



**СТРУЧНИ РАД - ПРИКАЗ МАСТЕР РАДА**  
**ФОРМУЛАР ЗА ПРЕДАЈУ РАДА ( ИЗ ОБЛАСТИ МАСТЕР РАДА МАСТЕР**  
**ЗА СТРУКОВНЕ СТУДИЈЕ)**

Студијски програм/модул:

МСС Електротехника и рачунарство/Електроенергетика

**НАСЛОВ РАДА:** Анализа могућности изградње јавног осветљења пешачке  
стазе у заштитном појасу високонапонског далековода

Ментор рада:

\_\_\_\_\_

(потпис ментора)

Кандидат:

Презиме:

Рошуљ

Име:

Бранислав

Број индекса:

1556/2023

\_\_\_\_\_

(потпис кандидата)

Датум: 05.07.2024

# ANALIZA MOGUĆNOSTI IZGRADNJE JAVNOG OSVETLJENJA PEŠAČKE STAZE U ZAŠTITNOM POJASU VISOKONAPONSKOG DALEKOVODA

*Dragan Brajović<sup>1</sup>, Branislav Rošulj<sup>2</sup>*

## **REZIME**

Kvalitet javne infrastrukture je vrlo bitan za normalan život i rad stanovništva. Bitan segment javne infrastrukture je i osvetljenje javnih površina. Pri projektovanju osvetljenja javnih površina može doći do raznih problema za koje treba pronaći rešenje. Jednim takvim problemom će se baviti i ovaj rad, a to je analiza mogućnosti izgradnje javnog osvetljenja pešačke staze za deo ulice od Šimanovaca do Novog Naselja (u daljem tekstu trasa javnog osvetljenja pešačke staze) u zaštitnom pojasu dalekovoda 400kV DV 450 RP Mladost - TS Novi Sad 3 (u daljem tekstu DV 450). U radu će biti predstavljeni proračuni napona dodira i koraka u okolini trase javnog osvetljenja pešačke staze za slučaj zemljospoja na stubu DV450, na osnovu kojih će biti iznešeno mišljenje o mogućnosti izgradnje trase javnog osvetljenja pešačke staze u zaštitnom pojasu dalekovoda na osnovu proračuna.

**Ključne reči:** javno osvetljenje, dalekovod, zemljospoj, napon koraka, napon dodira, analiza.

## ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF BUILDING PUBLIC LIGHTING OF THE PEDESTRIAN PATH IN THE PROTECTIVE BELT OF THE HIGH-VOLTAGE TRANSMISSION LINE

### **ABSTRACT**

The quality of public infrastructure is very important for the normal life and work of the population. Lighting of public areas is an important segment of public infrastructure. When designing the lighting of public areas, there may be various problems for which a solution should be found. One such problem will be dealt with in this paper, which is the analysis of the possibility of building public lighting of the pedestrian path for the part of the street from Šimanovci to Novi Naselje (hereinafter the route of public lighting of the pedestrian path) in the protection zone of the transmission line 400kV DV 450 RP Mladost - TS Novi Sad 3 (hereinafter DV 450). The paper will present the calculations of touch and step voltages in the vicinity of the public lighting route of the pedestrian path in the event of an earth fault on the DV450 pole, based on which an opinion will be expressed about the possibility of building a public lighting route of the pedestrian path in the protection belt of the transmission line based on the calculations.

**Key words:** public lighting, transmission line, earth fault, step voltage, touch voltage, analysis

---

<sup>1</sup>Visoka škola tehničkih strukovnih studija, Svetog Save 65, Čačak

<sup>2</sup>Centar za zaštitu i nženjering doo, Vladike Ćirića 30, Novi Sad

## **1. UVOD**

Problematika izgradnje trase javnog osvetljenja pešačke staze u zaštitnom pojasu dalekovoda DV 450 se ogleda u određivanju uticaja istog za slučaj zemljospoja na trasu javne rasvete. Analiza o mogućnosti izgradnje se prvenstveno vrši radi sigurnosti ljudi koji će se svakodnevno nalaziti u zoni trase javnog osvetljenja pešačke staze. Za slučaj zemljospoja na dalekovodu praktično je potrebno odrediti dva najvažnija parametra: napon koraka i napon dodira u okolini trase javnog osvetljenja pešačke staze.

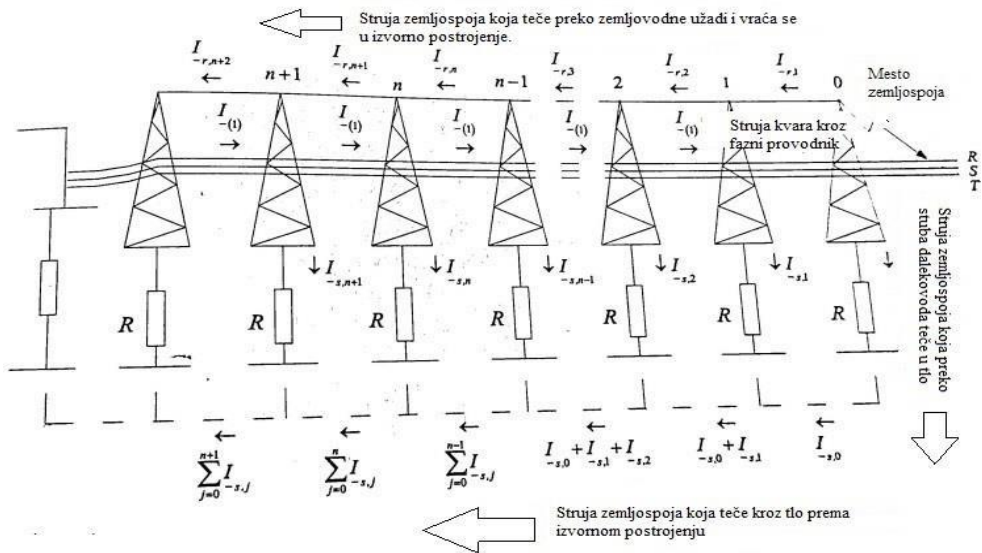
## **2. UTICAJ DV 450 400 kV NA TRASU JAVNOG OSVETLJENJA PEŠAČKE STAZE PRI ZEMLJOSPOJU NA ISTOM**

U ovom poglavlju će teoretski i računski biti predstavljen uticaj dalekovoda DV 450 RP Mladost - TS Novi Sad 400 kV na trasu javnog osvetljenja pešačke staze. Tj. biće izračunati naponi koraka i dodira u zoni trase javnog osvetljenja pešačke staze pri zemljospoju na stubu broj 200 dalekovoda DV 450 RP Mladost - TS Novi Sad 400 kV. Takođe će biti predstavljena i računski potvrđena značajna uloga zaštitne užadi dalekovoda u odvođenju struje kvara.

### **2.1. Raspodela struja kvara duž dalekovoda**

Nadzemni vodovi mogu značajno da utiču na karakteristike uzemljivačkih sistema pri zemljospoju i zato ih uvek treba uzimati u obzir pri proračunu struje koja se odvodi u tlo. Značajan deo struje zemljospoja se odvodi preko zaštitne užadi nadzemnih vodova čime se smanjuje struja koja se odvodi u tlo sa uzemljivača stuba. Smanjivanjem struje koja se odvodi u tlo, smanjuju se i opasni naponi koraka i dodira u okolini stuba na kom se desio zemljospoj. Na slici 1. je predstavljena raspodela struja duž zemljovodnog užeta za slučaj jednofaznog zemljospoja. Zato je potrebno odrediti visine potencijala za slučaj zemljospoja u okolini stuba DV 450 400 kV koji je najbliži trasi javnog osvetljenja pešačke staze, takođe i na celoj trasi javnog osvetljenja pešačke staze.

Prilikom nastanka zemljospoja na dalekovodu, na okolnim električnim instalacijama i metalnim masama javlja se uticaj naponskog levka (nastalog odvođenjem dela struje kvara u tlo). Usled odvođenja dela struje kvara u tlo, stvaraju se opasne razlike potencijala (po život čoveka) na površini istog. Zbog toga se moraju predvideti naponi koraka i dodira u zoni naponskog levka.

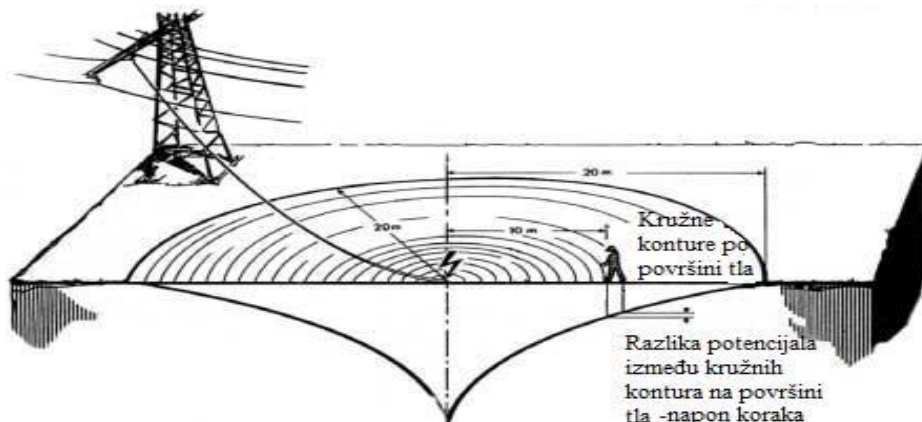


Slika 1: Raspodela struje duž zemljovodnog užeta za slučaj jednofaznog zemljospoja

## 2.2. Raspodela potencijala u okolini stuba dalekovoda prilikom zemljospoja

Pri zemljospoju na dalekovodu deo struje zemljospoja se kroz uzemljivač stuba odvodi u tlo. Oko stuba se na tlu stvara potencijal koji opada sa udaljenjem od stuba. Kriva potencijala u funkciji udaljenosti od stuba je poznata pod nazivom naponski levak. Na površini zemlje se manifestuje u obliku kruga. Sve metalne mase i električne instalacije koje se nalaze u naponskom levku, a nisu izolovane dolaze pod uticaj naponskog levka. Pored ovoga na površini tla se javljaju naponi koraka i dodira koji su opasni po život čoveka. Ovo znači da svaka metalna masa i električna instalacija koja se nalazi u blizini stuba dolazi na potencijal najbliže tačke u odnosu na stub. Na slici 2. je predstavljena skica naponskog levka u slučaju jednofaznog zemljospoja na stubu dalekovoda.

Iz svega gore navedenog se može zaključiti da će se trasa jame rasvete pešačke staze nalaziti u naponskom levku pri zemljospoju na stubu broj 200. DV 450 400 kV.



Slika 2: Skica naponskog levka u slučaju jednofaznog kratkog spoja na stubu dalekovoda

### 2.3. Proračun struje zemljospoja koja se sa uzemljivača stuba broj 200. DV450 odvodi u tlo

Kao što je navedeno u delu 2.1. prilikom zemljospoja na stubu broj 200. DV 450 400 kV javlja se uticaj naponskog levka prilikom odvođenja struje kvara u tlo. Naponski levak obuhvata celu trasu javnog osvetljenja pešačke staze, zbog toga je potrebno odrediti napone koraka i dodira u zoni iste. Prvi korak pri određivanju vrednosti napona koraka i dodira je proračun vrednosti struje koja se odvodi u tlo sa stuba broj 200. DV 450 400 kV. U nastavku sledi proračun struje kvara koja se odvodi u tlo sa stuba broj 200 DV 450.

Prosečan raspon između stubova se proračunava prema izrazu (1) iznosi:

$$L_s = \frac{L}{N_s - 1} = \frac{92380}{266 - 1} = 348,60\text{m} \quad (1)$$

Gde je:

$L_s$  – Prosečan raspon između stubova (m).

$L$  – Ukupna dužina trase dalekovoda (km).

$N_s$  – Ukupan broj stubova.

Vrednosti za  $L$  i  $N_s$  su preuzeti iz tehničke dokumentacije DV 450.

Rastojanje od postrojenja TS Novi Sad 3 do stuba broj 200. DV 450 na kome je došlo do zemljospoja proračunava se prema izrazu (2):

$$X_k = (N_k - 1) \cdot L_s = (200 - 1) \cdot 348,60 = 69.371,4\text{m} \quad (2)$$

Gde je:

$X_k$  – Rastojanje od postrojenja 1 (na početku voda) do stuba na kome se dogodio kvar (m).

$N_k$  – Broj stuba na kom se dogodio kvar.

$L_s$  – Prosečan raspon između stubova (m).

Vrednost  $X_k$  može da se preuzme iz tehničke dokumentacije DV 450 i ono iznosi 70.016m.

Procentualno rastojanje od postrojenja TS Novi Sad 3 do stuba broj 200 dalekovoda DV 450 na kome se dogodio kvar proračunava se prema izrazu (3):

$$x_k(\%) = \frac{X_k}{L} \cdot 100\% = \frac{69.3714}{92.380} \cdot 100\% = 75,09\% \quad (3)$$

Gde je:

$x_k(\%)$  – Procentualno rastojanje od postrojenja 1 do stuba na kome se dogodio kvar (%).

$X_k$  – Rastojanje od postrojenja 1 (na početku voda) do stuba na kome se dogodio kvar (m).

$L$  – Ukupna dužina trase dalekovoda (km).

Struje koje napajaju mesto kvara na stubu broj 200. DV 450 iz TS Novi Sad 3 i RP Mladost proračunavaju se prema izrazima (4) i (5):

$$I_{kTS\ NS3} = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x_2 - x_1) = 4,73 + \frac{3,96 - 4,73}{80 - 70} \cdot (80 - 70) = 3,96 \text{ kA} \quad (4)$$

Gde je:

$I_{kTS\ NS3}$  – Struja kojom postrojenje 1 (na početku voda) napaja mesto kvara (kA).

$y_1$  i  $y_2$  – Struje kvara iz postrojenja 1 koje odgovaraju procentualnim rastojanjima -  $x_1$  i  $x_2$  od početka voda (kA).

$x_1$  i  $x_2$  – Opseg procentualnih vrednosti (%).

$$I_{kRP\ ML} = y'_1 + \frac{y'_2 - y'_1}{x_2 - x_1} \cdot (x_2 - x_1) = 8,91 + \frac{11,22 - 8,91}{80 - 70} \cdot (80 - 70) = 11,22 \text{ kA} \quad (5)$$

Gde je:

$I_{kRP\ ML}$  – Struja kojom postrojenje 2 (na početku voda) napaja mesto kvara (kA).

$y'_1$  i  $y'_2$  – Struje kvara iz postrojenja 2 koje odgovaraju procentualnim rastojanjima  $x_1$  i  $x_2$  (kA).

$x_1$  i  $x_2$  – Opseg procentualnih vrednosti (%).

Na osnovu dobijene vrednosti  $x_k$  (%) i tabele raspodela subtranzijentne struje jednofaznog kratkog spoja duž DV 450 određeni su opsezi procentualnih vrednosti  $x_1$  i  $x_2$ . Nakon određivanja opsega  $x_1$  i  $x_2$  izvršena je interpolacija i na osnovu datih izraza određene su struje kojima postrojenja RP Mladost i TS Novi Sad 3 napajaju kvar na stubu broj 200. DV 450.

Ukupna subtranzijentna vrednost struje kvara pri zemljospoju stubu DV 450 broj 200. proračunava se prema izrazu (6):

$$I_k = I_{kTS\ NS3} + I_{kRP\ ML} = 3,96 + 11,22 = 15,18 \text{ kA} \quad (6)$$

Gde je:

$I_k$  – Ukupna subtranzijentna vrednost struje kvara pri zemljospoju na stubu Nk (kA)

$I_{kRP\ ML}$  – Struja kojom postrojenje 1 (na početku voda) napaja mesto kvara (kA).

$I_{kTS\ NS3}$  – Struja kojom postrojenje 2 (na kraju voda) napaja mesto kvara (kA).

Prividna dubina povratnog puta kroz zemlju proračunava se prema izrazu (7):

$$D_e = 658 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{f}} = 658 \cdot \sqrt{\frac{100}{50}} = 930,55 \text{ m} \quad (7)$$

Gde je:

$D_e$  – Dubina povratnog puta kroz zemlju (m).

$\rho$  – Specifični otpor tla 100 ( $\Omega\text{m}$ ).

$f$  – Frekvencija voda (Hz).

Ekvivalentni poluprečnik užeta proračunava se prema sledećem izrazu (8):

$$r_e = \sqrt{r_1 \cdot d_z} = \sqrt{0,00725 \cdot 19} = 0,371 \text{ m} \quad (8)$$

Gde je:

$r_e$  – Ekvivalentni poluprečnik zaštitnog užeta (m).

$r_1$  – Stvarni poluprečnik jednog zaštitnog užeta (m).

$d_z$  – Međusobno rastojanje zaštitne užadi na stubu (m).

Karakteristike zaštitnog užeta 19No9AWG su preuzete sa interneta podatak o međusobnom rastojanju između zaštitne užadi  $d_z$  je preuzet iz tehničke dokumentacije DV450.

Spoljašnji prečnik  $d = 14.5 \text{ mm}$ ,

Otpor na  $20^\circ\text{C}$  je  $0.6821 \text{ } \Omega/\text{km}$ .

Relativna magnetna permabilnost  $\mu_r = 20$

Sopstvena impedansa zaštitnih užadi proračunava se prema sledećem izrazu (9):

$$Z_{zu} = 0,05 + \frac{R_1}{2} + j(0,0628 \text{Log} \frac{D_e}{r_e} + 0,016 \cdot \mu_r) = \quad (9)$$

$$0,05 + \frac{0,6821}{2} + j(0,0628 \text{Log} \frac{930,55}{0,371} + 0,016 \cdot 20) = 0,391 + j0,533 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$Z_{zu} = \sqrt{0,391^2 + 0,533^2} = 0,661 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Gde je:

$Z_{zu}$  – Sopstvena impedansa jednog zaštitnog užeta ( $\Omega/\text{km}$ ).

$R_1$  – Podužna otpornost zaštitnog užeta (za dva zaštitna užeta uzima se  $R_1/2$ ) ( $\Omega/\text{km}$ ).

$D_e$  – Dubina povratnog puta kroz zemlju (m).

$r_e$  – Ekvivalentni poluprečnik zaštitnog užeta (m).

$\mu_r$  – Relativna magnetska permeabilnost zaštitnog užeta.

Srednje geometrijsko rastojanje zaštitnih užadi i faznih provodnika se proračunava prema sledećem izrazu (10):

$$d_m = (AZ_1 \cdot BZ_1 \cdot CZ_1 \cdot AZ_2 \cdot BZ_2 \cdot CZ_2)^{1/6} = \quad (10)$$

$$(6,39 \cdot 11,13 \cdot 22,46 \cdot 22,46 \cdot 11,13 \cdot 6,39)^{1/6} = 11,68 \text{ m}$$

Gde je:

-A – Fazni provodnik.

-B – Fazni provodnik.

-C – Fazni provodnik.

-Z1 – Zaštitno uže.

-Z2 – Zaštitno uže.

-AZ1 – Rastojanje faznog provodnika od zaštitnog užeta.

-BZ1 – Rastojanje faznog provodnika od zaštitnog užeta

-CZ1 – Rastojanje faznog provodnika od zaštitnog užeta.

-AZ2 – Rastojanje faznog provodnika od zaštitnog užeta.

-BZ2 – Rastojanje faznog provodnika od zaštitnog užeta.

-CZ2 – Rastojanje faznog provodnika od zaštitnog užeta.

Na slici 3. su prikazane pozicije faznih provodnika i zaštitne užadi na stubu dalekovoda. Vrednosti su proračunate na osnovu tehničke dokumentacije DV 450. (rastojanja užadi na stubu dalekovoda DV 450.)





Slika 3: Pozicije zaštitnih provodnika i zaštitne uži na stubu dalekovoda

Međusobna impedansa zaštitnih uži i faznih provodnika proračunava se prema sledećem izrazu (11):

$$\underline{Z}_m = 0,05 + j0,1445 \text{Log} \frac{D_e}{d_m} = 0,05 + j0,1445 \text{Log} \frac{930,55}{11,68} = 0,05 + j 0,275 \Omega/\text{km} \quad (11)$$

$$Z_m = \sqrt{0,05^2 + 0,275^2} = 0,279 \Omega/\text{km}$$

Gde je:

$\underline{Z}_m$  – Međusobna impedansa zaštitnog užeta i faznih provodnika ( $\Omega/\text{km}$ ).

$D_e$  – Dubina povratnog puta kroz zemlju (m).

$d_m$  – Srednje geometrijsko rastojanje zaštitnih uži i faznih provodnika (m).

Ekvivalentna impedansa zaštitnih uži i svih otpora uzemljenja stubova povezanih sa zaštitnim užetom koja se vidi levo i desno od mesta kvara pa do kraja voda proračunava se prema sledećim izrazima (12), (13):

$$Z_e = \frac{Z_{zu}}{2} + (Z_{zu} \cdot R_s)^{1/2} = \frac{0,661}{2} + (0,661 \cdot 5)^{1/2} = 2,14 \Omega/\text{km} \quad (12)$$

$$Z_e = Z_{zu} \cdot \frac{L_s}{2} + (Z_{zu} \cdot L_s \cdot R_s)^{1/2} = \quad (13)$$

$$0,661 \cdot \frac{0,348}{2} + (0,661 \cdot 0,348 \cdot 5)^{1/2} = 1,18 \Omega/\text{km}$$

Gde je:

$\underline{Z}_e$  – Ekvivalentna impedansa zaštitnog užeta i svih otpora uzemljenja stubova povezanih sa zaštitnim užetom koja se vidi levo i desno od mesta kvara pa do kraja voda ( $\Omega/\text{km}$ ).

$\underline{Z}_{zu}$  – Impedansa jednog zaštitnog užeta ( $\Omega$ ).

$R_s$  – Prosečna otpornost stubova duž trase voda ( $\Omega$ ).

$L_s$  – Prosečan raspon između stubova (m).

Redukcioni faktor zaštitne uži proračunava se prema sledećem izrazu (14):

$$r_m = 1 - \frac{Z_m}{Z_{zu}} = 1 - \frac{0,279}{0,661} = 0,578 \quad (14)$$

Gde je:

$r_m$  – Redukcioni faktor zaštitne užadi.

$Z_m$  – Međusobna impedansa zaštitnog užeta i faznih provodnika ( $\Omega$ ).

$Z_{zu}$  – Ekvivalentna impedansa zaštitne užadi i svih otpora uzemljenja stubova povezanih sa zaštitnom užadi ( $\Omega$ ).

Struja koja se preko uzemnjivača odvodi u tlo proračunava se prema sledećem izrazu (15):

$$I_u = r_m \cdot (I_{kTS\ NS3+} + I_{kRP\ ML}) \cdot \underline{Z}_e / (Z_e + R_s) = 0,587 \cdot 15,18 \cdot 1,18 / (1,18 + 5) = 1701,39A \quad (15)$$

Gde je:

$I_u$  – Struja koja se preko uzemnjivača odvodi u zemlju (kA).

$r_m$  – Redukcioni faktor zaštitne užadi.

$I_{k1}$  – Struja kojom postrojenje 1 (na početku voda) napaja mesto kvara (kA).

$I_{k2}$  – Struja kojom postrojenje 2 (na kraju voda) napaja mesto kvara (kA).

$Z_e$  – Ekvivalentna impedansa zaštitnog užeta i svih otpora uzemljenja stubova povezanih sa zaštitnim užetom koja se vidi levo i desno od mesta kvara pa do kraja voda ( $\Omega/km$ ).

$R_s$  – Prosečna otpornost stubova duž trase voda ( $\Omega$ ).

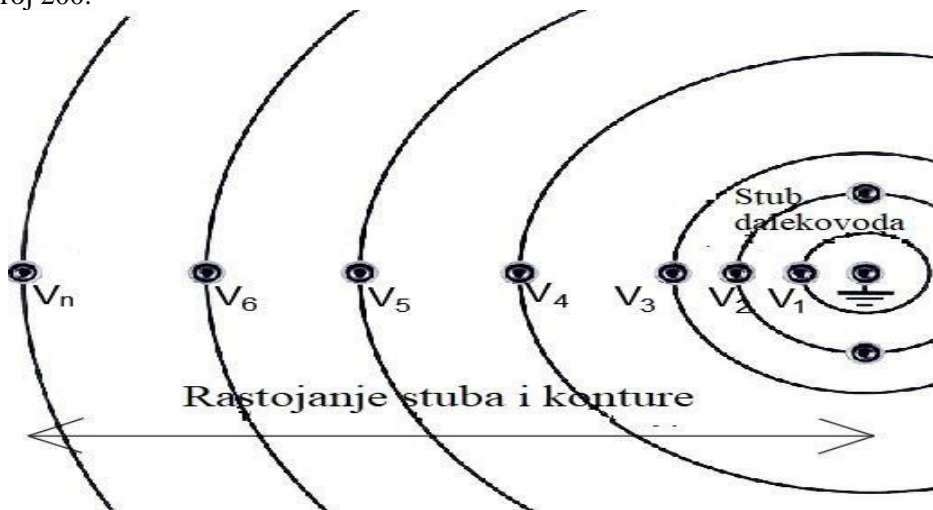
Kao što je rečeno u delu 2.1. znatni deo struje zemljospoja se odvodi preko zemljovodne užadi u izvorno postrojenje, što je i prikazano u dosadašnjem proračunu. Svega 11,2% (1,7 kA) od ukupne vrednosti struje zemljospoja (15,18 kA) se odvodi u tlo preko uzemljivača stuba broj 200.

#### **2.4. Proračun raspodele potencijala u okolini trase javnog osvetljenja pri uslovima zemljospoja na stubu broj 200. DV450**

Nakon određivanja vrednosti struje zemljospoja koja se odvodi u tlo sa stuba dalekovoda DV 450 400 kV mogu se proračunati naponi dodira i koraka u zoni trase javnog osvetljenja pešačke staze. Naponi koraka i dodira će biti proračunati za početak i kraj trase javnog osvetljenja pešačke staze, kao i za stub broj 6. koji je najbliži tasi dalekovoda 400 kV.

Proračun raspodele potencijala u okolini stuba broj 200. DV450 400 kV prilikom zemljospoja ogleda se u tome da se prvo proračunaju potencijali kružnih kontura na površini tla oko stuba, i na osnovu njih odrede naponi dodira i koraka u okolini objekta izgradnje. Na slici 4. su prikazane kružne konture koje su na istim potencijalima, a u centru je stub dalekovoda. Na slikama 5. i 6. preuzetim sa "sajta

Google maps” date udaljenosti trase javnog osvetljenja od trase DV450 400 kV, kao i zamišljene kružne konture na tlu. (Na slici broj 5. predstavljena je udaljenost prvog i poslednjeg stuba javne rasvete pešačke staze od centra stuba dalekovoda koja iznosi 150m, dok je na slici broj 6 . predstavljena udaljenost najbližeg stuba javne rasvete stubu dalekovoda koja iznosi 37m.) U radu će biti predstavljeni glavni proračuni napona dodira i koraka, tj. za početak i kraj trase javnog osvetljenja, kao i u zoni najbližeg stuba broj 6. javne rasvete stubu DV450 400 kV broj 200.



Slika 4: Skica kružnih kontura po površini tla



Slika 5: Konture na površini tla u okolini prvog i poslednjeg stuba javne rasvete u odnosu na stub dalekovoda



*Slika 6: Konture na površini tla u okolini najbližeg stuba trase javnog osvetljenja stubu dalekovoda*

U nastavku izlaganja će biti predstavljene formule pomoću kojih će se proračunati naponi koraka i dodira u zoni trase javnog osvetljenja pešačke staze za slučaj zemljospoja na DV 450 400 kV.

Raspodela potencijala uzemljivača po kružnim konturama oko stuba koje se nalaze na nekoj udaljenosti od centra stuba (16).

$$V_x = \frac{1}{1 + (2\pi \frac{R_s}{\rho}) \cdot x} R_s \cdot I_u \quad (16)$$

Gde je:

$V_x$  – Potencijal kružne konture na površini tla za udaljenosti "x" od centra stuba (V).

$R_s$  – Otpor rasprostiranja uzemljivača ( $\Omega$ ).

x – Rastojanje od stuba do konture (m).

$I_u$  – Struja koja se preko uzemnjivača odvodi u tlo (kA).

Napon dodira.

Napon dodira (17) je deo napona tj. potencijalne razlike uzemljenja nastale usled zemljospoja, koji može premostiti čovek uz pretpostavku da struja kroz ljudsko telo teče od ruke prema stopalu (vodoravni razmak od dodirnog dela je 1m).

$$U_d = \frac{E_d}{1 + 0,0015 \cdot \rho} \leq U_{doz} \quad (17)$$

Gde je:

$U_d$  – Napon dodira (V).

$E_d$  – Potencijalna razlika između metalnog dela objekta i stajališta (V).

$U_{doz}$  – Dozvoljeni napon dodira (V).

$\rho$  – Specifični otpor tla 100 ( $\Omega m$ ).

$E_d$  je potencijalna razlika između metalnog dela objekta i stajališta, a koje se može premostiti dodiranjem pri čemu su stopala udaljena 1m od pristupačnog metalnog dela.

Napon koraka.

Napon koraka (18) je deo napona tj. potencijalne razlike uzemljenja nastale usled zemljospoja koji može premostiti čovek pri koraku od 1m, uz pretpostavku da struja kroz ljudsko telo teče od jednog stopala prema drugom stopalu.

$$U_k = \frac{E_k}{1 + 0,006 \cdot \rho} \leq U_{doz} \quad (18)$$

Gde je:

$U_k$  – Napon koraka (V).

$E_k$  – Potencijalna razlika koja na površini tla može da se premosti korakom dužine 1m (V).

$U_{doz}$  – Dozvoljeni napon dodira (V).

$\rho$  – Specifični otpor tla 100 ( $\Omega m$ ).

$E_k$  je potencijalna razlika koja na površini tla može da se premosti korakom dužine 1m.

Razlika potencijala na mestu provere (19),(20)

$$E_d = E_k = V_x - V_{x+1} \quad (19)$$

$$E_d = E_k = V_{x-1} - V_x \quad (20)$$

Gde je:

$E_d$  – Potencijalna razlika između metalnog dela objekta i stajališta (V).

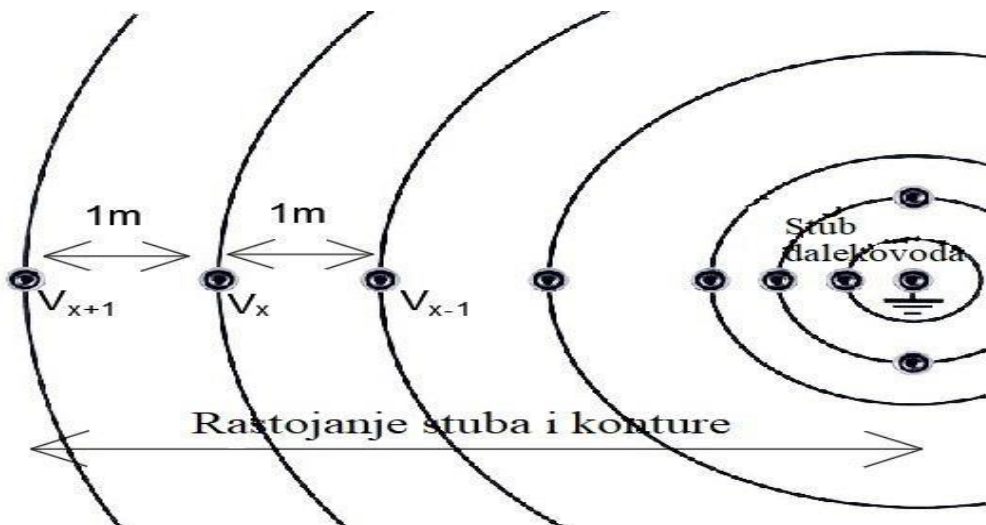
$E_k$  – Potencijalna razlika koja na površini tla može da se premosti korakom dužine 1,0m (V).

$V_x$  – Potencijal kružne konture na površini tla na udaljenosti "x" od centra stuba (V).

$V_{x+1}$  – Potencijal kružne konture na površini tla na 1m od  $V_x$  (V).

$V_{x-1}$  – Potencijal kružne konture na površini tla na 1m od  $V_x$  i 2m od  $V_{x+1}$  (V).

Na slici 7. su predstavljene kružne konture na površini tla  $V_{x-1}$ ,  $V_{x+1}$  i  $V_x$



Slika 7: Skica kružnih kontura po površini tla  $V_x$ ,  $V_{x-1}$  i  $V_{x+1}$

Maksimalno dozvoljeni napon (21)

Naponi dodira i koraka moraju da budu manji od maksimalno dozvoljenog napona. Vreme  $t$  trajanja zemljospoja određuje se za uslove normalnog delovanja zaštitnih uređaja i prekidača.

$$U_{\text{doz}} = \begin{cases} 1000V & t \leq 0,075s \\ \frac{75}{t} V & 0,075 < t \leq 1,153s \\ 65V & t \geq 1,153s \end{cases} \quad (21)$$

Prema Pravilima o radu prenosnog sistema "Službeni glasnik RS", broj 79 od 29. jula 2014. vremena isključenja kvarova iznose:

Električno udaljeni kvarovi na dalekovodima, kao i kvarovi na susjednim sabirnicama, isključuju se po pravilu u drugom stepenu distantne zaštite, a vremena isključenja maksimalno iznose:

- 350 ms u 400 kV prenosnoj mreži, ukoliko se ne koristi sistem za jednovremeno isključenje zaštite, odnosno 100 ms ako se koristi ovaj sistem.

U nastavku slede vrednosti proračunate na osnovu gore navedenih formula:

Napon dodira i koraka u okolini prvog i poslednjeg stuba (slika 5.) trase javnog osvetljenja u slučaju zemljospoja na stubu broj 200 DV 450:

$$U_{\text{doz}} = 214,29V$$

$$U_d = 0,99 V \leq 214,29 V$$

Napon dodira je proračunat između konture levo  $V_{150+1m}$  u odnosu na prvac trase javnog osvetljenja i konture  $V_{150m}$  koji može da se premosti dodirom stuba javnog osvetljenja.

$$U_d = 1 \text{ V} \leq 214,29 \text{ V}$$

Napon dodira je proračunat između konture desno  $V_{150-1m}$  u odnosu na prvac trase javnog osvetljenja i konture  $V_{150m}$  koji može da se premosti dodirom stuba javnog osvetljenja.

$$U_k = 0,712 \text{ V} \leq 214,29 \text{ V}$$

Napon koraka je proračunat između konture levo  $V_{150+1m}$  u odnosu na prvac trase javnog osvetljenja i konture  $V_{150m}$  koji može da se premosti korakom.

$$U_k = 0,725 \text{ V} \leq 214,29 \text{ V}$$

Napon koraka je proračunat između konture desno  $V_{150-1m}$  u odnosu na prvac trase javnog osvetljenja i konture  $V_{150m}$  koji može da se premosti korakom.

Vrednosti napona dodira i koraka su mnogo manji od maksimalno dozvoljene vrednosti napona  $U_{doz} = 214,29 \text{ V}$ .

Napon dodira i koraka u okolini stuba 6. javne rasvete (slika 6.) koji je najbliži stubu broj 200. DV 450 za slučaj zemljospoja na istom:

$$U_{doz} = 214,29 \text{ V}$$

$$U_d = 14,23 \text{ V} \leq 214,29 \text{ V}$$

Napon dodira je proračunat između konture levo  $V_{37+1m}$  u odnosu na prvac trase javnog osvetljenja i konture  $V_{37m}$  koji može da se premosti dodirom stuba javnog osvetljenja

$$U_d = 14,94 \text{ V} \leq 214,29 \text{ V}$$

Napon dodira je proračunat između konture desno  $V_{37-1m}$  u odnosu na prvac trase javnog osvetljenja i konture  $V_{37m}$  koji može da se premosti dodirom stuba 6. javnog osvetljenja

$$U_k = 10,23 \text{ V} \leq 214,29 \text{ V}$$

Napon koraka je proračunat između konture levo  $V_{30+1m}$  u odnosu na prvac trase javnog osvetljenja i konture  $V_{30m}$  koji može da se premosti korakom

$$U_k = 10,74 \text{ V} \leq 214,29 \text{ V}$$

Napon koraka je proračunat između konture desno  $V_{150-1m}$  u odnosu na prvac trase javnog osvetljenja i konture  $V_{150m}$  koji može da se premosti korakom.

Vrednosti napona dodira i koraka su mnogo manji od maksimalno dozvoljene vrednosti napona  $U_{doz} = 214,29 \text{ V}$ .

### 3. ZAKLJUČAK

Sagledavanjem svih proračuna, može se zaključiti da su naponi dodira i koraka u zoni trase javnog osvetljenja pešačke staze višestruko manji od dozvoljenog maksimalnog napona  $U_d$  u uslovima zemljospoja na stubu broj 200. DV 450 400 kV. Isto tako se može se zaključiti da nije potrebno određivati napone dodira i koraka za svaki stub javnog osvetljenja pešačke staze pojedinačno, pošto su na prvom i poslednjem stubu (koji su na istim potencijalima) naponi koraka i dodira višestruko manji od dozvoljenog, kao i na stubu broj 6. koji je najbliži stubu broj 200. DV 450 400 kV. Takođe je proračunima dokazan veliki značaj zaštitne užadi na dalekovodu, tj. da se znatan deo struje zemljospoja odvodi u izvorno postrojenje preko istih, a svega mali deo odvodi u tlo. Odvođenjem manjeg dela struje zemljospoja u tlo osiguravaju se dozvoljeni naponi koraka i dodira u zoni trase javnog osvetljenja pešačke staze, a time i sigurnost ljudi koji će se svakodnevno nalaziti u zoni trase javnog osvetljenja pešačke staze. Nakon svega iznesenog može se zaključiti da je izgradnja trase javnog osvetljenja pešačke staze u zaštitnom pojasu DV 450 400 kV moguća.

### 4. LITERATURA

1. Specijalne električne instalacije - Z. Radaković, M. Jovanović - 2008. godine.
2. Razvodna Postrojenja Jovan Nahman, Vladica Mijailović, drugo prerađeno i prošireno izdanje. AKADEMSKA MISAO, Beograd, 2015. godine.
3. Sto rešenih zadataka iz analize elektroenergetskih sistema, Nikola Rajković, Predrag Stefanov, Milan Čalović i Aleksandar Savić, Beograd 2002. godine.
4. INFOTEH-JAHORINA Vol. 12, March 2013. Raspodjela potencijala u okolini stubnog uzemljivača pri odvođenju struje jednofaznog kvara, Milan Ivezić, Emilija Kisić, Aleksandar Jovanović. Visoka škola elektrotehnike i računarstva Beograd, Srbija.
5. Doktorska disertacija, MODELOVANJE IMPEDANSE ZEMLJE KAO POVRATNOG PROVODNIKA, mr Karolina Kasaš-Lažetić, UNIVERZITET U NOVOM SADU FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA, Departman za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, Novi Sad, 2015.
6. Elaborat o mogućnosti izgradnje-projektovanja poslovnog objekta-auto salona na k.p. 10753/33 K.O. Novi Sad I, IEE d.o.o. Mičurinova 8, 21000 Novi Sad, Novi Sad 2022. godine.
7. PROJEKAT ELEKTROENERGETSKIH INSTALACIJA. NADZEMNA NN MREŽA Javno osvetljenje pešačke staze za deo ulice od Šimanovaca do Novog Naselja KP 551/31, KO Šimanovci, Centar za zaštitu i inženjering doo, Vladike Čirića 30, 21000 Novi Sad, Novi Sad 2022. godine.
8. TEHNIČKI ELABORAT, Nadzemna niskonaponska mreža - Javno osvetljenje pešačke staze za deo ulice od Šimanovaca do Novog Naselja, Centar za zaštitu i inženjering, Vladike Čirića 30, 21000 Novi Sad, Novi Sad 2024. godine.
9. Tehnička dokumentacija DV 450, Akcionarsko društvo Elektromreža Srbije