

# Proračun gubitaka u distributivnom sistemu pomoću iterativnog postupka za modelovanje potrošnje na niskom naponu

Miloš Anđelković, Dragan Đorđević, Ana Janković

Elektrotehnički fakultet  
Elektrotehnički institut "Nikola Tesla"  
Univerzitet u Beogradu  
Beograd, Srbija  
[milos.andjelkovic@ieent.org](mailto:milos.andjelkovic@ieent.org)

*Sadržaj* - U radu je prikazan način modelovanja snage potrošača na niskom naponu pomoću podataka o utrošenoj električnoj energiji i SCADA merenja petnaestominutne snage na 35 kV izvodu napojne trafostanice TS 110/35 kV. Analiza je vršena na detaljnom modelu distributivne mreže. Model mreže je realizovan u programskom alatu PSS Sincal. Modelovanje snage potrošača je vršeno pomoću automatizovanog iterativnog postupka realizovanim u VBA programskom jeziku. Pomoću generisanog VBA koda povezan je model distributivnog sistema sa podacima o potrošnji električne energije kupaca i SCADA merenjima. Proračuni tokova snaga, odnosno snage gubitaka po naponskim nivoima u sistemu, nakon uspešnog modelovanja potrošnje, su vršeni pomoću programskog alata PSS Sincal za različita opterećenja u toku godine. Dat je prikaz pojedinih rezultata i kratka diskusija.

*Ključne reči:* gubici električne energije; distributivne mreže; modelovanje snage potrošača, PSS Sincal;

## I. UVOD

Za valjanu analizu rada distributivne mreže neophodno je posedovati detaljan model te mreže, koji će sadržati sve elemente počevši od napojne TS 110/35 kV pa do samih mernih mesta za merenje potrošnje električne energije (brojila korisnika). Podaci o visokonaponskoj i srednjenaponskoj mreži su uglavnom dostupni i redovno se ažuriraju. Problem je što model niskonaponske mreže najčešće ne poseduju ni distributivna preduzeća kojima te mreže pripadaju. Razlog je što nije redovno, ili nije uopšte vršeno ažuriranje dokumentacije o niskonaponskoj mreži (trase vodova i kablova, kao i njihove karakteristike u pogledu tipa i preseka) ni u papirnom ni u elektronskom obliku, a "snimanje" trenutnog stanja mreže u elektronski oblik od nule je dugotrajan, i veoma zametan posao. Kada bi distributivna preduzeća imala adekvatan model pripadajuće niskonaponske mreže, tada bi mogao da se analizira njen rad i da se po potrebi izvrše preventivne i korektivne aktivnosti u cilju smanjenja tehničkih i netehničkih gubitaka, odnosno u cilju efikasnijeg poslovanja.

Ipak, postoje malobrojna distributivna preduzeća koja su se odlučila za korak dokumentovanja mreže u elektronskom

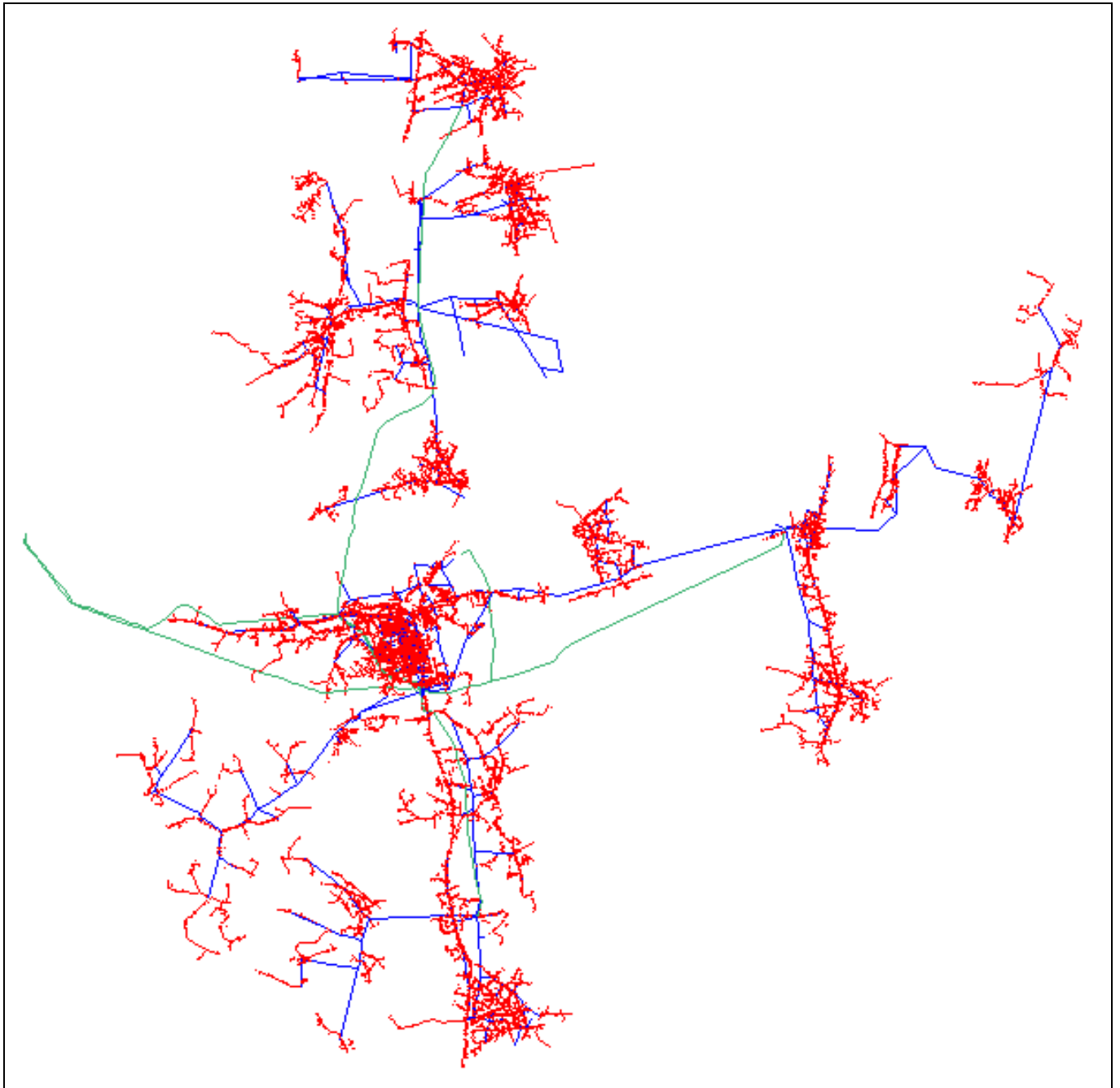
obliku, što je omogućilo formiranje detaljnog modela distributivne mreže uključujući i egzaktan model niskonaponske mreže. Posedovanje ovakvog modela mreže i metoda za precizno modelovanje potrošnje je vrlo korisno. Moguće je steći detaljan uvid o naponskim prilikama u mreži, opterećenjima pojedinih grana mreže, tehničkim gubicima po naponskim nivoima u mreži. Ovi podaci se mogu koristiti za unapređenje trenutnog stanja mreže, rasterećenje preopterećenih vodova, poboljšanja naponskih prilika, planerske poslove, lociranja delova mreže sa povećanim netehničkim gubicima itd. Prikazani model mreže (kao i modeli još nekih drugih mreža) i način modelovanja snage potrošača (sa dodatnim unapređenjima opisanim u poslednjem poglavlju ovog rada) se trenutno koristi pri analizi sistema u nekim od aktivnih studija na Institutu "Nikola Tesla" gde su autori zaposleni. U ovom radu reprezentativno je dat samo prikaz snage aktivnih gubitaka po naponskim nivoima u mreži za različita opterećenja izmerena u toku godine. Analizirana su samo neka od karakterističnih opterećenja izmerena u toku godine.

U narednom poglavlju je dat prikaz celokupne distributivne mreže modelovane u programskom paketu PSS Sincal i opisan je način modelovanje potrošnje pomoću merenih podataka (očitanja sa brojila potrošača i SCADA petnaestominutnih merenja) i generisanog iterativnog algoritma napisanog u VBA (Visual Basic for Applications) programu.

## II. MODEL MREŽE

### A. Prikaz razmatrane mreže

Posmatrani distributivni sistem (Sl. 1) se napaja iz jedne TS 110/35 kV/kV snage  $2 \times 31.5$  MVA. Sabirnice 110 kV se u analizama smatraju krutom tačkom sa stanovišta napona. Transformatori 110/35 kV/kV, kao i svi ostali transformatori u mreži, su modelovani uz uvažavanje regulatora za promenu prenosnog odnosa. Mreža dalje sadrži osam TS 35/10 kV/kV i 298 TS 10/0.4 kV/kV i snabdeva oko 22 000 kupaca pretežno na niskom naponu. Mrežu naponskog nivoa 35 kV (na slici označena zelenom bojom) sačinjavaju Al kablovi preseka  $150 \text{ mm}^2$  i  $185 \text{ mm}^2$  i AlČe nadzemni vodovi preseka  $70 \text{ mm}^2$  i



Slika 1. Prikaz razmatrane distributivne mreže Velike Plane

95 mm<sup>2</sup>. Mreža naponskog nivoa 10 kV (na slici označena plavom bojom) je sačinjena od Al i Cu kablova preseka 150, 120, 95, 70 i 50 mm<sup>2</sup> i nadzemnih AlČe vodova preseka 50, 35 i 25 mm<sup>2</sup>. Niskonaponska 0.4 kV mreža (na slici označena crvenom bojom) je krajnje raznolika. Sačinjavaju je Al i Cu kablovi preseka od 150 mm<sup>2</sup> do 4 mm<sup>2</sup>, nadzemni AlČe provodnici bez izolacije preseka 70 mm<sup>2</sup> do 16 mm<sup>2</sup>, nadzemni Cu provodnici sa izolacijom preseka 16 mm<sup>2</sup> do 4 mm<sup>2</sup>, kao i nadzemni SKS (samonosivi kablovski snop) - Al provodnici preseka 70 mm<sup>2</sup> do 16 mm<sup>2</sup>. U niskonaponskoj mreži dominiraju SKS provodnici preseka 70 i 16 mm<sup>2</sup>. Model mreže

sadrži i 111 kondenzatorskih baterija koje su postavljene na sekundarnim sabirnicama odgovarajućih TS 10/0.4 kV/kV. Napominje se da je mreža postavljena na georeferenciranoj podlozi koja zbog preglednosti nije upaljena.

Model razmatrane mreže je formiran u programskom alatu PSS Sincal. U pogledu pogonske simetrije pretpostavljeno je da su i sredjenaponska i niskonaponska mreža trofazne uravnotežene mreže. Ova pretpostavka je sasvim opravdana s obzirom na zanemarljiv broj monofaznih priključaka u razmatranoj niskonaponskoj mreži.

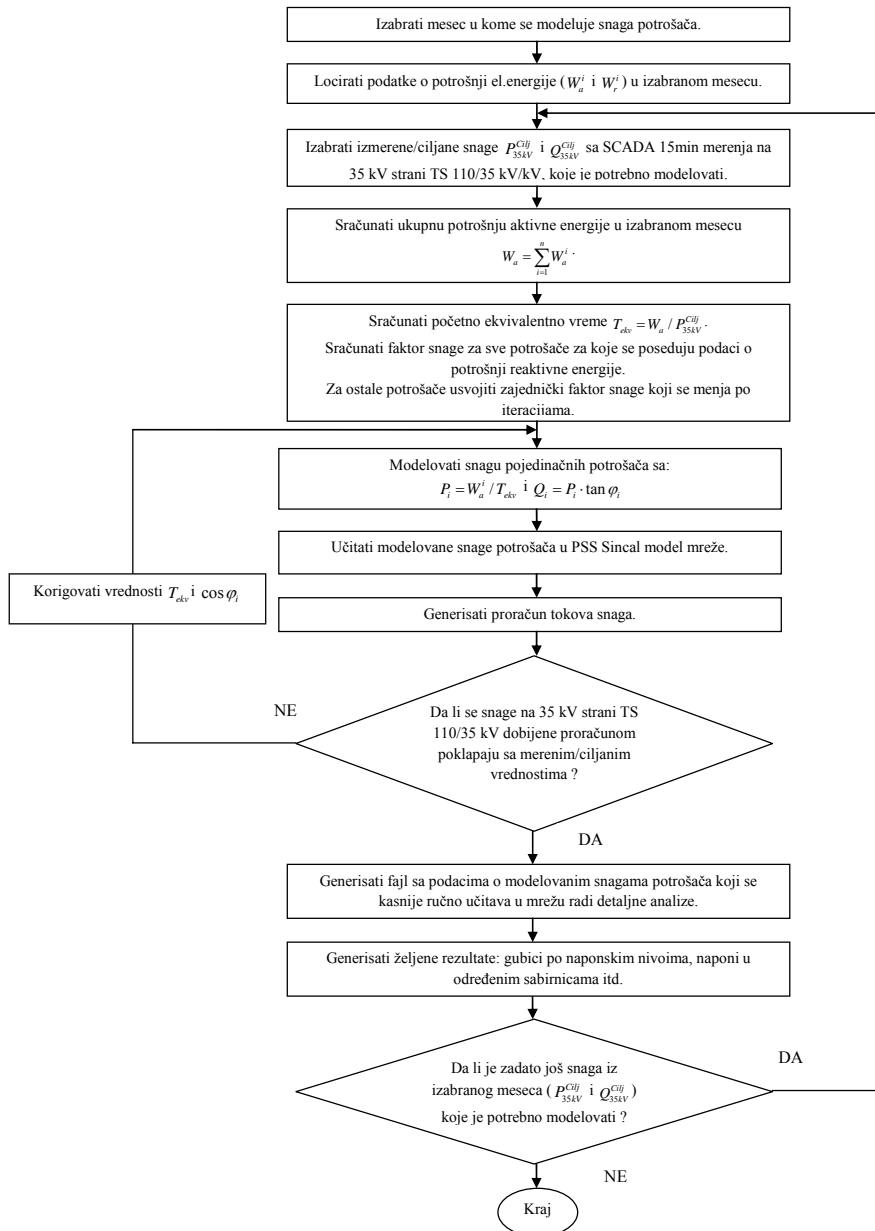
U nastavku dat je prikaz načina na koji je modelovana potrošnja u niskonaponskoj mreži.

### B. Modelovanje potrošnje

Za potrebe analize u okviru ovog rada potrošači su modelovani preko modela konstantne snage, odnosno pretpostavljeno je da se snaga potrošača ne menja sa promenom napona. Snaga potrošnje se, sa druge strane, menja u vremenu. Ovde se smatra da se snaga potrošnje promeni na svakih 15 minuta. Svakom izmerenom paru snaga ( $P$  i  $Q$ ) na sekundarnoj strani TS 110/35 kV/kV odgovaraju nove snage potrošnje. Na Sl. 2 je prikazan uprošćeni algoritam korišćen za modelovanje snaga potrošača u mreži. Za ovakav način

modelovanja potrebni su, pored egzaktnog modela celokupne mreže, podaci o potrošnji električne energije svih potrošača u mreži (očitanja sa brojlara potrošača) kao i SCADA merenja petnaestominutne snage na 35 kV izvodu napojne trafostanice TS 110/35 kV. Korišćenjem generisanog VBA koda se za izabrane snage ( $P$  i  $Q$ ) izmerene na sekundarnoj stani TS 110/35 kV/kV modeluje snaga svakog pojedinačnog potrošača u mreži i time dobijaju tokovi snaga i naponske prilike u mreži. Na ovaj način je moguće modelovati stanje u mreži pri svim izmerenim snagama na 35 kV strani TS 110/35 kV/kV.

Programu se zadaju sve željene snage, tj. parovi izmerenih snaga ( $P$  i  $Q$ ) koje je potrebno modelovati. Po završetku rada program prikazuje željenu grupu rezultata i generiše izlazne



Slika 2. Algoritam za modelovanje snaga potrošača sadržan u korišćenom VBA kodu

fajlove. Izlazni fajlovi sadrže modelovane snage potrošača u mreži koje je moguće kasnije učitati u PSS Sincal model mreže radi detaljnije analize.

Na prikazanom algoritmu oznake imaju sledeće značenje:

$W_a^i, W_r^i$  - utrošena aktivna i reaktivna električna energija i-tog potrošača u određenom mesecu,

$P_{35kV}^{Cij}, Q_{35kV}^{Cij}$  - izmerena aktivna i reaktivna srednja petnaestominutna snaga na 35 kV izvodu napojne trafostanice TS 110/35 kV u određenom mesecu,

$n$  - ukupan broj potrošača,

$W_a$  - zbir utrošenih aktivnih energija svih potrošača u sistemu,

$T_{ekv}$  - ekvivalentno vreme,

$P_i, Q_i$  - modelovana aktivna i reaktivna snaga i-tog potrošača,

$\cos \varphi_i$  - faktor snage i-tog potrošača.

### III. REZULTATI ANALIZE

Prethodno opisan model mreže sa modelovanjem opterećenjima implementiran je u okviru programskog alata PSS Sincal uz pomoć koga su vršeni proračuni tokova snaga u cilju određivanja snage gubitaka po naponskim nivoima u mreži. Proračun je vršen za karakteristična opterećenja u toku godine. Analizirana su maksimalna i minimalna opterećenja izmerena na TS 110/35 kV/kV u toku decembra i avgusta meseca. Korišćeni su podaci dobijeni od distribucije za 2013 godinu. Rezultati proračuna su tabelarno sumirani u Tabeli I. Naglašava se da su gubici na 110 kV naponskom nivou zapravo gubici u dva transformatora 110/35 kV/kV. Treba naglasiti da pri analizi rezultata proračuna tokova snaga nisu primećena nedozvoljena naponska radna stanja i preopterećenja u celokupnoj analiziranoj mreži.

Analizirajući dobijene podatke može se videti da proračunate snage tehničkih gubitaka u mreži, za analizirana

stanja, imaju vrednost između 4.6% i 8.2%. Zanimljivo je diskutovati gubitke u niskonaponskoj mreži koji obično nisu dostupni. Primećuje se da oni iznose oko 30% od ukupnih gubitaka, u prva tri analizirana slučaja, dok u poslednjem slučaju oni iznose oko 17% od ukupnih gubitaka. Dobijeni ukupni gubici u mreži se mogu porediti sa stvarnim izmerenim gubicima u mreži koji se lako mogu sračunati kao razlika preuzete energije na TS 110/35 kV/kV i energije prodate kupcima. Potrebno je samo još i snagu gubitaka dobijenu proračunom pomnožiti ekvivalentnim vremenom trajanja gubitaka. Ovakvim poređenjem mogu se proceniti netehnički gubici u mreži. Ovde se samo napominje da su stvarni gubici viši od proračunatih zbog izraženih netehničkih gubitaka.

### IV. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan metod za analiza snage gubitaka električne energije po naponskim nivoima u mreži. Analiza se zasnivala na detaljnom modelu distributivne mreže, koja obuhvata konzum od oko 22 000 potrošača. Korišćen je iterativni proces za modelovanje potrošnje. Za potrebe modelovanja snage potrošača korišćeni su realni podaci o potrošnji električne energije i SCADA merenja petnaestominutne snage na 35 kV izvodu napojne trafostanice TS 110/35 kV/kV. Prikazano je učešće gubitaka u niskonaponskoj mreži u ukupnim gubicima u sistemu kao i vrednosti proračunatih tehničkih gubitaka u sistemu.

U zavisnosti od dostupnih merenja u mreži, moguće je povećati preciznost modelovanja potrošnje. Naime, na nekim TS 35/10 kV/kV postoje merenja snage na 10 kV izvodima. Takođe ponekad distribucije poseduju merenja na nekim drugim provodnicima u mreži. U tom slučaju prvo je, istom metodom, potrebno "naciljati" potrošnju izvoda, tj. modelovati snage svih potrošača koje posmatrani izvod napaja. Kada se završi modelovanje svih izvoda (snage potrošača na izvodima), za koje su dostupna merenja snage, modeluje se ostatak mreže tj. ostatak potrošača. Bitno je da sva merenja snage budu jednovremena.

TABELA I. AKTIVNA SNAGA GUBITAKA U MREŽI DATA PO NAPONSKIM NIVOIMA ZA KARAKTERISTIČNA OPTEREĆENJA U TOKU GODINE

Opterećenje	Izmerene snage na sekundaru TS 110/35 kV/kV		Aktivni gubici po naponskim nivoima u mreži (kW)			
	$P_{35kV}$ (kW)	$Q_{35kV}$ (kVAr)	110 kV	35 kV	10 kV	0.4 kV
Decembar Maksimalno	29 484.0	5 090.0	126.0	599.9	881.9	737.0
Decembar Minimalno	15 708.0	2 369.0	67.7	230.5	228.3	199.4
Avgust Maksimalno	22 176.0	7 812.0	96.0	456.7	706.6	548.6
Avgust Minimalno	9 828.0	3 729.6	55.4	163.1	349.7	118.3

## LITERATURA

- [1] D. Đorđević, M. Anđelković, "Analiza uticaja masovnog korišćenja solarnih panela na gubitke električne energije u niskonaponskoj mreži", Infoteh, Jahorina 2015, str. 260-265.
- [2] Brane Nijemčević, Željko Jevtić, Zoran Radonjić, Ivica Marinković, Saša Minić, Branislav Čupić, Dragan Đorđević, Aleksandar Ivanov, Miloš Anđelković, Jelena Perić, Milica Dilparić, "Projekat Implementacije AMI/MDM Sistema u Pogonu Velika Plana u okviru ED "Centar" Kragujevac", CIGRE, Zlatibor 2015, Grupa R C1 03
- [3] S. Minić i dr., "Implementacija naprednog sistema daljinskog očitavanja mernih uređaja električne energije i upravljanje potrošnjom u odabranom konzumu PD "Centar" d.o.o. Kragujevac", Studija, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd, 2014.
- [4] G. Radović i dr., "Perspektivni dugoročni razvoj električnih mreža naponskog nivoa 110 kV i 35 kV na području PD "Centar" d.o.o. Kragujevac", Studija, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd, 2013.

## ABSTRACT

This paper presents a method of modelling consumption power at low voltage by using data on consumed electricity and SCADA measurements acquired every 15 minute at 35 kV

voltage level of 110/35 kV/kV supply substation. Analysis was performed on a detailed model of the distribution. The network model is implemented in a software tool PSS Sincal. Modelling of consumer consumption power was conducted using automated iterative procedure implemented in VBA programming language. Using the generated VBA code distribution system model is linked with data on consumption of electricity and SCADA measurements. Load flow calculations and network losses for each voltage level in the system, after a successful modelling of consumption, were carried out using the software tool PSS Sincal for different loads during the year. Relevant results are presented with a brief discussion.

## **DISTRIBUTION SYSTEM LOSSES CALCULATION USING AN ITERATIVE PROCESS FOR MODELING CONSUMPTION AT LOW VOLTAGE**

Miloš Anđelković  
Dragan Đorđević  
Ana Janković