieent.org

² EPS Distribucija d.o.o. Beograd, Masarikova 1-3,
11000 Beograd, Srbija
vesna.stanojevic@epsdistribucija.rs

Kratak sadržaj: Za potrebe planiranja dugoročnog razvoja distributivnih mreža je neophodno da se proces modelovanja mreže prilagodi raspoloživim podacima i stanjima koja se analiziraju. Model sa više detalja pruža kvalitetniju sliku o trenutnom pogonskom stanju, kao i o potencijalnim eksploatacionim mogućnostima mreže koja se analizira. U tom smislu je u ovom radu analiziran uticaj uvažavanja temperature ambijenta na podužnu otpornost provodnika pri modelovanju vodova, a time i na rezultate proračuna tokova snaga i gubitaka u posmatranoj mreži. Navedeni uticaj je razmatran na delu mreže "EPS Distribucija" d.o.o. Beograd koji čini konzum Pogona Sopot i deo konzuma Pogona Grocka.

Ključne reči: modelovanje distributivne mreže, temperatura ambijenta, podužna otpornost provodnika, gubici aktivne snage

1. Uvod

Analiza uticaja uvažavanja temperature ambijenta je vršena na modelu mreže 35 i 10 kV koji čini konzum TS 110/35/10 kV Beograd 18 (Ralja), TS 35/10 kV Sopot, Dučina, Pudarci i Vrčin. Model sadži sabirnice 110 kV u TS 110/35/10 kV Beograd 18, i one su ujedno i balansni čvor sistema, dok je srednjenaponska mreža modelovana zaključno sa sabirnicama 10 kV pripadajućih TS 10/0.4 kV.

Posmatrana su pogonska stanja opisanog dela mreže u trenucima letnjeg i zimskog maksimalnog opterećenja ostvarenog u 2014. godini, a na nivou

kompletnog konzuma "EPS Distribucija" d.o.o. Beograd (u tekstu koji sledi ED Beograd). Za svako od dva modelovana stanja analizirana su tri slučaja:

I – podužna otpornost vodova je proračunata shodno temperaturi ambijenta koja se imala u posmatranom trenutku (letnje i zimsko maksimalno opterećenje mreže)

II - podužna otpornost vodova je proračunata shodno prosečnoj temperaturi ambijenta koja se imala u posmatranoj sezoni (preporučene vrednosti iz literature [1])

III - podužna otpornost vodova je proračunata shodno temperaturi ambijenta prema kojoj su dati kataloški podaci proizvođača odgovarajućih provodnika

Kao mera uticaja načina uvažavanja temperature ambijenta posmatrana je promena gubitaka po elementima mreže i po naponskim nivoima, pri čemu uticaj temperature ambijenta na promenu otpornosti namotaja transformatora nije uvažen. Takođe, nije uvažena ni zavisnost aktivne i reaktivne snage od promene napona. Reč je o modelovanim opterećenjima na nivou 10 kV (sabirnice 10 kV odgovarajućih TS 10/0.4 kV).

Svi proračuni su vršeni u programskom paketu CLF-OPF (softver koji se u EI Nikola Tesla koristi dugi niz godina za proračune tokova snaga, i potrebe planiranja razvoja i eksploatacije elektroenergetskih mreža).

2. Proračun i usvojene vrednosti podužne otpornosti vodova

Uticaj temperature ambijenta je za kablove, za sva modelovana stanja mreže, uvažen usvajanjem temperatura koje su date u [1]. Odnosno, za stanje letnjeg maksimalnog opterećenja 20°C i za stanje zimskog maksimalnog opterećenja 5°C.

Za nadzemne vodove je za svako od dva posmatrana pogonska stanja mreže i tri slučaja za svako od njih, proračun podužne otpornosti vršen prema sledećoj formuli:

$$r_{\Theta} = r_{20} (1 + \alpha_{20} \Delta\Theta) \quad (1)$$

gde su:

Θ – posmatrana temperatura provodnika,

r_{Θ} – podužna električna otpornost na temperaturi Θ ,

r_{20} – podužna električna otpornost pri jednosmernoj struji na 20°C,

α_{20} – temperaturni koeficijent na 20°C,

$\Delta\Theta$ – promena temperature u odnosu na 20°C.

Temperaturni koeficijent za bakar i aluminijum su računati na sledeći način, respektivno:

$$\alpha_{\Theta} = 1/(235.5 + \Theta) \quad (2)$$

$$\alpha_{\Theta} = 1/(228 + \Theta) \quad (3)$$

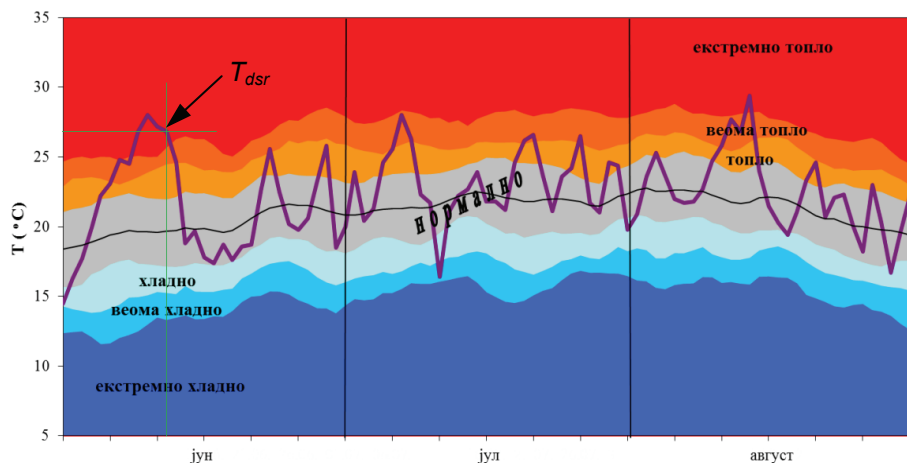
Zavisnost temperaturnih koeficijenata iz formula (2) i (3) je pri analizama zanemarena, odnosno korišćene su vrednosti koje se imaju pri temperaturi od 20°C (za bakar 0,00391 1/°C i za aluminijum 0,00403 1/°C), jer je utvrđeno da se na taj način čini zanemarljiva greška.

2.1. Letnje maksimalno opterećenje

Letnje maksimalno opterećenje mreže ED Beograd se imalo 11. juna u 14:30 h.

Slučaj I: Srednja dnevna temperatura (T_{dsr}), koja se imala toga dana, je iznosila oko 27°C (Slika 1.). Kako su prikazana merenja vršena u specifičnim uslovima, smatrano je da su nadzemni vodovi, zbog celodnevne izloženosti suncu, u trenutku letnjeg maksimalnog opterećenja bili izloženi znatno višoj temperaturi. Iz tog razloga je, pri proračunu parametara nadzemnih vodova bez obzira na tip, usvojena temperatura provodnika 70°C.

Na Slici 1. je prikazana tromesečna promena srednje dnevne temperature vazduha u toku leta 2014. godine [2] i, kao što može da se vidi, srednja dnevna temperatura T_{dsr} koja se imala 11. juna pripada zoni "ekstremno toplo" prema kvalifikaciji vremenskih uslova iz [2].



Slika 1. Tromesečna promena srednje dnevne temperature vazduha u Beogradu [2]

Treba reći, da usvajanjem navedene temperature provodnika, nije uzet u obzir samo uticaj temperature ambijenta u okolini provodnika, već i njegovo zagrevanje usled opterećenja.

Slučaj II: U stručnoj literaturi koja se bavi ovom problematikom [5], često se za proračune za sezonske temperature ambijenta koriste vrednosti oko 40°C za letnji period. Iz tog razloga, kao i uvažavanja uticaja strujnog opterećenja provodnika, za analize čiji su rezultati prikazani u ovom radu usvojena je vrednost 45°C.

Slučaj III: Kako bi se valorizovao uticaj uvažavanja temperaturne zavisnosti podužne otpornosti provodnika od pogonskih uslova na tačnost proračuna tokova snaga, posmatran je i slučaj kada je podužna otpornost provodnika nadzemnih vodova imala kataloške vrednosti (na 20°C).

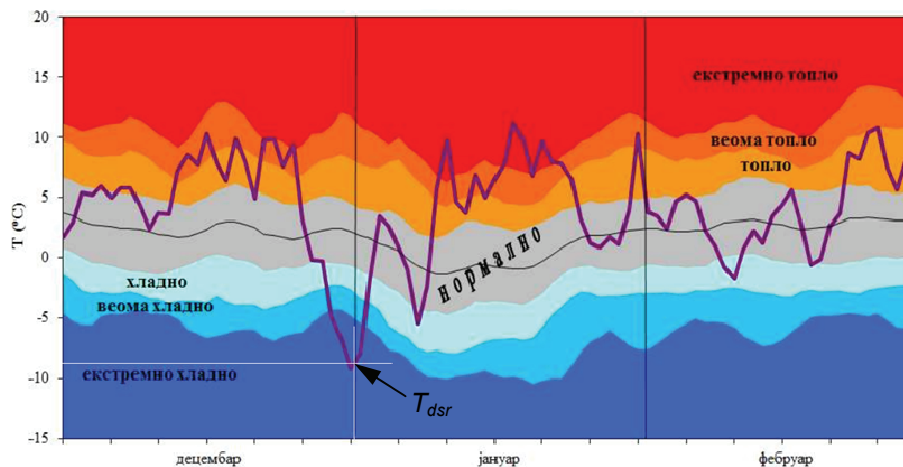
Prvi slučaj na adekvatan način opisuje situaciju koja se ima u mreži kada se modeluje određeni trenutak sa svim svojim specifičnostima. Drugi slučaj se najčešće koristi u modelima gde se sagledavaju uticaji sezonskih efekata na pogonske uslove mreže, dok se treći slučaj primenjuje pri grubim procenama – kada se ne uvažava uticaj pogonskih uslova na zagrevanje provodnika.

2.2. Zimsko maksimalno opterećenje

Zimsko maksimalno opterećenje mreže ED Beograd se imalo 31. decembra u 17:30 h.

Slučaj I: Srednja dnevna temperatura (T_{dsr}), koja se imala u trenutku zimskog maksimalnog opterećenja, je iznosila oko -9°C (Slika 2.). S obzirom da je reč o srednjoj vrednosti, vrlo je verovatno da se u posmatranom trenutku imala i niža temperatura ambijenta. Kako je bila moguća i pojava vetra na području Beograda, specifična električna otpornost provodnika nadzemnih vodova je, za potrebe modelovanja zimskog maksimalnog opterećenja, proračunata upravo za ovu temperaturu od oko -9°C. Dodatno zagrevanje provodnika usled opterećenja je kompenzovano pretpostavkom pojave vetra.

Na Slici 2. je prikazana tromesečna promena srednje dnevne temperature vazduha u Beogradu u zimskom periodu 2014/2015. godine [3], i srednja dnevna temperatura T_{dsr} pripada zoni "ekstremno hladno" prema kvalifikaciji vremenskih uslova iz [3].



Slika 2. Tromesečna promena srednje dnevne temperature vazduha u Beogradu [3]

Slučaj II: S obzirom na temperature koje su se imale u decembru i januaru prethodnih godina na ovim prostorima, kao odgovarajuća temperatura za proračune tokom vršnih zimskih opterećenja, je usvojena temperatura 0°C.

Slučaj III: Za trenutak zimskog maksimalnog opterećenja, u Slučaju III je iz već pomenutih razloga usvojena ista temperatura, kao i u Slučaju III za trenutak letnjeg maksimalnog opterećenja (20°C).

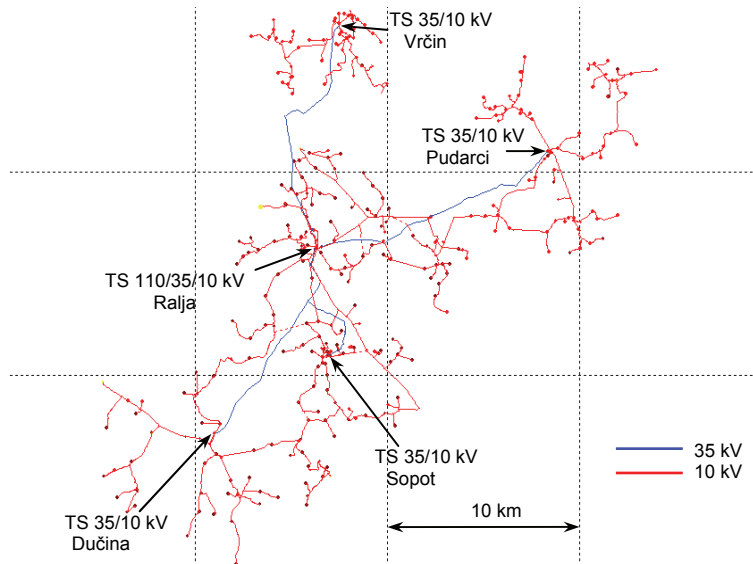
Primena Slučajeva I, II i III iz zimskog maksimuma je ista, kao i za odgovarajuće slučajeve iz letnjeg maksimalnog opterećenja.

3. Konzumno područje TS 110/35/10 kV Rajla – analizirani primer

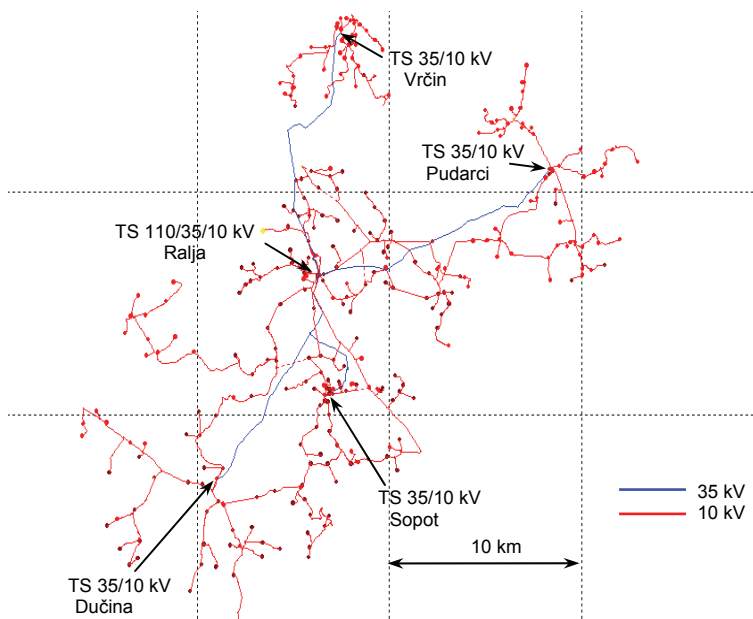
Kao što je već rečeno, sve analize su vršene na delu modela koji je razvijen za potrebe Projekta smanjenja gubitaka u distributivnoj mreži EDB I faza, a koji obuhvata konzumno područje TS 110/35/10 kV Rajla (Slike 3. i 4.).

Opterećenje TS 110/35/10 kV Rajla u trenutku letnjeg maksimuma je iznosilo 15,17/8,44 MW/MVAr, a u trenutku zimskog 31,98/7,145 MW/MVAr. Ulazni podaci za raspodelu opterećenja na nivou 35 i 10 kV su bila merenja napona i struje iz SCADA sistema za posmatrane trenutke (uključujući i merenja na reklozerima).

U obzir su uzeti i podaci o ugrađenim kondenzatorskim baterijama u niskonaponskoj mreži, čija je snaga svedena na nivo 10 kV u odgovarajućim TS 10/0,4 kV.



Slika 3. Stanje letnjeg maksimalnog opterećenja



Slika 4. Stanje zimskog maksimalnog opterećenja

Razlog za izbor ovog dela mreže je bio veliki udeo nadzemnih deonica u ukupnoj dužini mreže (oko 80%), odnosno pretpostavka da će uvažavanje temperature provodnika u svakoj od situacija imati vidljiviji efekat.

S obzirom da se u trenutku letnjeg i zimskog maksimalnog opterećenja imale neznatne razlike uklopnog stanja na konzumnom području TS 35/10 kV Vrčin, Pudarci i Dučina – Slika 2. i 3., u nastavku je priložena tabela (Tabela 1.) sa dužinama mreže po naponskim nivoima i tipu vodova samo za trenutak zimskog maksimuma.

Tabela 1. Udeo pojedinih tipova vodova po naponskim nivoima u strukturi analiziranog modela (model zimskog maksimalnog opterećenja)

	10 kV [km]	35 kV [km]	Ukupno po tipu voda [km]
Nadzemni [km]	248.013	41.49	289.503
Kablovski [km]	59.696	1.91	61.606
Ukupno po naponskom nivou [km]	307.709	43.4	

Kada je reč o nivou opterećenja vodova (Slučaj I) u trenutku letnjeg maksimalnog opterećenja, gotovo svi vodovi su opterećeni manje od 30% svog nominalnog opterećenja, osim početnih deonica tri izvoda 10 kV iz TS 35/10 kV Pudarci i četiri izvoda 10 kV iz TS 110/35/10 kV Rajla, a čiji nivo opterećenja iznosi između 30% i 40%. Na ovim izvodima se generiše i najveći deo gubitaka (oko 75% ukupnih gubitaka u mreži 10 kV). Transformatori su takođe opterećeni između 30% i 40% svoje nominalne snage.

Na istim izvodima 10 kV za trenutak zimskog maksimalnog opterećenja (Slučaj I) se generiše oko 80% ukupnih gubitaka u 10 kV mreži, pri čemu se nivo opterećenja početnih deonica ovih izvoda kreće između 60% i 95%. Transformatori su u ovom slučaju opterećeni između 30% i 70% svoje nominalne snage.

4. Rezultati analiza

Promena gubitaka po elementima mreže i po naponskim nivoima je posmatrana kao mera uticaja načina uvažavanja temperature ambijenta na proračune tokova snaga i naponskih prilika.

U Tabelama 2. i 3. su prikazani gubici za sve posmatrane slučajeve. Kao što je i pretpostavljeno, gubici na vodovima 35 i 10 kV su najveći u Slučaju I u trenutku letnjeg maksimuma, odnosno u Slučaju III za zimsko maksimalno opterećenje. To je posledica povećanja podužne električne otpornosti

provodnika u letnjem periodu, odnosno neuvažavanja niskih temperatura u zimskom periodu.

Tabela 2. Prikaz gubitaka po elementima mreže u različitim slučajevima za trenutak letnjeg maksimuma

Element mreže	Letnji maksimum [MW]			Letnji maksimum (Procentualna promena u odnosu na Slučaj III)		
	Slučaj I	Slučaj II	Slučaj III	Slučaj I	Slučaj II	Slučaj III
Transformatori	0.141	0.141	0.141	0.00%	0%	0%
Vodovi 35 kV	0.235	0.213	0.194	21.13%	10%	0%
Vodovi 10 kV	0.268	0.245	0.223	20.18%	10%	0%
Ukupno	0.643	0.599	0.559	15.03%	7%	0%

Tabela 3. Prikaz gubitaka po elementima mreže u različitim slučajevima za trenutak zimskog maksimuma

Element mreže	Zimski maksimum [MW]			Zimski maksimum (Procentualna promena u odnosu na Slučaj III)		
	Slučaj I	Slučaj II	Slučaj III	Slučaj I	Slučaj II	Slučaj III
Transformatori	0.245	0.247	0.247	-0.81%	0%	0%
Vodovi 35 kV	0.363	0.379	0.416	-12.74%	-8.89%	0%
Vodovi 10 kV	0.78	0.814	0.895	-12.85%	-9.05%	0%
Ukupno	1.389	1.439	1.558	-10.85%	-7.64%	0%

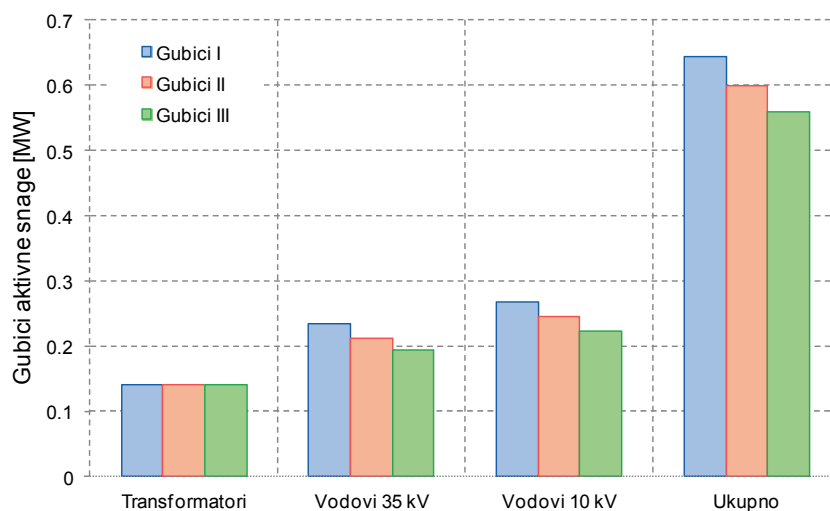
Na iznos prikazanih procenata u tabelama dominantan uticaj ima veliki udeo nadzemnih vodova u strukturi posmatrane mreže, odnosno zavisnost njihove električne otpornosti od temperature ambijenta.

U skladu sa vrednostima iz priloženih tabela, formirani su grafici gubitaka po elementima mreže za posmatrane trenutke vršnog opterećenja za sve slučajeve – Slika 5. i Slika 6.

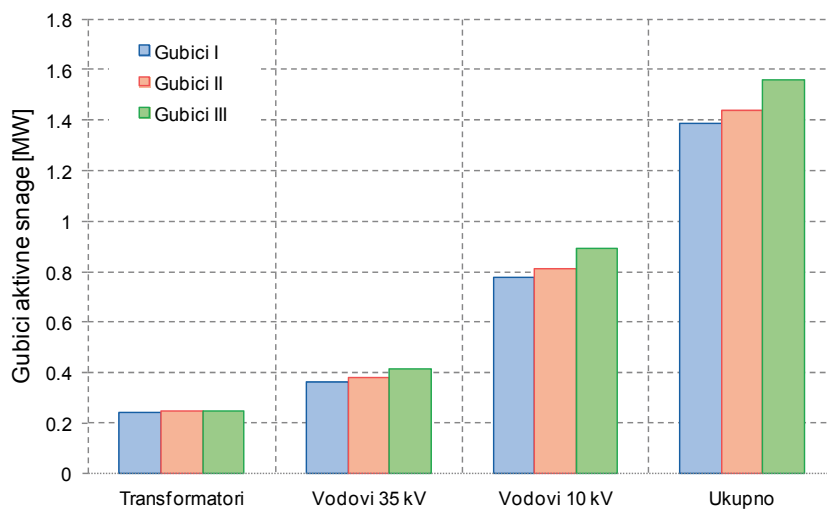
Na Slici 5. su dati gubici po elementima mreže za trenutak letnjeg maksimalnog opterećenja. Gubici na transformatorima su u svim posmatranim slučajevima jednaki, jer zavise samo od opterećenja koje je isto u svim slučajevima (uz fiksni deo koji zavisi od napona). Što se tiče vodova 35 i 10 kV, kao što je već rečeno gubici se povećavaju sa porastom modelovane temperature provodnika počev od Slučaja III ka Slučaju I. Ukupni gubici prate promenu gubitaka na vodovima, jer oni čine oko tri četvrtine ukupnih gubitaka.

Gubici po elementima mreže za trenutak zimskog maksimalnog opterećenja su prikazani na Slici 6. Slično situaciji koja se imala za letnji maksimum, gubici na transformatorima su praktično konstantni. U mreži 35 i

10 kV se u Slučaju I imaju najmanji gubici, jer su uvaženi pogonski uslovi za posmatrani dan. Odnosno, gubici se smanjuju počev od Slučaja III ka Slučaju I - što je i očekivano, jer su temperature u zimskom periodu niže od kataloških vrednosti.



Slika 5. Gubici po elementima mreže u posmatranim slučajevima u trenutku letnjeg maksimalnog opterećenja



Slika 6. Gubici po elementima mreže u posmatranim slučajevima u trenutku zimskog maksimalnog opterećenja

Da bi se imala jasnija slika u kojoj meri preciznost modelovanja distributivnih mreža utiče na proračun gubitaka aktivne snage, može se novčano valorizovati razlika gubitaka u pojedinim slučajevima.

Kao primer je posmatrana razlika ukupnih gubitaka između Slučaja III i Slučaja I, za trenutak zimskog maksimuma. Ova razlika iznosi 0,169 MW, što je izraženo u novcu oko 27000 EUR (sa cenom gubitaka od 160 EUR/kW su uvaženi trenutni uslovi proizvodnje, prenosa i distribucije električne energije u Republici Srbiji). S obzirom da procenjena cena izgradnje 1 km nadzemnog voda AIFe 50 mm² iznosi oko 19500 EUR, greška koja se pravi neuvažavanjem porasta podužne otpornosti sa temperaturom je ekvivalentna visini investicije u izgradnju oko 1,4 km pomenutog voda.

Treba reći da se izloženi rezultati analize odnose na konkretan primer i da se sa promenom strukture mreže menja i iznos greške.

5. Zaključak

Za potrebe efikasnije eksploatacije distributivnih mreža, neophodno je formirati odgovarajuće modele tih mreža i na njima vršiti potrebne analize. Da bi rezultati i zaključci pomenutih analiza bili dovoljno kvalitetni, potrebno je što detaljnije pristupiti formiranju modela. Raspoloživost odgovarajućih podataka je u tom slučaju vrlo značajna, što povlači potrebu da se podaci prikupljaju u kontinuitetu duži vremenski period i sa visokom tačnošću.

Kao što je izloženo u radu, zanemarivanje jednog aspekta modelovanja može značajno da utiče na rezultate tehno-ekonomskih analiza, a time i na ispravnost donetih odluka koje se tiču optimalne eksploatacije i potencijalnih investicija u mrežu.

U slučajevima proračuna gubitaka u mreži, kao i u analizama koje se baziraju na ovim proračunima, neuvažavanje promene podužne električne otpornosti provodnika sa temperaturom, može imati posledice koje se ne mogu zanemariti.

U ovom radu je izložen samo jedan od mogućih uticaja na tačnost simulacija stanja u distributivnim mrežama, kao i procena posledica tog uticaja. Dalja istraživanja u okviru ove oblasti pruža mogućnost za dalja unapređenja načina modelovanja distributivnih mreža.

Literatura

- [1] *Подземни кабловски водови 10 kV - Каблови и кабловски прибор* (С.Б1.2.210/00), Службени гласник ЕДБ – Интерни стандарди ЕДБ, у примени од 2002. године.

- [2] Сезонски билтен за Србију – Лето 2014. године, Републички хидрометеоролошки завод Србије - <http://www.hidmet.gov.rs>, Београд, 2014.
- [3] Сезонски билтен за Србију – Зима 2014/2015. године, Републички хидрометеоролошки завод Србије - <http://www.hidmet.gov.rs>, Београд, 2015.
- [4] Н. Рајаковић, Д. Тасић, *Дистрибутивне и индустријске мреже*, Академска мисао, Београд, 2008.
- [5] Н. Петровић, Н. Чукалевски, С. Крстонијевић, „Математички модели у стандардима за прорачун трајно и краткотрајно дозвољених струја проводника надземних водова“, *Електропривреда*, бр.3, 2009. година, стр. 43-51, ISSN 0013-5755

Abstract: For long-term development planning of power distribution networks, it is necessary to have the modelling process adapted to the available data. More detailed models can give better insight into the current operating state of the power distribution network, as well as into the potential network capabilities. The impact of conductor resistance change due to ambient temperature variations in power distribution network modelling is analysed, especially the influence on power flow calculations and estimated power losses. This impact is analysed in the case of a part of the power distribution network EPS Distribucija d.o.o. Beograd, which includes the network areas of Sopot and Grocka.

Keywords: modelling of distribution network, ambient temperature, line resistance of conductors, active power losses

The Ambient Temperature Influence on the Modelling of Power Distribution Networks

Rad primljen u uredništvo: 30.09.2015. godine
Rad prihvaćen: 18.10.2015. godine

