

**PRORAČUN RASPODELE POTENCIJALA IZNAD UZEMLJIVAČA DISTRIBUTIVNE TRANSFORMATORSKE STANICE SA IZOLOVANOM NEUTRALNOM TAČKOM****CALCULATION OF VOLTAGE POTENTIAL DISTRIBUTION ABOVE GROUNDING SYSTEM OF DISTRIBUTION TRANSFORMER STATION WITH INSULATED NEUTRAL POINT**

Tomislav RAJIĆ, Dragutin SALAMON, Jovan MIKULOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Elektrotehnički fakultet, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Rad prikazuje proračun raspodele potencijala na tlu, iznad i u okolini uzemljivača distributivne transformatorske stanice. U ovom radu biće reči o uzemljivačkim sistemima, kao važnim elementima svakog elektroenergetskog sistema. Osnovna funkcija i primena uzemljivača je da odvodi struje koje se javljaju kod zemljospojeva u tlo, te da se pri tome na površini tla iznad uzemljivača i u njegovoj okolini ne pojave naponi koji bi mogli da ugroze živote ljudi i životinja. Konkretno, rad razmatra međusobni uticaj radnog i zaštitnog uzemljenja distributivne transformatorske stanice. U transformatorskim stanicama 10/0,4 kV, poželjno je da se radno i zaštitno uzemljenje izvode združeno. Ako visokonaponska mreža na koju se priključuje transformatorska stanica radi sa izolovanom neutralnom tačkom ili sa kompenzovanom strujom zemljospoja, a zemljospoj se isključuje najkasnije za dva časa, u transformatorskoj stanici se, po pravilu, izvodi združeno uzemljenje. Ukoliko u tom slučaju nije zadovoljen uslov da je prilikom zemljospoja na visokonaponskoj strani napon uzemljivača manji od unapred definisane dozvoljene vrednosti uzemljenja se razdvajaju. Izvedeni proračuni pokazuju kako izgleda raspodela potencijala iznad radnog uzemljenja prilikom kvara na visokonaponskoj strani distributivnog transformatora 10/0,4 kV. Mreža sa visokonaponske strane radi kao izolovana. Takođe, rad daje odgovor na pitanje da li postoji opasnost od iznošenja opasnih potencijala u niskonaponsku mrežu preko radnog uzemljenja TS u slučaju zemljospoja na višenaponskoj strani. Varirano je rastojanje između radnog i zaštitnog uzemljenja. Proračun je vršen na dva načina: pomoću programa realizovanog na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu zasnovanog na standardnoj programskoj platformi za tabelarne proračune, odnosno pomoću profesionalnog softvera za proračun uzemljivačkih sistema zasnovanog na metodi konačnih elemenata.

Ključne reči: radno uzemljenje, raspodela potencijala, uzemljivači, zaštitno uzemljenje

SUMMARY

The paper presents the calculation of the voltage potential distribution on the soil surface, above the grounding system of the distribution transformer station. This paper will discuss grounding systems, as important elements of any power system. The basic function and application of grounding is to discharge currents that occur during earth faults into the ground, and that no stress appears on the surface of the ground above the grounding conductor and in its surroundings, which could endanger human and animal lives. Also, the grounding should have a small value of self resistance. In particular, the paper considers the mutual influence of the working and protective grounding of the distribution transformer station. In 10/0,4 kV transformer stations, it is desirable that the working and protective grounding be performed together. If the high-voltage network to which the transformer station is connected operates with an isolated neutral point or with a compensated earth fault current, and the earth fault is switched off within two hours at the latest, the transformer station grounding systems both operates as one. If, in that case, during the earth fault on the high-voltage side, the grounding voltage is less than the predefined value, the groundings operates separated. The calculations performed show what the distribution of potential above the working ground looks like, during the failure on the high voltage side of the 10/0.4 kV distribution transformers. The network on the high voltage side operates as isolated. Also, the paper provides an answer to the question of whether there is a danger of carrying hazardous potentials into the low-voltage network through the working grounding of the transformer station in the event of a ground fault on the high-voltage side. The distance between the working and protective grounding is varied. The calculation was performed in two ways: using a program implemented at the Faculty of Electrical Engineering in Belgrade and using professional software for the calculation of grounding systems.

Keywords: grounding system, grounding system potential, neutral point grounding, protective grounding

1. UVOD

U radu je prikazan primer proračuna raspodele potencijala na površini tla u okolini uzemljivača distributivne transformatorske stanice (TS). Osnovna funkcija uzemljivača je da se preko njega odvede u tlo struje koje se javljaju kod zemljospoja, a da se pri tome u okolini uzemljivača ne pojave potencijali koji mogu ugroziti živote ljudi i životinja [1]. Konkretno, u radu se razmatra problem međusobnog uticaja radnog i zaštitnog uzemljenja jedne distributivne TS.

U radu se analizira konkretan slučaj radnog i zaštitnog uzemljenja jedne TS 10/0,4 kV/kV iz prakse. Vreme trajanja kvara je zbog nedostatka tačnih podataka usvojeno kao najnepovoljnije [2,3]. Proračun je izveden primenom programa realizovanog na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu razvijenog na standardnoj programskoj platformi za tabelarne proračune [4], a dobijeni rezultati su provereni primenom profesionalnog softverskog paketa za proračun uzemljivačkih sistema [5].

2. RADNO I ZAŠTITNO UZEMLJENJE

Uslovi za dimenzionisanje sistema uzemljenja TS prema naponima dodira i koraka određeni su načinom uzemljenja neutralne tačke mreže i vrstom primenjene zemljospojne zaštite. U radu se razmatra samo slučaj kada je neutralna tačka sredjenaponske mreže izolovana. Pri zemljospoju u TS naponi dodira koji se javljaju unutar i izvan TS, u niskonaponskoj mreži i instalacijama potrošača iznošenjem potencijala preko neutralnog provodnika niskonaponske mreže ne smeju da budu veći od dozvoljenih vrednosti [2,3].

U distributivnim TS 10/0,4 kV/kV poželjno je da se radno i zaštitno uzemljenje izvode kao združeno uzemljenje. Ako visokonaponska mreža na koju se priključuje TS radi sa izolovanom neutralnom tačkom ili sa kompenzacijom struje zemljospoja, a zemljospoj se isključuje za manje od dva časa, u TS se, po pravilu, izvodi združeno uzemljenje. Ukoliko tada nije zadovoljen uslov da je prilikom zemljospoja na višenaponskoj strani napon uzemljivača TS manji od dozvoljene vrednosti napona dodira, uzemljenja se razdvajaju.

Ukupna otpornost združenog uzemljenja (R_{zdr}), uključujući i uticaj kablova kao uzemljivača, kao i uticaj uzemljivača susednih TS i objekata (zgrada) koji su vezani za neutralni provodnik niskonaponske mreže, mora da bude [1,2]:

$$R_{zdr} \leq \frac{k_d \cdot U_{doz}}{I_z} \quad (1)$$

gde su:

U_{doz} - dozvoljena vrednost napona dodira, (V),

I_z - ukupna kapacitivna struja zemljospoja galvanski povezane visokonaponske mreže sa izolovanom neutralnom tačkom, odnosno preostala struja zemljospoja višenaponske mreže sa kompenzovanom strujom zemljospoja, (A),

k_d - sačinilac koji određuje odnos napona uzemljenja transformatorske stanice i napona dodira na mestu dodira i ima vrednost $k_d = 2$.

Izuzetno, ako vreme isključenja zemljospoja u višenaponskoj mreži prelazi 3 s, a u električnim instalacijama niskog napona se koriste paralelno TN i TT sistem ili se koristi samo TN sistem zaštite pri čemu pojedine zgrade nemaju izveden temeljni uzemljivač i nisu sprovedene mere izjednačavanja potencijala prema propisima za električne instalacije niskog napona, sačinilac k_d ima vrednost: $k_d = 1$, [2].

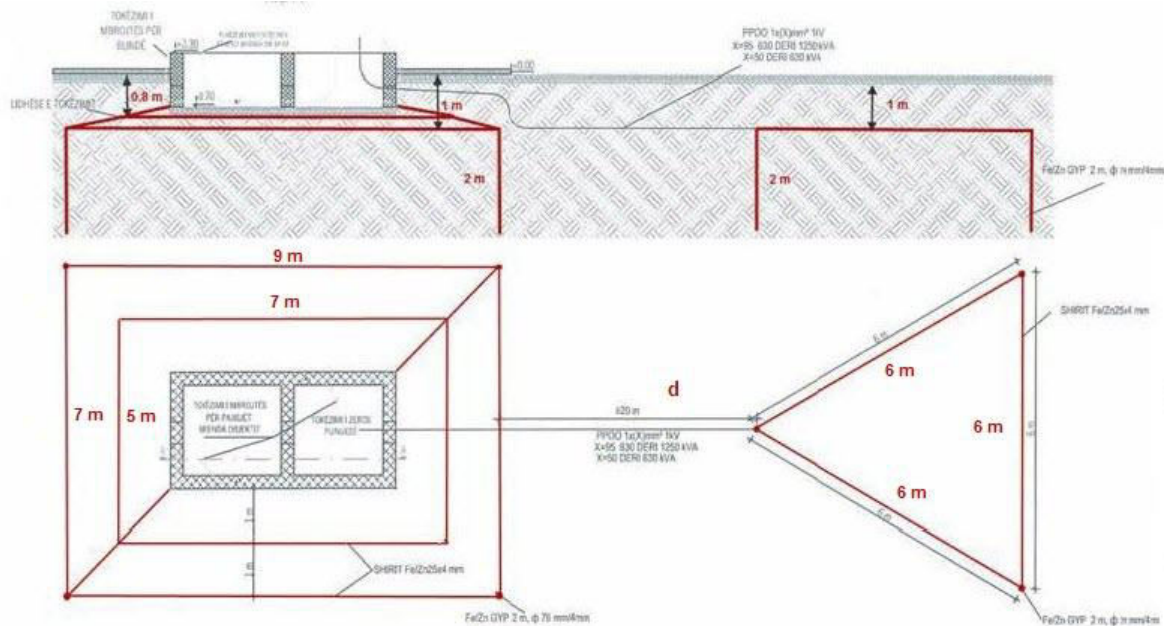
3. OPIS UZEMLJIVAČKOG SISTEMA

U radu se analizira tipično rešenje uzemljivačkog sistema TS 10/0,4 kV/kV koje se primenjuje u distribuciji. Prikaz uzemljivačkog sistema dat je na Slici 1. Slika je preuzeta iz [4] i nije dovoljno jasna u nekim detaljima, pa su svi elementi koji se odnose na uzemljivače pojačani na Slici 1.

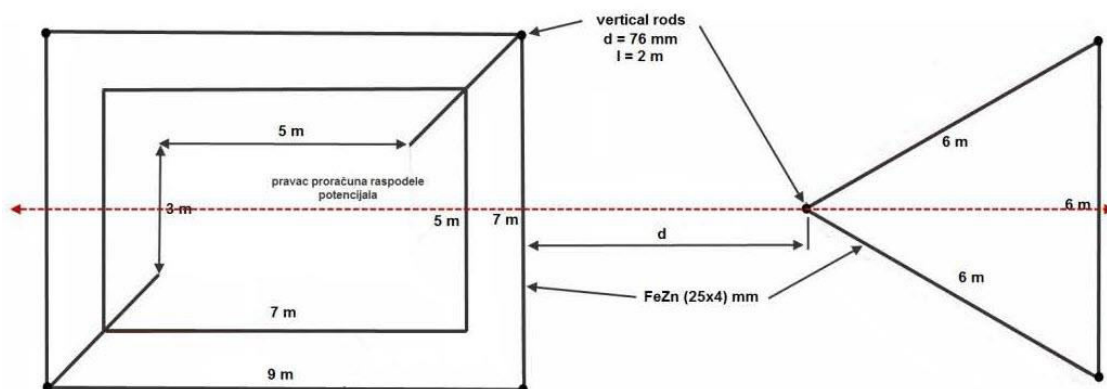
Ceo uzemljivački sistem TS sastoji se od:

- zaštitnog uzemljenja TS koje se izvodi u obliku dve međusobno povezane pravougaone konture oko same TS izvedene od pocinkovane trake (25x4) mm i četiri cevna vertikalna uzemljivača Φ 76 mm, dužine 2 m, pobijena u vrhovima spoljašnje pravougaone konture,
- radnog uzemljenja TS u obliku trougaone konture stranice 6 m, izvedene od pocinkovane trake (25x4) mm i tri cevna vertikalna uzemljivača Φ 76 mm, dužine 2 m, pobijena u vrhovima trougla.

Skica uzemljivačkog sistema TS sa potrebnim podacima prikazana je na Slici 2. Dimenzije TS određene su na osnovu skice prikazane u [4].



Slika 1. Uzemljivački sistem TS



Slika 2. Skica uzemljivačkog sistema TS sa potrebnim podacima

Podaci o specifičnoj otpornosti tla dobijeni su merenjima na lokaciji buduće TS. Rezultati merenja prikazani su u [4]. Na samoj lokaciji TS izvršena su merenja na dva mesta, na svakom mestu u dva međusobno normalna pravca. Mereno je Venerovom (Wener) metodom, sa razmacima sondi od 3, 5 i 7 m. Kao izmerena vrednost usvojena je srednja vrednost specifične otpornosti za ova četiri slučaja. Ta vrednost je

$$\rho_{sr} = 245 \Omega\text{m}$$

Vrednost struje zemljospoja u postrojenju 10 kV dobijena je od „Elektrodistribucije Kosova“ i ona u najnepovoljnijoj varijanti iznosi

$$I_k = 6,64 \text{ A}$$

Mreža 10 kV radi u režimu izolovanog zvezdišta.

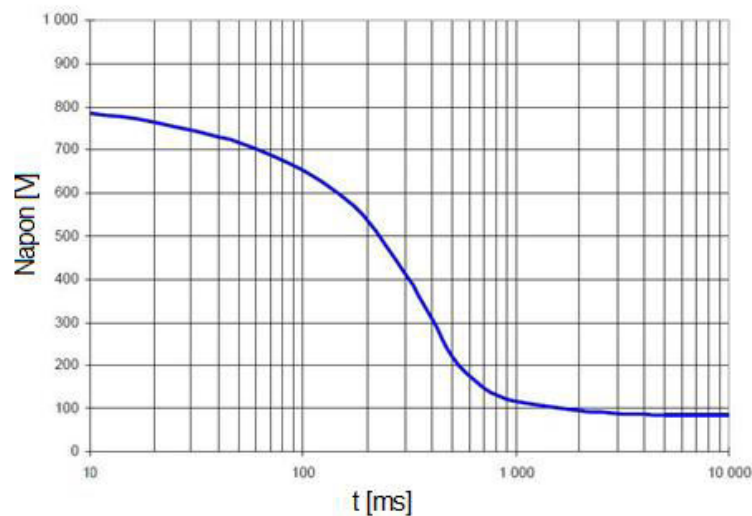
Vrednosti dozvoljenog napona dodira određene su na osnovu dijagrama promene dozvoljenih vrednosti napona dodira u funkciji vremena trajanja kvara prema evropskim propisima [3], prikazanog na Slici 3.

Dobijeni podaci o vremenu trajanja kvara nisu dovoljno pouzdani pošto nije sigurno koliko je to vreme u slučaju otkaza zaštite (vreme isključenja rezervne zaštite), tako da je usvojeno vreme

$$t_k = 1,5 \text{ s}$$

što praktično odgovara trajnom kvaru za koji je vrednost dozvoljenog napona dodira, [3]:

$$U_{\text{doz}} = 80 \text{ V}$$



Slika 3. Dozvoljeni napon dodira u funkciji vremena trajanja kvara

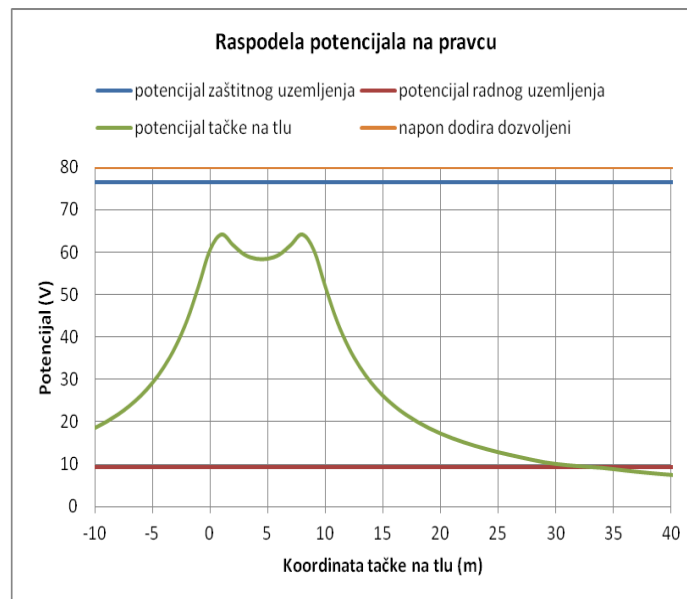
4. REZULTATI PRORAČUNA

Već je rečeno da su proračuni u [4] izvedeni primenom programskog paketa za analizu uzemljivačkih sistema razvijenog na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Razvijeni program omogućava i analizu uzemljivačkog sistema koji se sastoji od dva bliska, međusobno nepovezana uzemljivača kojim se obuhvata njihov međusobni uticaj. Analize su izvedene za udaljenost radnog uzemljivača od zaštitnog od 20 m. Rezultati proračuna prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati proračuna

Međusobni razmak uzemljivača d (m)	Otpor sistema uzemljenja (Ω)	Potencijali uzemljivača (V)		Struje odvođenja (A)	
		zaštitni	radni	zaštitni	radni
20	11,53	76,55	9,37	6,64	0

Na Slici 4 prikazana je kriva raspodele potencijala na pravcu koji je na skici uzemljivača na Slici 2 označen crvenom bojom.



Slika 4. Raspodela potencijala na pravcu za razmak između uzemljivača 20 m

5. PRIMENA PROFESIONALNOG SOFTVERSKOG PAKETA

U cilju provere dobijenih rezultata proračun je ponovljen primenom profesionalnog softverskog paketa [5]. Na Slici 5 prikazano je okruženje softvera i prikazani su zadati uzemljivači. Rezultati proračuna potencijala uzemljivača su prikazani u Tabeli 2.

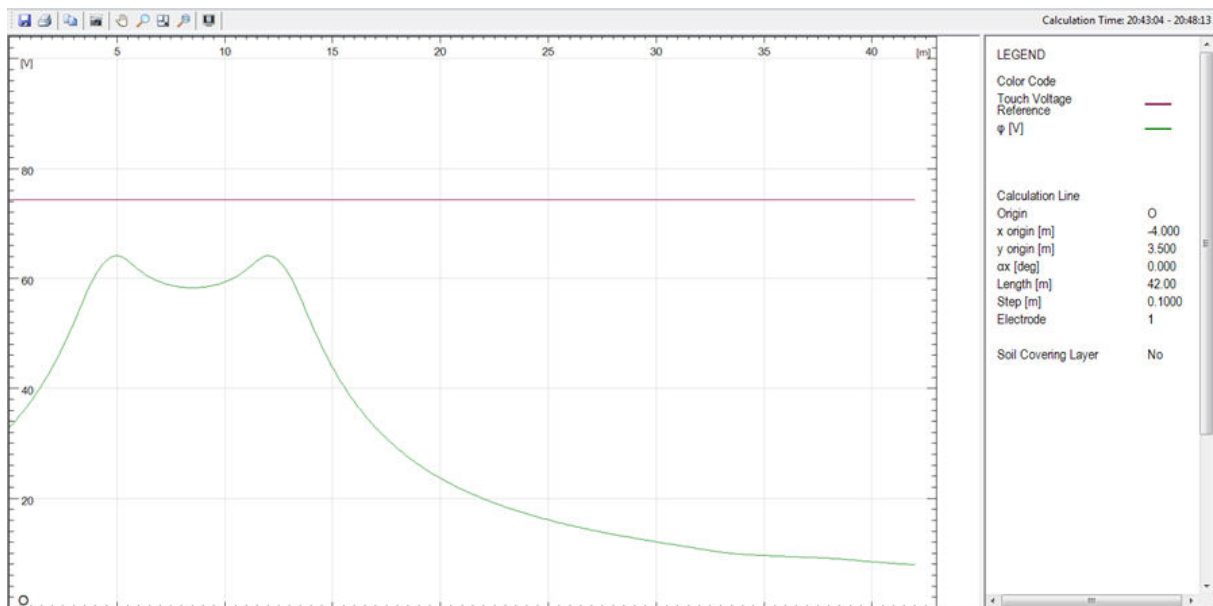


Slika 5. Prikaz problema primenom profesionalnog softverskog paketa

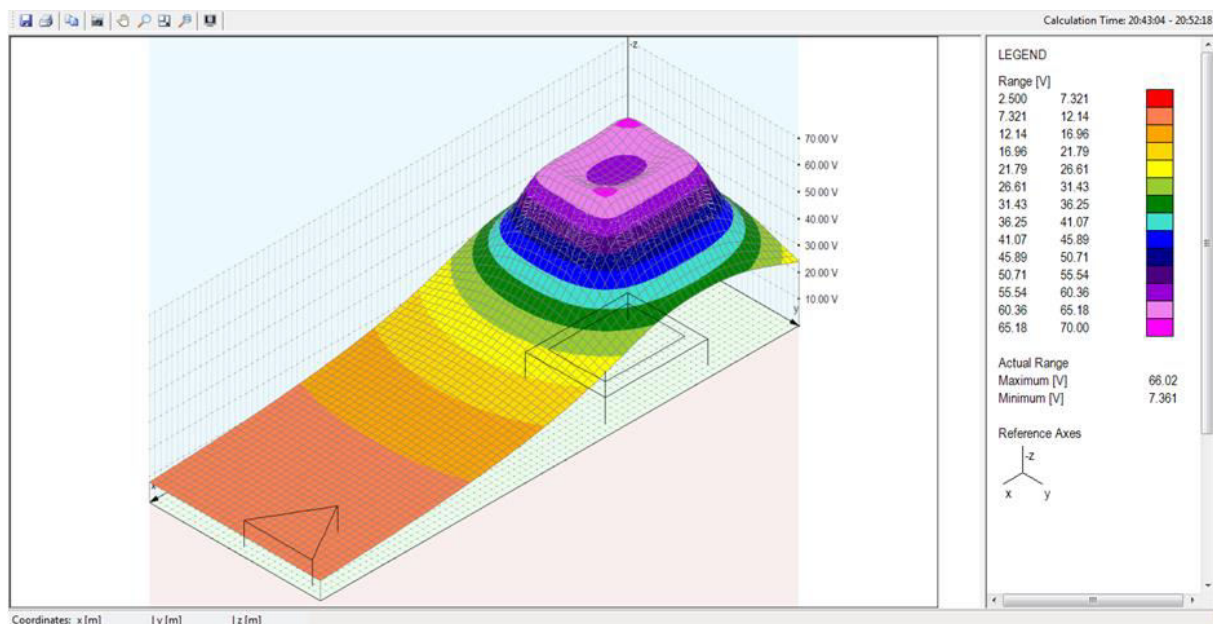
Tabela 2. Rezultati proračuna dobijeni primenom profesionalnog softverskog paketa

Međusobni razmak uzemljivača d (m)	Otpor sistema uzemljenja (Ω)	Potencijali uzemljivača (V)		Struje odvođenja (A)	
		zaštitni	radni	zaštitni	radni
20	11,2	74,34	9,37	6,64	0

Primetno je da nema većih odstupanja u odnosu na prethodno prikazani proračun. Grafičke predstave su prikazane na Slikama 6 i 7. Takođe se vidi da nema većih razlika u odnosu na prethodni proračun. Posebno je interesantna opcija softvera gde se može prikazati trodimenzionalna raspodela potencijala na tlu iznad uzemljivača (Slika 7).



Slika 6. Raspodela potencijala po pravcu i potencijal uzemljivača



Slika 7. Raspodela potencijala na tlu iznad uzemljivača

6. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena analiza raspodele potencijala na površini tla iznad uzemljivača distributivne transformatorske stanice. Konkretno, rad razmatra međusobni uticaj radnog i zaštitnog uzemljenja distributivne transformatorske stanice. Mreža na visokonaponskoj strani radi kao izolovana. U radu je pokazano kako da prilikom zemljospoja pri kojem je struja 6,64 A zaštitno uzemljenje ne dođe na opasan potencijal koji bi ugrozio živa bića na tlu unutar i u okolini transformatorske stanice. Naponi zaštitnog i radnog uzemljivača su manji od 80 V što je dozvoljeni napon uzemljivača za vreme isključenja kvara od 1,5 s. Proračun je izvršen na dva načina pomoću programa realizovanog na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu na bazi programske platforme zasnovane na tabelarnom pristupu, odnosno pomoću profesionalnog softvera za proračun uzemljivačkih sistema zasnovane na platformi konačnih elemenata. Razlike u rezultatima koji su dobijene na pomenuta dva načina su zanemarljive.

LITERATURA

- [1] J. Nahman, V. Mijailović, „Razvodna postrojenja“, Akademska misao, Beograd, 2015.
- [2] Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica, "Službeni list SRJ", broj 37 od 11. avgusta 1995.
- [3] IEC EN 50522: "Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c", Edition 2010.
- [4] D. Salamon, "Grounding System Analysis of Facility for the Water Purification in Prizren, Kosovo^{**}", Elaborat, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2019.
- [5] XGSLab, User Manual, SINT Ingegneria, Italija, 2018.