

# Dodatak I

## Uticaj jonizacije tla

Koautor: Tomislav Rajić

### I.1 Uvodne napomene i numerički proračun

Cilj projektnog zadatka na osnovu koga je ovaj primer pripremljen je bio da se proveri u kojoj meri je dalekovod koji prolazi kroz planinske predele sa izrazito kamenitom podlogom ugrožen od preskoka na izolatorskim lancima prilikom atmosferskog pražnjenja. Mesto pražnjenja je varirano duž raspona između dva stuba pri statističkom proračunu koristeći pojednostavljenu metodu opasnih parametara. Proračuni su rađeni pomoću programa EMTP-atp uz dodatni upravljački softver pripremljen u programskom okruženju Visual Basic posebno za ovu svrhu. AtpDraw grafički predprocesor programa EMTP-atp omogućava generisanje fajlova sa ulaznim podacima koji se mogu učitati u upravljački softver i izvršiti programiranje automatske varijacije više parametara u isto vreme u cilju ubrzanja proračuna. Upravljački program omogućava čitanje izlaznih rezultata i upisivanje odgovarajućih podataka za statističku analizu u Microsoft Excel tabelu. Za statistički proračun se koristi jednoparametarski zakon raspodele struja i strmina struje groma na čelu talasa, koji je predložen u [13], odnosno u poglavlju 8.1.7. Po ovoj metodi se varira samo amplituda struje linearno rastućeg čela, a usvojena je funkcionalna veza između amplitude i vremena čela struje u sledećem obliku:

$$T_m = a \times I_m^b \quad (\text{I.1})$$

gde su empirijske konstante date izrazima:

$$\begin{aligned} a &= 0.154 \\ b &= 0.624 \end{aligned} \quad (\text{I.2})$$

Na osnovu izračunatog vremena trajanja čela, za svaku amplitudu struje atmosferskog pražnjenja  $I_j$  određuje se strmina čela struje  $S_j$ :

$$S_j = \frac{I_j}{T_m} \quad (\text{I.3})$$

Amplituda struje  $I$  data je u kA, strmina struje  $S$  data je u kA/ $\mu$ s, a vreme čela  $T_m$  je dato u  $\mu$ s.

U programu ATPDraw varira se amplituda talasa  $I_m$ , a trajanje čela  $T_m$  se prema formuli 8.17 podešava prema svakoj amplitudi.

Verovatnoća pojave struje veće od granične struje koja izaziva preskok vrši se putem izraza:

$$P(I_m > I_g) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (\text{I.4})$$

gde je:  $\mathcal{X} = \frac{\ln \frac{I_m}{I_{sr}}}{\sigma_{\ln I}}$

Integral I.4 dobija se na osnovu sledećeg izraza, koji se može izračunati u Microsoft Excel tabeli.

$$P(I_m > I_g) = 1 - 0.5 \times [1 + \text{ERF}(x)] \text{ za } x \geq 0 \quad (\text{I.5})$$

$$P(I_m > I_g) = 1 - 0.5 \times [1 - \text{ERF}(x)] \text{ za } x < 0 \quad (\text{I.6})$$

Funkcija  $\text{ERF}(X)$  naziva se Funkcijom greške i spada u grupu funkcija koja je Microsoft Excel svrstana u grupu "engineering" funkcija.

## I.2 Primenjeni modeli

### I.2.1 Model stuba

U slučaju analize broja preskoka na izolaciji visokonaponskog voda 110 kV ili više, važan podatak je da li se radi o jednopolnom kvaru, jer se on eliminiše tehnikom jednopolnog brzog automatskog ponovnog uključenja (APU). Ako se radi o višefaznom kvaru, tada sva tri pola prekidača moraju da isključe (bez obzira da li je kvar dvofazni ili trofazni). Iz tog razloga se proračuni rade trofazno. Detaljno je objašnjen model trofaznog stuba u poglavlju 7.3.2, a dat je na slici 7.19, na strani 218. U slučaju srednjenaponskih vodova jednopolno APU se ne praktikuje, jer je mehanizam za pokretanje kontakata obično zajednički za sva tri pola.

### I.2.2 Model uzemljivača stubova

Na osnovu dostupnih podataka može se zaključiti kolike su otpornosti rasprostiranja uzemljivača stubova na osnovu merenja na terenu. Merenja se odnose na otpornost rasprostiranja uzemljivača pri struji frekvencije 50 Hz. S obzirom da se analiziraju atmosferski prenaponi, postoje dva pristupa problemu:

- kada se ne uvažava pojava jonizacije tla oko uzemljivača u slučaju male specifične otpornosti tla,
- kada se uvažava pojava jonizacije tla oko uzemljivača usled pojave velikih vrednosti električnog polja.

U oba slučaja problem se može pojednostaviti pretpostavljajući da impedansa stuba ima rezistivnu prirodu.

Ukoliko se ne uvažava pojava jonizacije, dovoljno je usvojiti da je impulsni koeficijent jednak  $K_{ud}=1$ . To znači da je otpornost rasprostiranja uzemljivača za visokofrekventne pojave isti kao i za struju frekvencije 50 Hz. Impulsni koeficijent može da bude veći ili manji od 1 u zavisnosti da li postoji dvoslojno tlo i kakav je odnos otpornosti gornjeg i donjeg sloja, što je objašnjeno u 7.4.2. Ako se uvaži jonizacija tla, što je neminovno u kamenitim predelima veće specifične otpornosti tla, otpornost rasprostiranja uzemljivača zavisi od amplitude struje koja se sa uzemljivača odvodi u tlo. Izrazi po kojima se računa otpornost rasprostiranja uzemljivača dati su u standardu [3]. U daljem tekstu je opisan način modelovanja nelinearnog otpora rasprostiranja uzemljivača u uslovima jonizacije tla.

Otpornost rasprostiranja se računa na sledeća dva načina, a u zavisnosti kolika je struja kroz uzemljivač, što je opisano u poglavlju 7.4.2, odnosno dato je izrazom:

$$R = R_o \text{ za struju } I < I_g \quad (I.7)$$

$$R(I) = \frac{R_o}{\sqrt{1 + \frac{I}{I_g}}} \quad (I.8)$$

$R_o$  -stacionarna otpornost pri struji pogonske učestanosti od 50 Hz.

$I_g$  - granična struja pri kojoj dolazi do jonizacije, koja se računa prema izrazu:

$$I_g = \frac{E_o \cdot \rho}{2\pi \cdot R_o^2} \quad (I.9)$$

$E_o$  je jonizacioni gradijent za koji se uzima vrednost 400 kV/m,

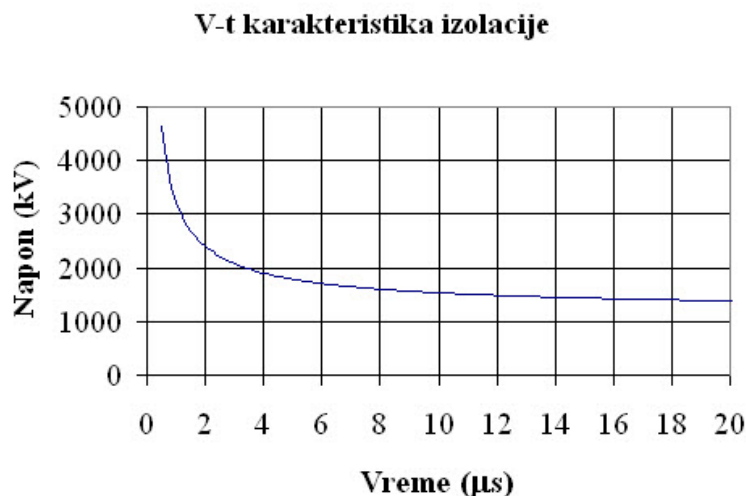
$\rho$  je specifična otpornost tla u kome se nalazi uzemljivač.

Za trenutnu vrednost električnog polja iznad  $E_o$ , kojoj odgovara granična struja pražnjenja  $I_g$ , dolazi do jonizacije tla, a ispod te vrednosti, otpornost rasprostiranja ima fiksnu vrednost.

### I.2.3 Preskočni napon

U poglavlju 7.5.4, strana 244, objašnjeno je usvajanje podnosivog napon izolacije za standardni ispitni udarni napon. Standardni udarni ispitni napon za 400 kV mrežu iznosi  $U_w = 1425$  kV. Umesto da se računa sa rasipanjem preskočnog napona, usvojeno je da svaka vrednost napona preko podnosivog napona  $U_w$  izaziva preskok, što predstavlja idealizovanu karakteristiku preskočnog napona, umesto realne karakteristike preskoka, sa uvažavanjem slučajne prirode koja izaziva rasipanje napona pri kome dolazi do preskoka. Na ovaj način se dobijaju kritičniji rezultati.

Za izolaciju za 400 kV oblik podnosivog napon izolacije je dat na slici I.1 za dužinu izolacionog razmaka 2.54 m. Ukoliko se koristi produženi razmak za veće nadmorske visine, smanjenje preskočnog napona se kompenzuje produženjem razmaka, tako da podnosivi napon ostaje nepromenljiv.



Slika I.1: : Kriva V-t karakteristike preskočnog napona za slučaj 400 kV izolatora

### I.2.4 Parametri analiziranog voda

Analiza je izvršena na osnovu srednjih vrednosti geometrijskih podataka za analiziran dalekovod nazivnog napona 400 kV, koji su dati u tabeli I.1.

Tabela I.1: Tipični geometrijski podaci za nadzemni vod 400 kV

Stub br.	Visina n.m. (m)	$H_z$ (m)	$H_{GF}$ (m)	$H_{SF}$ (m)	$H_{DF}$ (m) (m)	$R_{uz}$ $\Omega$	Raspon (m)
1	1292	48.3	40	31.5	23	74	260
2	1247	39.5	30.5	22	13.5	123	146
3	1207	45.5	36.5	28	19.5	141	

Oznake u tabeli I.1 imaju sledeće začenje:

**Stub** - broj stuba,

**Visina n.m** - Nadmorska visina podnožja stuba,

$H_z$  - visina zaštitnog užeta,

$H_{GF}$  - visina gornje faze,

$H_{SF}$  - visina srednje faze,

$H_{DF}$  - visina donje faze,

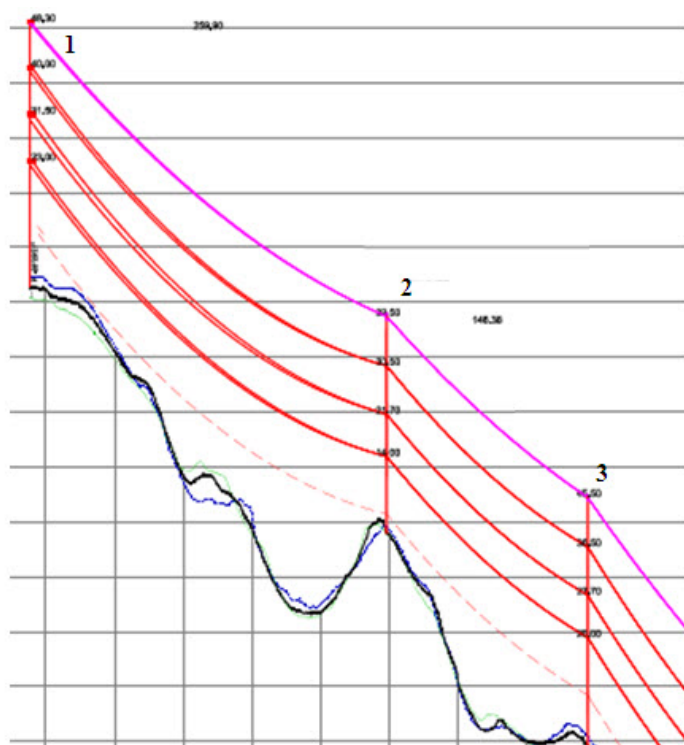
$R_{uz}$  - otpor rasprostiranja uzemljivača stuba pri struji industrijske frekvencije.

Profil trase na razmatranom rasponu prikazan je na slici I.2 između stubova 1 i 2. Pri proračunu atraktivne površine korišćena je srednja visina stubova u odnosu na temelje stubova.

Otpornosti uzemljenja stubova su dati u tabeli I.2 zajedno sa graničnom strujom pražnjenja, koja izaziva jonizaciju, prema izrazu 7.77 na strani 233.

Tabela I.2: Otpornosti uzemljenja stubova

Br. stuba	1	2	3
Otpor $R_{uz}$	74	123	141
Granična struja	28.9	17.7	13.58



Slika I.2: Profil trase na razmatranom rasponu

## I.3 Rezultati proračuna

### I.3.1 Opis proračuna prenapona

Izvršen je proračun maksimalnih prenapona sistematskim variranjem mesta udara duž raspona. Prikazani su rezultati samo za raspone voda između stubova 2 i 3, jer su tu otpornosti veće. Istovremeno je varirana amplituda talasa struje atmosferskog pražnjenja i trajanje čela. Mesto udara u zaštitno uže je varirano sa korakom 30 m duž raspona koji je 146 m dugačak, stim što je početna tačka na 10 m od vrha stuba Vrh2, a kraj variranja na 10 m od vrha stuba Vrh3. Na slici I.3 dat je ekranski prikaz šeme u programu ATPDraw.

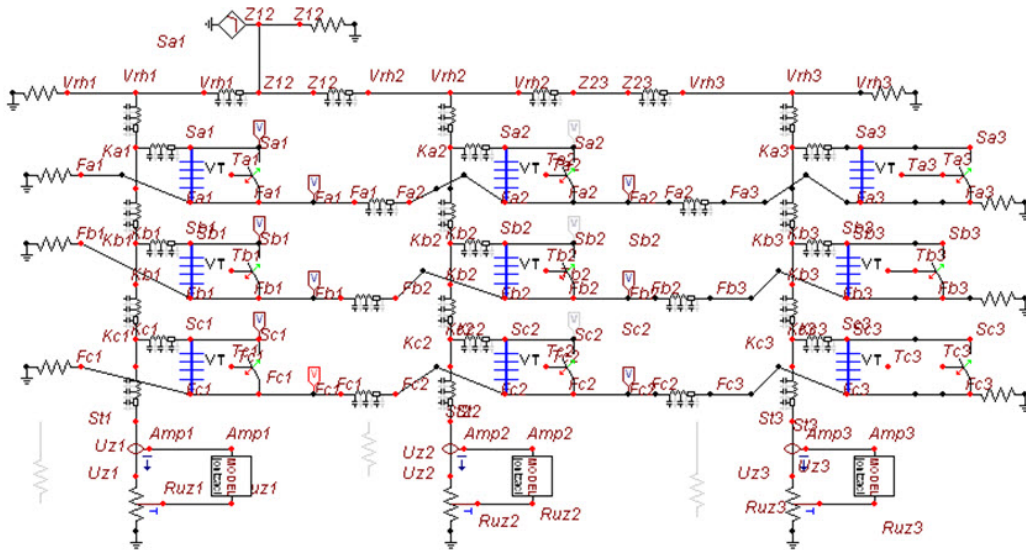
Uvedene su sledeće konvencije obeležavanja čvorova u šemi u programu ATPDraw:

**Vrx** -Vrh stuba bure,  $x=1, 2$  i  $3$  za stubove 1, 2 i 3,

**Kyx** - čvor konzole na stubu  $x=1, 2$  i  $3$ , za odgovarajuće faze  $y=a, b, c$ ,

**Syx** - čvor na kraju konzole u tački vešanja izolatora, sa istim značenjem za  $x$  i  $y$ ,

**Fyx** -čvor na fazi u tački vešanja za izolator, sa istim značenjem za  $x$  i  $y$ ,



Slika I.3: Ekranski prikaz šeme trofaznog voda sa dva raspona i 3 stuba

**Tyx** -pomoćni čvor za upravljanje modelom izolatora sa preskočnom karakteristikom. Kada model preskoka pošalje signal CLOSE=1 prekidaču, prekidač premošćuje izolator i nastaje kratak spoj preko izolatora. Oznake za  $x$  i  $y$  imaju isto značenje kao i ranije,

**Stx** - tačka u podnožju stuba ispred uzemljivača, za stubove  $x = 1, 2, 3$ ,

**Ampx** - proba za merenje struje čija se vrednost šalje u model jonizacije tla, gde je  $x = 1, 2, 3$  za pojedine stubove,

**Uzx** - čvor iza sonde za merenje napona na ulazu u uzemljivač, za stubove  $x = 1, 2, 3$ .

**VT** - kreirana ikona izolatora sa programom u jeziku MODELS iz paketa EMTP za simulaciju V-t karakteristike izolacije,

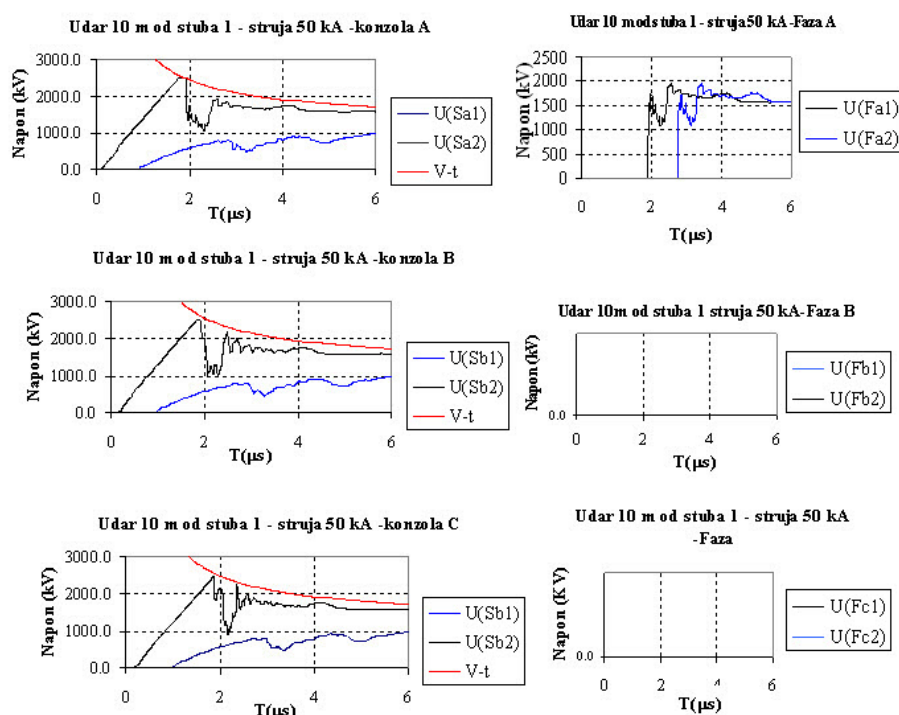
**Ruzx** - strujno zavisna otpornost upravljana iz programa u jeziku MODELS, za stubove  $x=1,2$  i 3.

Levo od čvorova **Fy1** i desno od čvorova **Fy3** za  $y=a, b$  i  $c$ , su otpornici koji simuliraju beskonačno dugačke fazne provodnike. Levo od čvora Vrh1 i desno od čvora Vrh3 su otpornici koji simuliraju beskonačno dugačku zaštitnu užad.

### I.3.2 Deterministički proračun

Izvršen je radi ilustracije proračun kada se atmosferski udar odvija na 10 m od stuba 1, u tačku **Z12**. Amplituda struje je izabrana da bude 50 kA, a vreme čela 1.7  $\mu s$ .

Na slici I.4 prikazani su naponi na krajevima konzole a, b i c prvog stuba (čvorovi Sa1, Sb1 i Sc1) i drugog stuba (čvorovi Sa2, Sb2 i Sc2), kao i na faznim provodnicima faza a, b i c ispod izolatora prvog stuba (čvor Fa1, Fb1 i Fc1) i ispod izolatora drugog stuba (čvorovi Fa2, Fb2 i Fc2). Na fazama se pojavljuju naponi samo na fazi a, što znači da na fazama b i c ne dolazi do preskoka. Takođe je nacrtana i  $V-t$  karakteristika za izolatore prvog stuba.

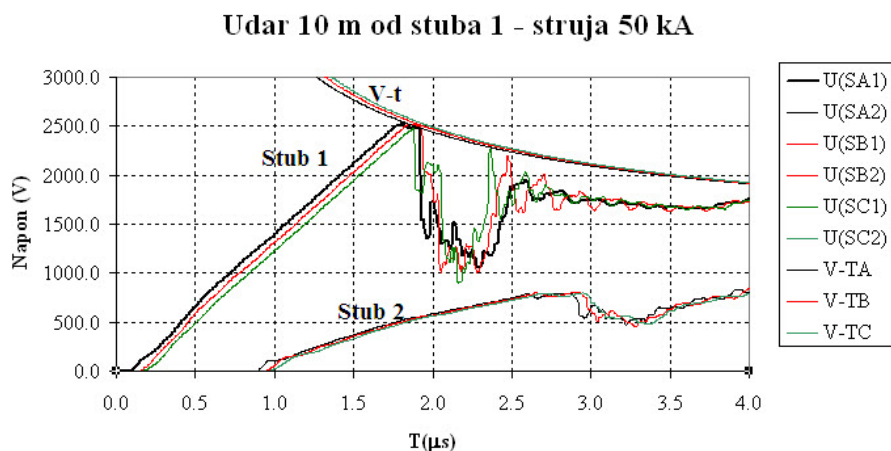


Slika I.4: Talasni oblici napona na krajevima sve 3 konzole i na sve 3 faze na prvom i drugom stubu

Mora se naglasiti da se pri određivanj  $V-t$  karakteristike napona vreme računa od trenutka nailaska napona u čvor na kraju konzole. To znači da su vremenske karakteristike preskočnih napona pomerene na pojedinim fazama. To je prikazano na slici I.5. Takođe se može uočiti da su naponi na stubu 2 značajno manji nego na stubu 1 zbog toga što kroz stub 1 protiče veća struja pražnjenja zbog njegove blizine i uticaja njegovog uzemljivača.

Programom za sistematsku varijaciju podataka izvršeno je izračunavanje najmanje amplitude struje groma koja izaziva preskok na jednoj fazi (oznaka 1F), ili dve, odnosno sve tri faze (oznaka 3F). Varijacija struje rađena je od dovoljno velike struje da izaziva preskok na sve 3 faze. Postepeno se smanjuje amplituda struje pražnjenja za 1 kA i ponavljaju se proračuni sve do slučaja kada bar na jednoj fazi ne dolazi do preskoka. Tada smatramo da je najmanja struja koja izaziva dvofazni ili trofazni preskok (3F) prva veća struja. Daljim smanjivanjem struja dolazimo do struje kada ne dolazi do preskoka ni





Slika I.5: Naponi na pojedinim fazama i V-t karakteristike pojedinih faza

na jednoj od tri faze. U tom slučaju prva veća struja je struja jednofaznog preskoka, koju može da prekine brzo APU i da kvar bude prolaznog karaktera. Broj jednofaznih preskoka se dobija kada se od ukupnog broja pojavljivanja 1F preskoka oduzme broj 3F preskoka, čime izdvajamo samo preskoke na jednoj fazi, koje ćemo obeležavati kao APU kvarovi, odnosno kvarovi koji mogu biti eliminisani tehnikom isključenja sa brzim automatskim ponovnim uključenjem (APU). Proračuni prelaznog procesa rađeni su programom EMTP-atp.

### I.3.3 Primene excel tabele za statistički proračun

U tabeli I.3 prikazani su rezultati izračunatih prenapona na fazama prvog stuba Fa1, Fb1, Fc1 za struju pražnjenja  $I_{max}$  i odgovarajuće trajanje čela talasa  $T_c$ .

Tabela I.3: Tabela sa udarnim strujama i naponima koje izazivaju preskoke prema faznim provodnicima.

Slučaj	$I_{max}$	$T_c$	Fa1	Fb1	Fc1	Kvar
br.	(kA)	( $\mu s$ )	(kV)	(kV)	(kV)	
1	49	1.7	2203	1805	0	
2	48	1.7	2163	1775	0	
3	47	1.7	2122	1747	0	
4	46	1.7	1987	1678	0	
5	45	1.7	1134	1268	0	3F
6	44	1.6	1360	0	0	1F
7	43	1.6	0	0	0	

Na osnovu tabele I.3 može se videti da u slučajevima od 1 do 5 preskok nastupa

na fazama a i b, ali ne na fazi c, jer je napon na toj fazi 0. To znači da usled tih struja dolazi do preskoka na dve faze, što izaziva trofazno isključenje. U slučaju broj 6 preskok nastupa samo prema fazi a, ali ne prema fazi b, odnosno c. To znači da u slučaju broj 5 postoji minimalna struja pražnjenja koja izaziva preskok na 2 faze, odnosno izaziva trolno isključenje, tako da se ta struja računa kao granična struja koja izaziva višefazni kvar i taj slučaj je obeležen kao 3F. U slučaju broj 7 uopšte ne dolazi do preskoka ni na jednoj fazi, pa se zato slučaj 6 smatra kao graničan slučaj za nastanak jednopolnog preskoka koji je obeležen kao 1F.

Proračuni su rađeni za udar u levi stub 1, zatim za udar na rastojanju 10 m od stuba, a zatim za udare koji su pomerani sa korakom od 30 m do rastojanja 250 m od stuba 1 i konačno za udar u stub 2 koji je na 260 m daleko od levog stuba 1.

Formule i oznake korišćene u statističkom proračunu godišnjeg broja preskoka:

*I3F* - Minimalna struja koja izaziva preskok na najmanje dve ili sve tri faze,

*I1F* - Minimalna struja koja izaziva preskok na samo jednoj fazi,

*X3F* - Normalizovana vrednost logaritma *I3F*

$$X3F = \frac{\ln(\frac{I3F}{I_{50}})}{\sqrt{2}\sigma_{\ln I}}$$

*X1F* - Normalizovana vrednost logaritma *I1F*

$$X1F = \frac{\ln(\frac{I1F}{I_{50}})}{\sqrt{2}\sigma_{\ln I}}$$

*I*<sub>50</sub> - struja pražnjenja koja se pojavljuje sa verovatnoćom od 50%,

$\sigma_{\ln I}$  - standardno rasipanje logaritma normalizovane struje

$P(I > I3F)$  - Kumulativna verovatnoca struje veće od minimalne struje koja prouzrokuje višefazni preskok,

$P(I > I1F)$  - Kumulativna verovatnoca struje veće od minimalne struje koja prouzrokuje jednofazni preskok,

*N*<sub>*r3F*</sub> - Godišnji broj preskoka na deonici dužine  $\Delta d$  prema dve ili sve tri faze:

$$N_{r3F} = A_D \times \Delta d \times N_G \times P(I > I3F)/1000$$

*A*<sub>*D*</sub> - ekvivalentna prhvatna površina jediničnoj dužini voda (br. udara/m),

$\Delta d$  - Dužina dužina elementarne deonice (m) u koju se razmatra udar groma,

$N_G$  - godišnja gustina pražnjenja po  $\text{km}^2$ ,

$N_{r1F}$  - Godišnji broj preskoka na elementarnoj dužini, prema samo jednoj fazi (preskok zaštitno uže - faza):

$$N_{r1F} = Ae \times \Delta d \times N_G \times P(I > I1F)/1000$$

$N_{3F100km}$  - broj preskoka prema 2 ili sve 3 faze sveden na 100 km voda, koji se izračunava iz izraza:

$$N_{3F100km} = N_{r3F} * 100/d_{uk}$$

$d_{uk}$  - ukupna dužina voda u (km),

$N_{1F100km}$  - broj preskoka prema jednoj fazi sveden na 100 km voda, koji se izračunava iz izraza:

$$N_{1F100km} = N_{r1F} * 100/d_{uk}$$

$N_{g100km}$  - godišnji broj udara u dalekovod na 100 km:

$$N_{g100km} = Ae \times N_G \times 100$$

$N_{3F100km\%}$  - procentualan broj 3F preskoka na 100 km u odnosu na broj udara u 100 km voda (%)

$$N_{3F100km\%} = 100 \frac{N_{3F100km}}{N_{g100km}}$$

$N_{1F100km\%}$  - procentualan broj 3F preskoka na 100 km u odnosu na broj udara u 100 km voda (%)

$$N_{1F100km\%} = 100 \frac{N_{1F100km}}{N_{g100km}}$$

U tabeli I.4 dat je prikaz iz excel tabele sa proračunom statističkih parametara po pojedinim deonicama duž raspona, na osnovu čega se može odrediti ukupan broj jednopolnih i trolnih isključenja:

U tabeli I.5 prikazan je broj jednofaznih i višefaznih preskoka na 100 km voda, kao i procentualan broj jednofaznih i višefaznih preskoka u odnosu na broj udara u vod.

### I.3.4 Uticaj uzemljenja stubova na broj preskoka

Izvršena je analiza uticaja vrednosti otpora uzemljenja stuba br. 2 i br. 3, na godišnji broj preskoka na izolaciji stubova. Proračuni su rađeni tako da se smanjivala vrednost otpora uzemljenja levog i desnog stuba za iznos od 10% od početne vrednosti, koje su iznosile  $R1=123 \Omega$  za levi stub i  $R2=141 \Omega$  za desni stub.

Tabela I.4: Proračun broja preskoka po pojedinim deonicama dužina  $\Delta d$  sa svim međurezultatima

Deonica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ukup
$\Delta d$ (m)	10	30	30	30	30	30	30	30	30	10	260
I3F	44	44	48	59	63	58	54	49	47	44	-
I1F	44	44	48	58	62	54	53	48	46	44	-
X3F	0.45	0.45	0.56	0.80	0.88	0.78	0.69	0.58	0.53	0.45	-
X1F	0.45	0.45	0.56	0.78	0.86	0.69	0.67	0.56	0.51	0.45	-
Erf(X3F)	0.48	0.48	0.57	0.74	0.79	0.73	0.67	0.59	0.55	0.48	-
Erf(X1F)	0.48	0.48	0.57	0.73	0.78	0.67	0.66	0.57	0.53	0.48	-
P(I>I3F)	0.26	0.26	0.22	0.13	0.11	0.14	0.16	0.21	0.23	0.26	-
P(I>I1F)	0.26	0.26	0.22	0.14	0.11	0.16	0.17	0.22	0.24	0.26	-
$N_{r3F}$	0.005	0.014	0.011	0.007	0.006	0.007	0.009	0.011	0.012	0.005	0.086
$N_{r1F}$	0.005	0.014	0.011	0.007	0.006	0.009	0.009	0.011	0.013	0.005	0.089

Tabela I.5: Broj jednofaznih i višefaznih preskoka na 100 km voda, kao i procentualan broj jednofaznih i višefaznih preskoka u odnosu na broj udara u vod

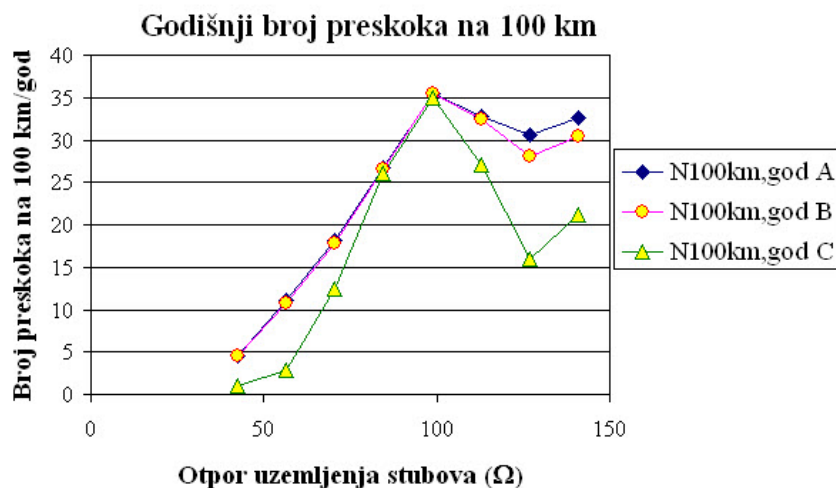
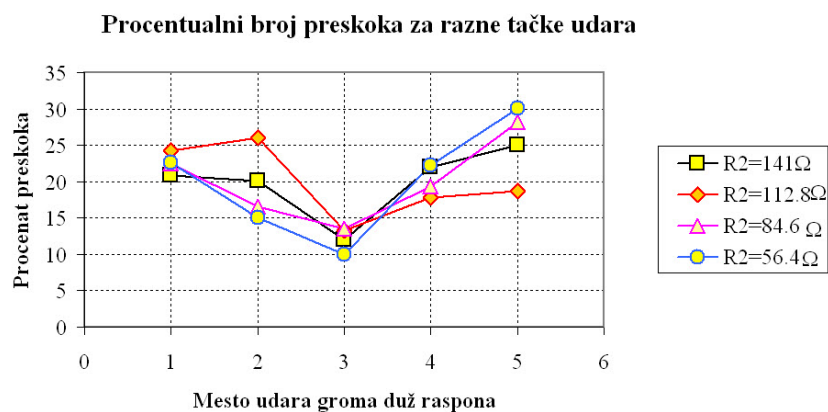
$N_{r3F100km}$	32.99
$N_{r1F100km}$	34.37
$N_{g100km}$	176.69
$N_{p3F(\%)}$	18.67
$N_{p1F(\%)}$	19.45

Na slici I.6 prikazan je broj preskoka izražen u funkciji otpora uzemljenja stuba br.3. Otpornosti uzemljenja su varirane tako da su na sva tri stuba srazmerno smanjivane u odnosu na početnu maksimalnu vrednost koja je data u tabeli I.2. Rezultati su dati za sve 3 faze.

Može se uočiti da broj preskoka raste sa porastom otpora uzemljenja do oko 100  $\Omega$ , a zatim sa daljim porastom otpora se smanjuje do oko 130  $\Omega$ , a posle se ponovo povećava. Ovaj efekat se pojavljuje zbog uticaja jonizacije tla koja prouzrokuje smanjivanje otpornosti uzemljivača kada struja pređe graničnu vrednost za nastanak jonizacije.

Na slici I.7 grafički je prikazana je promena broja preskoka za razne tačke udara duž raspona izražena u procentima u odnosu na ukupan broj preskoka na rasponu, za različite otpornosti uzemljenja R2. Uzemljenje stubova R1 i R2 je menjano proporcionalno u odnosu na početnu vrednost.

Može se zapaziti da postoji pravilnost u raspodeli broja preskoka prema tački udara, tako da je najmanji broj preskoka usled udara u sredinu raspona (tačka 3), a da raste kada je tačka udara bliže krajevima raspona. Međutim, zbog jonizacije se dešavaju određene nelogičnosti, tako da se u tački 2 pojavljuje veći procenat preskoka nego u tački 1, kao i da se u tački 5 pojavljuje najveći broj preskoka pri najmanjem otporu uzemljenja. Ovo je posledica efekta jonizacije tla, koji dovodi u određenom opsegu otpornosti do jonizacije i iskrenja, što ima za posledicu smanjivanje napona na uzemljivaču i smanjivanje broja preskoka.

Slika I.6: Broj preskoka u funkciji otpora uzemljenja  $R_2$  na pojedinim fazama

Slika I.7: Procentualni broj preskoka za razne tačke udara duž raspona

## Zahvalnica

Primer je nastao na osnovu studije Koordinacija izolacije 400 kV dalekovoda Lastva - Pljevlja (Deonica Čevo-Pljevlja), radene za naručioca Kodar energomontaža, doo Beograd, Autoput za Zagreb 22, Beograd, 2021.