

ДОДАТАК
ТЕХНИЧКЕ ПРЕПОРУКЕ број 9

ПРИМЕРИ ДИМЕНЗИОНИСАЊА УЗЕМЉЕЊА СТУБОВА
ЕЛЕКТРОДИСТРИБУТИВНИХ НАДЗЕМНИХ ВОДОВА

Обрадили:

Томислав Бојковић
Ђорђе Глишић

III издање
јануар 2010.

Напомене уз III издање Додатка ТП – 9:

III издање Додатка ТП – 9 је измењено и допуњено II издање од децембра 2000. – пре свега додат је Увод ради детаљније интерпретације ове проблематике, као и пример у вези коришћења арматуре у темељу стуба (темељни уземљивач стуба) као алтернатива примени допунског уземљивача стуба.

Обрађивачи

јануар 2010.

УВОД

Проблематика уземљења стубова код нас је сада регулисана Правилником о техничким нормативима за изградњу надземних водова називног напона 1 kV до 400 kV [1] (у даљем тексту: ПТН ВН НВ).

Основни критеријуми за димензионисање уземљења стубова су:

- а) **заштита од повратних прескока** при удару грома у стуб или заштитни проводник (заштитно уже), ако постоји;
- б) **заштита од напона додира**;
- в) **топлотна напрезања темеља стуба** при земљоспоју;
- г) **поуздано деловање земљоспојне заштите**.

Критеријум а) – заштита од повратних прескока се налази у нашим прописима [1] и у немачким стандардима DIN VDE 0141/89 [2], иако су наши прописи либералнији јер дозвољавају да се димензионисање уземљења стубова за средњенапонске (СН) водове називног напона до 35 kV врши и са вредностима ударних струја грома мањим од 20 kA. Интересантно је да оба документа не третирају прескоке на изолацији дуж вода при удару грома у фазне проводнике, што је код СН водова без заштитних проводника много вероватније. И док по критеријуму а) нижа вредност отпорности уземљења стуба смањује вероватноћу појаве повратних прескока, у другом случају ниже вредности отпорности уземљења стубова повећавају вероватноћу појаве прескока при удару грома у фазне проводнике, али апсорбују енергију пражњења дуж вода и тако штите драгоцену опрему у трансформаторској станици (ТС), посебно енергетских трансформатора (ЕТ). Тако је у [5] показано да се број пробоја изолације ЕТ услед удара грома у фазне проводнике значајно смањује ако се код два до три стуба до ТС постигне отпорност уземљења стубова до 10 Ω. То се препоручује и у тачки 6.3 ТП – 9.

Зато је увек пожељно имати ниже вредности отпорности уземљења стубова, уз уважавање економских ограничења.

По критеријуму а), повратни прескок са стуба на проводнике није вероватан, у смислу сада важећег ПТН ВН НВ [1], ако вредност ударне отпорности уземљења стуба испуњава услов:

$$R_u \leq \frac{U_i}{I_u} \quad (1)$$

где је:

R_u – ударна отпорност уземљења стуба без галванске везе са заштитним проводником [Ω];

U_i – подносиви ударни напон изолатора вода на сувом [kV];

I_u – темена вредност ударне струје грома [kA].

Ударна отпорност R_u [Ω] за **уобичајене димензије уземљивача стубова СН водова** је једнака отпорности уземљења R_s [Ω] која одговара струји фреквенције 50 Hz: $R_u \approx R_s$.

Критеријум а), примењен **за вод 10 kV** код кога је $U_{i10} = 75$ kV, и са најнижом вредношћу струје грома које дозвољава ПТН ВН НВ: $I_u = 5$ kA,

према изразу (1) захтева отпорност уземљења стуба: $R_u \leq 15 \Omega$, што је и усвојено у тачки 6.3 ТП – 9.

Ако би се, због типизације, задржала иста вредност отпорности уземљења и за вод 20 kV, односно 35 kV, критеријум а) би био испуњен за вредност ударне струје грома $I_u \leq 8,3 \text{ kA}$ ($U_{i20} = 125 \text{ kV}$), односно $I_u \leq 11,3 \text{ kA}$ ($U_{i35} = 170 \text{ kV}$). Ако би рачунали са минималном вредношћу ударне струје грома $I_u = 5 \text{ kA}$, критеријум а) би формално био испуњен и ако би отпорност уземљења стуба износила: $R_u \leq 25 \Omega$ за вод 20 kV, односно: $R_u \leq 34 \Omega$ за вод 35 kV.

Међутим, због ниског изолационог нивоа, скоро сваки директан удар грома у стуб или фазни проводник СН вода изазива прескок и/или пробој изолације – у [5] је показано да већ струје грома реда 2 kA изазивају прескок, а према табели 8 у [1] вероватноћа да се не прекорачи струја грома од 5 kA износи свега 14%. Ако би се ишло са већим вредностима струје грома, ниже вредности отпорности уземљења захтевале би уземљиваче већих димензија, што је економски неприхватљиво. Зато је критеријум а) не само сувише строг, него и сувишан за СН водове, па би у том смислу требало извршити одговарајуће измене ПТН ВН НВ. Међутим, док се ПТН ВН НВ евентуално не промени, дужни смо да га се придржавамо, па ћемо критеријум а) и даље примењивати стриктно према сада важећем ПТН ВН НВ [1].

Критеријум б) – заштита од опасних напона додира у ПТН ВН НВ је дата технички коректно и економски потпуно прихватљиво, и ТП – 9 је доследно усклађена са ПТН ВН НВ. У ТП – 9 се једино дају **строжији захтеви код објеката где борави много људи без обуће** (отворена купалишта, кампови, игралишта и сл.), када се захтева коришћење два уземљивачка прстена око стуба – први прстен би могао да буде и темељни уземљивач стуба. Алтернатива допунским уземљивачима је појас асфалта дебљине бар 2 cm на удаљењу најмање 1,25 m око стуба.

Критеријум б) је испуњен (тачке 6.6 и 6.7 ТП – 9):

- ако код стуба не може да се појави трајан напон додира већи од 65 V (види Пример 4 у Додатку), или
- ако се земљоспој на воду искључује деловањем земљоспојне заштите најкасније за 3 s, или
- ако се земљоспој на воду искључује најкасније за два сата, под условом да појава земљоспоја на стубу није вероватна применом: штапних изолатора од порцелана типа А, потпорних изолатора за вод од порцелана типа А или капастих изолатора од стакла.

Критеријум в) – топлотна напрезања темеља стуба при земљоспоју:

При земљоспоју на стубу, струја земљоспоја преко арматуре стабла стуба и допунског или темељног уземљивача иде у тло, чиме се термички растеређује бетон у стаблу и темељу стуба. Уколико би се изоставио допунски уземљивач, а да се користи неармирани темељ (како је до сада препоручивано у ТП – 10 а), струја земљоспоја би се затварала преко омотача стабла и темеља од бетона и у случају дуготрајног земљоспоја могла би термички да их угрози.

У [5] је показано да у СН мрежама које су уземљене преко нискоомске импедансе **критеријум в) је испуњен** ако је испуњен бар један од следећих услова:

- да је изведен допунски уземљивач, или/и
- да је темељ стуба изведен са металном арматуром.

Према томе, у електродистрибутивној мрежи Србије критеријум в) је задовољен јер је као типско решење раније примењиван темељ од неармираног бетона и допунски уземљивач, а биће задовољен и ако се користи темељ од армираног бетона.

Критеријум г) – поуздано деловање земљоспојне заштите је меродаван код СН мрежа уземљених преко нискоомске импедансе, док је утицај отпорности уземљења стуба на струју земљоспоја у изолованој мрежи занемарљив. Због ниских вредности подешених струја реаговања земљоспојне заштите у уземљеним мрежама (20 А до 40 А, ТП – 4 а 1), **критеријум г) је испуњен и при релативно великим вредностима отпорности уземљења стубова** (реда 150 Ω и више). Међутим, овде је оправдано испуњење и додатног захтева да се при земљоспоју задржи карактер уземљене мреже преко нискоомске импедансе. Ако би као циљну вредност струје земљоспоја одредили: $I_z \geq 100 \text{ A}$, пожељне вредности отпорности уземљења стубова за отпорнике назначене струје 300 А у неутралној тачки мреже 10 kV (20 kV, 35 kV) би тада износиле: $R_{su} \leq 20 \Omega$ (40 Ω, 70 Ω), па усвојена типска вредност: $R_u \leq 15 \Omega$ задовољава и овај захтев.

Закључак:

Критеријуми а) и б) треба да буду испуњени у складу са важећим ПТН ВН НВ, док су критеријуми в) и г) задовољени, без обавезе доказивања, ако се користе решења у складу са техничким препорукама ЕД Србије.

Зато ће се у наставку анализирати само услови за испуњење критеријума а) и б).

Примери димензионисања уземљења стубова електродистрибутивних надземних водова

Пример 1:

Вод 10 kV (20 kV) иде трасом на којој вредност специфичне отпорности тла износи просечно: $\rho \approx 100 \Omega\text{m}$.

Према критеријуму заштите од повратних прескока:

- а) одабрати допунски уземљивач стуба код примене неармираног бетонског темеља;
- б) испитати могућност изостављања допуског уземљивача код примене темеља од армираног бетона за стубове линијско-носећих упоришта (LN).

Решење:

- а) **Примена темеља од неармираног бетона и допунског уземљивача**

Допунски уземљивач обавезно се користи ако је темељ неармиран или ако се користи темељење директним укопавањем.

Према ПТН ВН НВ, **критеријум заштите од повратних прескока је задовољен** за вод 10 kV ако вредност ударне отпорности уземљења R_u [Ω] према изразу (1) износи:

$$R_u \approx R_s = \frac{U_{i10}}{I_u} = \frac{75}{5} \leq 15 \Omega$$

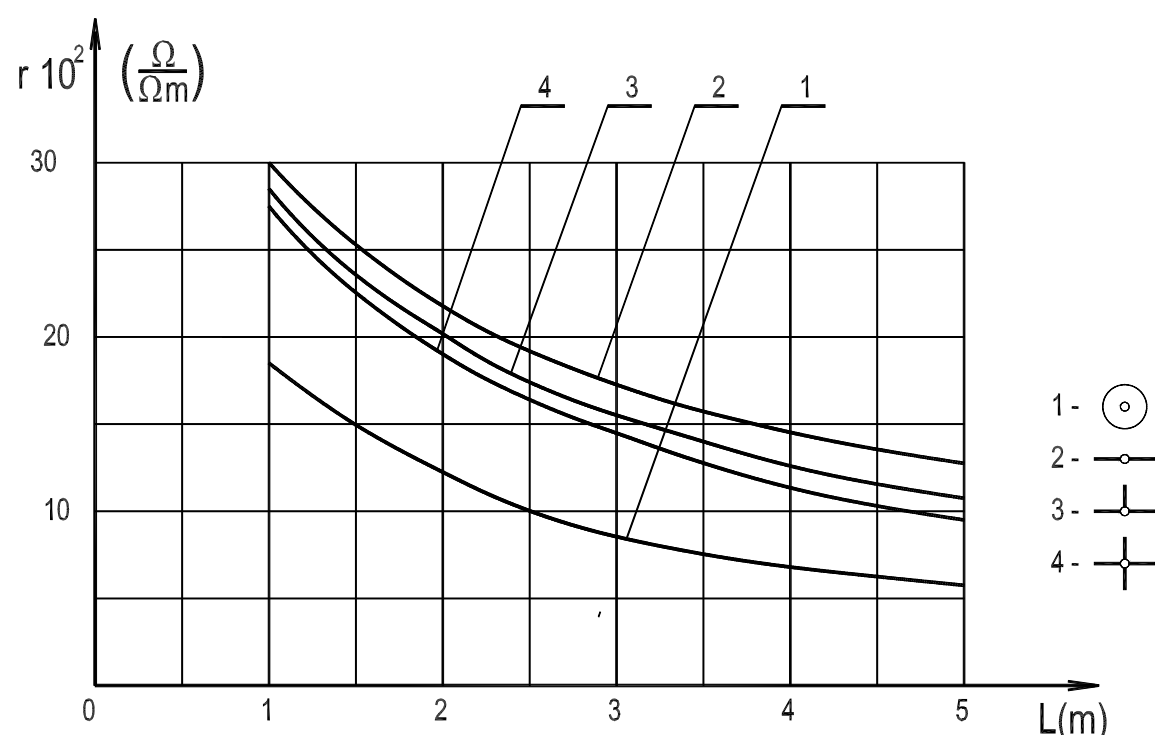
што је, због типизације, усвојено као типска вредност за водове 10 kV, 20 kV и 35 kV, тачка 5.3 ТП – 9.

Релативна отпорност распростирања r [$\Omega/\Omega\text{m}$] уземљивача рачуна се према тачки 7.2 ТП – 9:

$$r = \frac{R_s}{\rho} = \frac{15}{100} = 15 \times 10^{-2} \Omega/\Omega\text{m}$$

Ради постизања вишег нивоа заштите од атмосферских пражњења у фазне проводнике вода, код прва два до три стуба од ТС на коју је прикључен вод 10 kV (20 kV), као и код стубова са растављачем, одводницима пренапона итд. усваја се: $R_u = 10 \Omega$, и тада је: $r = 10 \times 10^{-2} \Omega/\Omega\text{m}$.

На основу прорачуна датих у [4], на слици Примера 1.а (слика 7.2 у ТП – 9) дат је дијаграм зависности релативне отпорности распростирања r [$\Omega/\Omega\text{m}$] од димензија L [m] допунског уземљивача, уз уважавање утицаја арматуре стабла као уземљивача.



Слика Примера 1.а Релативна отпорност распростирања допунског уземљивача стуба

Са дијаграма се види да тражене вредности ударне отпорности распростирања уземљивача R_u могу да се постигну допунским уземљивачима чије су димензије дате у табели Примера 1.а (L [m] је полупречник прстена, односно дужина крака зракастог уземљивача).

Табела Примера 1.а Димензије допунског уземљивача стуба за $\rho \approx 100 \Omega m$

$R_u \approx R_s$ [Ω]	Прстенести уземљивач L [m]	Зракасти уземљивач L [m]		
		4 крака	3 крака	2 крака
15	1,5	2,8	3,2	3,8
10	2,6	4,6	–	–

б) Примена темеља од армираног бетона без допунског уземљивача [7]

Стандардни темељи од бетона СН водова су раније били неармирани – према ТП – 10 нису имали арматуру од челика. **Стандардно уземљење стуба** се састојало од допунског уземљивача у виду прстена (или изузетно: зрака) који се везује за арматуру стабла, тако да се и део стабла испод нивоа тла понаша као уземљивач.

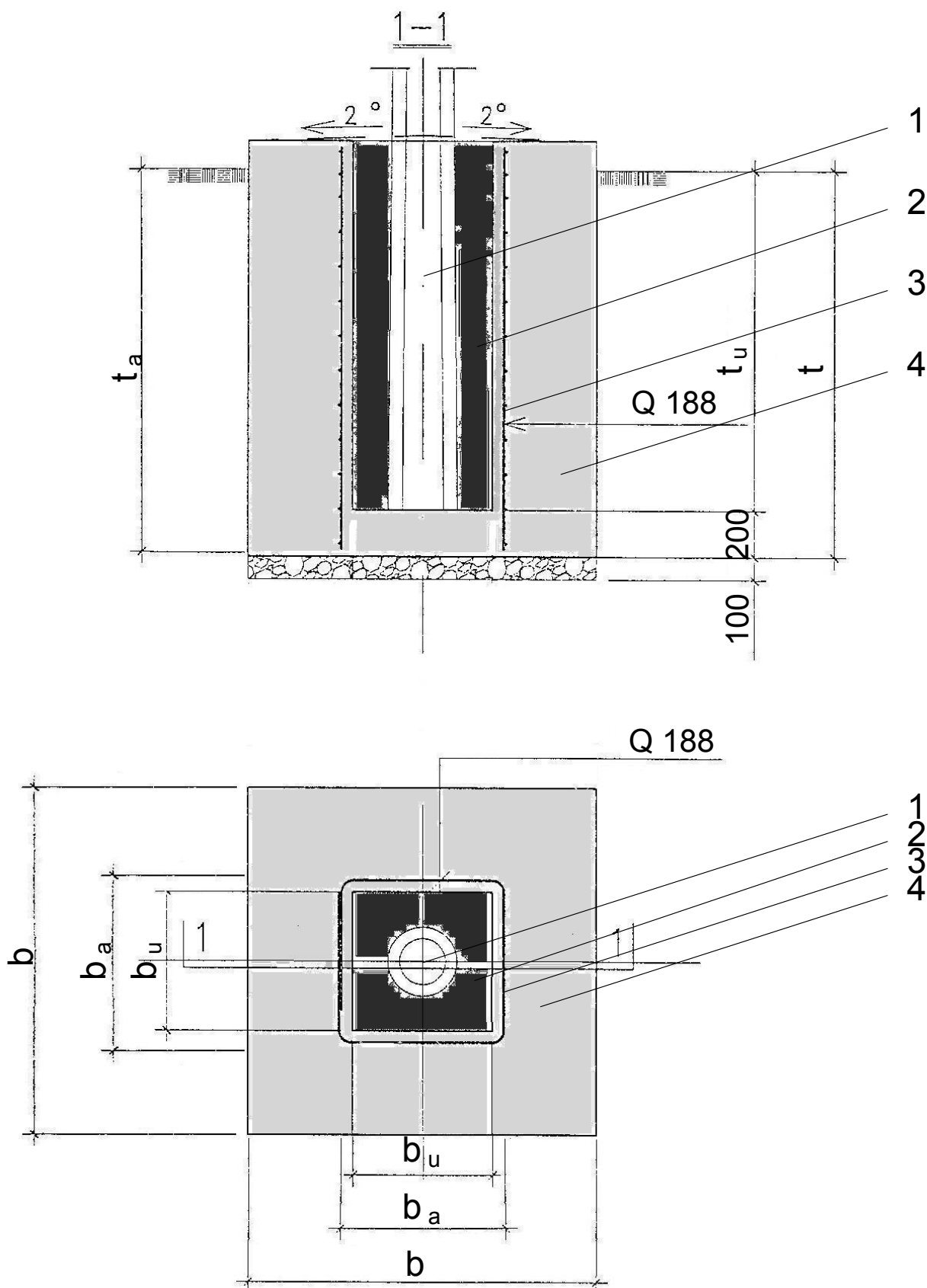
Анализираће се у којим условима би применом армираног темеља могао да се изостави допунски уземљивач – таква примена темељног уземљивача стуба би донела значајне уштеде у експлоатацији вода, јер нема корозије нити одржавања уземљивача.

Поред тога, због релативно малих димензија допунског уземљивача и затрпавања рова са уземљивачем без довољног набијања земље, може понекад да буде поремећена компактност тла и угрожена стабилност темеља.

Темељни уземљивач стуба сачињава (слика Примера 1.б):

- "арматурни кош" – венац (мрежа) галвански повезаних арматурних шипки дужине 1,5 m до 2 m, које се уграђују у темељ у виду коша правоугаоног или кружног попречног пресека;
- арматура стабла у темељној чашици, која се галвански повезује са арматуром у темељу стуба.

Код префабрикованог темеља који у сваком елементу има мрежасту арматуру није потребно галванско повезивање мрежастих арматура суседних елемената јер се та веза успоставља начином монтаже елемената и преко бетона, док се галванска веза арматуре стабла стуба са арматуром у темељу остварује преко горњег елемента префабрикованог темеља (слика 4.10 и тачка 5.11 у ТП – 10 г).



1 стабло; 2 темељна чашица; 3 арматура темеља; 4 тело темеља.

Слика Примера 1.б Темељни уземљивач стуба израђен на лицу места

Пошто се арматура стабла налази унутар "арматурног коша", **отпорност уземљења темељног уземљивача стуба R_s [Ω]** може да се прорачуна на једноставан начин као да је реч о штапном уземљивачу:

$$R_s \approx \frac{\rho}{2 \times \pi \times L_{ae}} \times \ln \frac{4 \times L_{ae}}{D_e} \quad (2)$$

где је:

D_e – еквивалентни пречник "арматурног коша" [m];

L_{ae} – ефективна дужина штапа "арматурног коша" [m].

Ефективна (рачунска) дужина штапа L_{ae} [m] као уземљивача и еквивалентни пречник D_e [m] мрежасте арматуре зависе од димензија одабраног темеља, односно димензија темељне чашице за учвршћење стабла.

Реална дужина штапа t_a [m] "арматурног коша" је за 0,15 m већа од дужине укљештења стабла t_u [m] у темељној чашици (слика Примера 1.б), која износи: $t_u = 1,8$ m за номиналну дужину стабла 11 m и $t_u = 2,0$ m за номиналну дужину стабла 12 m и веће, односно: $t_a = t_u + 0,15$. Ако се искључи око 30 cm дужине штапа који не учествује као уземљивач због исушивања површинског слоја тла, добија се да **ефективна (рачунска) дужина штапног уземљивача L_{ae} [m]** износи:

$$L_{ae} = t_a - 0,30 = t_u + 0,15 - 0,30 = t_u - 0,15$$

односно: $L_{ae} = 1,65$ m за $t_u = 1,8$ m и $L_{ae} = 1,85$ m за $t_u = 2,0$ m.

Пошто мрежаста арматура мора да буде у бетону и бар 5 cm удаљена од темељне чашице, **еквивалентни пречник D_e [m] мрежасте арматуре** треба да износи (табела Примера 1.б):

– за **ваљкасти темељ**: $D_e = d_a = d_u + 0,1$

где је:

d_a (d_u) – пречник кружне основе мрежасте арматуре (темељне чашице) ваљкастог темеља (табела 4.29 у ТП – 10 г), [m];

– за **призматичан темељ** D_e [m] се добија из односа:

$$\frac{D_e^2 \times \pi}{4} = b_a \times b_a \Rightarrow D_e = 1,128 \times b_a \Rightarrow D_e = 1,128 \times (b_u + 0,1)$$

где је:

b_a (b_u) – ширина квадратне основе мрежасте арматуре (темељне чашице) призматичног темеља (табела 4.28 у ТП – 10 г), [m].

Даље се анализира **темељни уземљивач за стубове** за најчешће коришћена **линијско-носећа упоришта (LN)**. Према табелама 4.11 у ТП – 10 г, као и у Примеру 1 Прилога ТП – 10 а, на располагању стоје темељи следећих димензија:

а) **За стабло 12/400**, препоручене дубине укопавања темеља $t = 2,2$ m, за $M_d \geq 4\,800$ daNm:

– **призматичан, тип ТПК17**, димензија темеља 0,8 m × 0,8 m × 2,2 m, димензија темељне чашице 0,6 m × 0,6 m × 2,0 m;

– **ваљкасти, тип ТВ19**, димензија \varnothing 0,6 m × 2,2 m, димензија темељне чашице \varnothing 0,4 m × 2,0 m.

б) **За стабло 11/400**, препоручене дубине укопавања $t = 2,0 \text{ m}$, за $M_d \geq 4\,400 \text{ daNm}$:

- **призматичан, тип ТПК11**, димензија $0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}$, димензија темељне чашице $0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}$;
- **ваљкасти, тип ТВ13**, димензија $\varnothing 0,9 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}$, димензија темељне чашице $\varnothing 0,6 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}$.

Димензије мрежасте арматуре која делује као темељни уземљивач би биле:

- $0,7 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 1,85 \text{ m}$ за темељ типа ТПК17, па би пречник еквивалентног штапног уземљивача био: $D_e = 0,79 \text{ m}$.
- $0,7 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 1,65 \text{ m}$ за темељ типа ТПК11, па би пречник еквивалентног штапног уземљивача такође био: $D_e = 0,79 \text{ m}$;
- $\varnothing 0,5 \text{ m} \times 1,85 \text{ m}$ за темељ типа ТВ19, па би и пречник еквивалентног штапног уземљивача био: $D_e = d_u + 0,1 = 0,5 \text{ m}$;
- $\varnothing 0,8 \text{ m} \times 1,65 \text{ m}$ за темељ типа ТВ13, $D_e = 0,7 \text{ m}$.

У табели Примера 1.б дате су прорачунате вредности отпорности уземљења стандардних темељних уземљивача стубова СН водова за $\rho = 100 \text{ }\Omega\text{m}$, израз (2), као и дозвољене вредности специфичне отпорности тла $\rho_{15} [\text{ }\Omega\text{m}]$ да се постигне отпорност уземљења стуба: $R_s = 15 \text{ }\Omega$.

На пример:

За призматични темељ типа ТПК11, димензија $0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}$, што је карактеристичан темељ за стабла 11/315 и 11/400 стубова линијско-носећих упоришта (LN), **ефективна (рачунска) дужина штапног уземљивача $L_{ae} [\text{m}]$** и **еквивалентни пречник $D_e [\text{m}]$** мрежасте арматуре износе:

$$L_{ae} = t_u - 0,15 = 1,8 - 0,15 = 1,65 \text{ m}$$

$$D_e = 1,128 \times (b_u + 0,1) = 1,128 \times (0,6 + 0,1) = 0,79 \text{ m}$$

па су димензије "арматурног коша": $0,7 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 1,65 \text{ m}$.

Отпорност уземљења темељног уземљивача стуба при специфичној отпорности тла $\rho = 100 \text{ }\Omega\text{m}$ према изразу (2) износи:

$$R_s \approx \frac{\rho}{2 \times \pi \times L_{ae}} \times \ln \frac{4 \times L_{ae}}{D_e} = \frac{100}{2 \times \pi \times 1,65} \times \ln \frac{4 \times 1,65}{0,79} = 20,5 \text{ }\Omega$$

Специфична отпорност тла $\rho_{15} [\text{ }\Omega\text{m}]$ при којој отпорност темељног уземљивача стуба R_s за темељ типа ТПК11 по критеријуму а) има дозвољену вредност: $R_s \approx R_{udoz} \leq 15 \text{ }\Omega$ у овом примеру износи:

$$\rho_{15} = \frac{R_{udoz}}{R_s} \times \rho = \frac{15}{20,5} \times 100 \leq 73 \text{ }\Omega\text{m}.$$

На исти начин се добија:

- **за призматичан темељ ТПК17**, димензија мрежасте арматуре: $0,7 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 1,85 \text{ m} \Rightarrow D_e = 0,79 \text{ m} \Rightarrow R_s = 19,3 \text{ }\Omega \Rightarrow \rho_{15} \leq 78 \text{ }\Omega\text{m}$;

- **за ваљкасти темељ ТВ19**, димензија мрежасте арматуре:
 $\emptyset 0,5 \text{ m} \times 1,85 \text{ m} \Rightarrow D_e = 0,5 \text{ m} \Rightarrow R_s = 23,2 \Omega \Rightarrow \rho_{15} \leq 65 \Omega \text{m}$,
односно $D_e = 0,7 \text{ m} \Rightarrow R_s = 21,7 \Omega \Rightarrow \rho_{15} \leq 69 \Omega \text{m}$ за темељ ТВ13.

Закључци:

Извођењем темељног уземљивача задовољен је критеријум а) заштите од повратних прескока: за вод 20 kV ($R_u \leq 25 \Omega$) ако је $\rho \leq 100 \Omega \text{m}$, а за вод 10 kV ($R_u \leq 15 \Omega$) ако су вредности специфичне отпорности тла између 60 Ωm и 90 Ωm .

Пошто се просечне вредности специфичне отпорности тла за подручје Србије реално и крећу у овим границама, може да се закључи:

извођењем темељног уземљивача на лицу места према слици Примера 1 или коришћењем префабрикованог темеља према слици 4.10 у ТП – 10 г задовољава се критеријум заштите СН вода од повратних прескока у складу са важећим ПТН ВН НВ.

На основу изведене анализе такође може да се изведе и закључак да **помоћу стандардног темељног уземљивача стуба тешко је постићи** препоручени виши ниво заштите од атмосферских пражњења код прва два-три стуба до ТС X/10(20) kV, јер би у том случају требало испунити услов: **$R_u \leq 10 \Omega$** , што је могуће само ако је $\rho \approx 50 \Omega \text{m}$. У том случају реалније је да се уземљивач стуба изведе са две контуре: прва контура је стандардни темељни уземљивач, док је друга контура (прстен) на 0,5 m до 1 m од темеља.

Најбољи ефекат код коришћења арматуре у темељу као темељног уземљивача постиже се ако се попуна простора између темеља и темељне јаме врши набијањем у слојевима земље из откопа или из позајмишта.

Табела Примера 1.6 Отпорности уземљења стандардних темелјних уземљивача стубова СН надземних водова

ПРИЗМАТИЧНИ ТЕМЕЉ								
Тип	Димензије темелја		Димензије темелјне чашице		Рачунске димензије арматуре		Карактеристике темелјног уземљивача	
	t [m]	b [m]	t _u [m]	b _u [m]	L _{ae} [m]	D _e [m]	R _{s100} [Ω]	ρ ₁₅ [Ωm]
ТПК 11	2,0	0,8	1,8	0,6	1,65	0,79	20,5	73
ТПК 13		1,0						
ТПК 14		1,2						
ТПК 16		1,4						
ТПК 17	2,2	0,8	2,0	0,6	1,85	0,79	17,1	88
ТПК 18		0,9						
ТПК 19		1,1		0,8				
ТПК 20		1,2						
ТПК 23		1,7						
ТПК 24	2,4	1,1	2,0	0,8	1,85	1,02	17,1	88
ТПК 25		1,2						
ТПК 29		2,0						
ВАЉКАСТИ ТЕМЕЉ								
Тип	Димензије темелја		Димензије темелјне чашице		Рачунске димензије арматуре		Карактеристике темелјног уземљивача	
	t [m]	d [m]	t _u [m]	d _u [m]	L _{ae} [m]	D _e [m]	R _{s100} [Ω]	ρ ₁₅ [Ωm]
ТВ 12	2,0	0,6	1,8	0,4	1,65	0,5	21,7	69
ТВ 13		0,9		0,6				
ТВ 16		1,4						
ТВ 18		1,6						
ТВ 19	2,2	0,6	2,0	0,4	1,85	0,5	18,1	83
ТВ 20		0,9		0,6				
ТВ 21		1,0						
ТВ 22		1,3		0,8				
ТВ 23		1,4						
ТВ 26		1,9						

t [m] – дубина уколавања темелја;
t_u [m] – дужина укљештења стабла;
b [m] – дужина квадратне основе темелја;
d [m] – пречник кружне основе темелја;
b_u [m] – дужина квадратне основе темелјне чашице призматичног темелја;
d_u [m] – пречник кружне основе темелјне чашице ваљкастог темелја;
L_{ae} [m] – ефективна дужина штапног уземљивача: $L_{ae} = t_u - 0,15$;
D_e [m] – пречник еквивалентног штапног уземљивача "арматурног коша":
 $D_e = 1,128 \times (b_u + 0,1)$ за призматични и $D_e = d_u + 0,1$ за ваљкасти темелј;
R_{s100} [Ω] – отпорност распрострања темелјног уземљивача за $\rho = 100 \Omega m$;
ρ₁₅ [Ωm] – дозвољена вредност специфичне отпорности тла за $R_s = 15 \Omega m$.

Пример 2:

На воду 10 kV изведен је "типски" допунски уземљивач стуба у облику прстена на удаљењу 1 m од стуба.

У којим условима овај уземљивач задовољава критеријуме заштите од атмосферских пражњења ?

Решење:

Узима се просечна вредност пречника стабла при дну од 0,2 m, добија се полупречник прстена: $L = 1,1$ m. За ову димензију се са слике Примера 1 добија:

$$r = 17,5 \times 10^{-2} \Omega/\Omega\text{m}$$

Из израза 7.2 ТП – 9 се сада добија да овај уземљивач минималних димензија задовољава ако специфична отпорност тла дуж трасе вода износи:

$$\rho = \frac{R_s}{r} = \frac{15}{17,5 \times 10^{-2}} \leq 86 \Omega\text{m}$$

За $R_s = 10 \Omega$ задовољава приближно: $\rho \leq 60 \Omega\text{m}$.

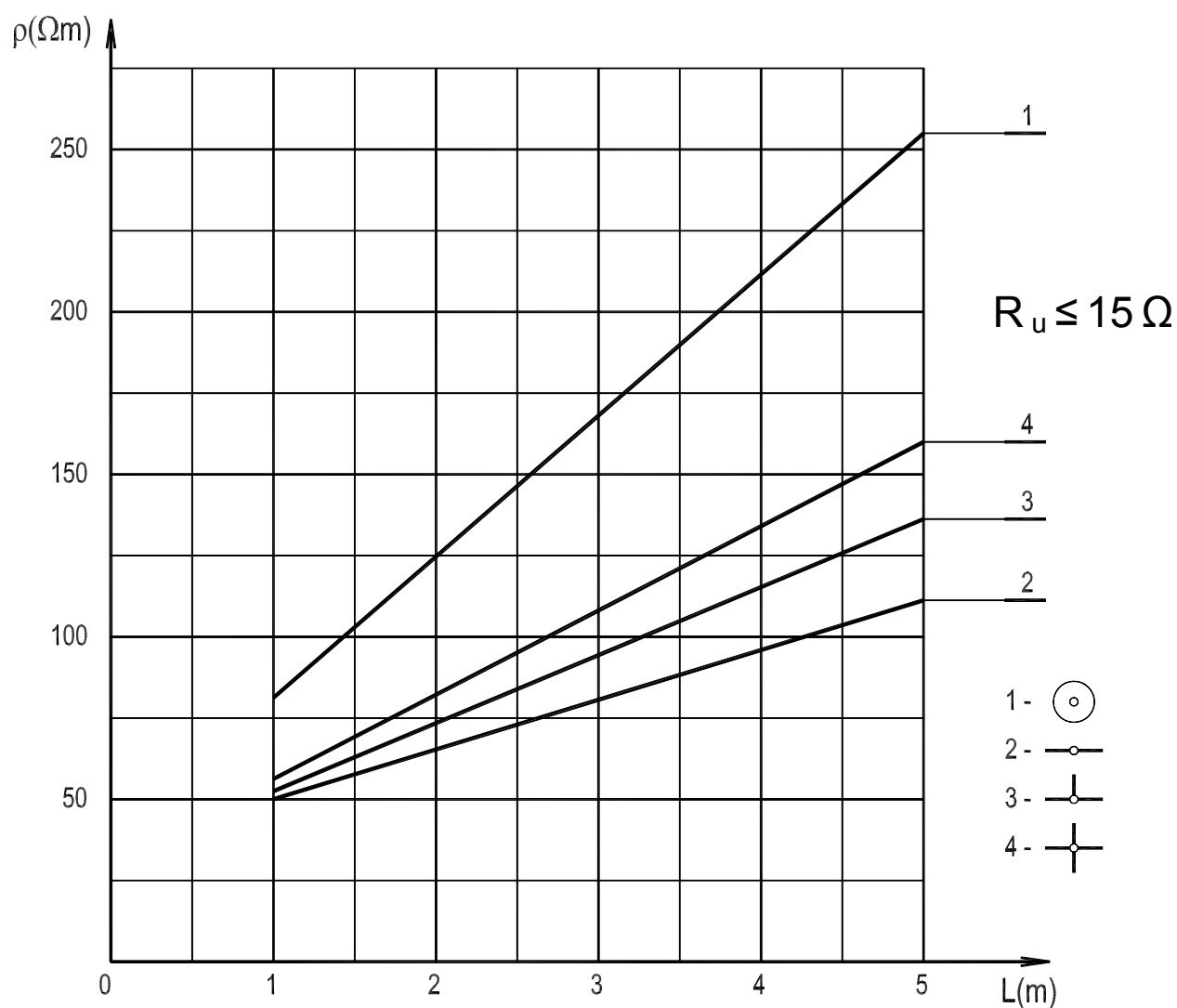
Пример 3:

Вод 10 kV (20 kV) иде трасом на којој се вредност специфичне отпорности тла мења у границама: $40 \Omega m \leq \rho \leq 300 \Omega m$.

Одредити димензије прстенастих и зракастих уземљивача стубова тако да се задовољи критеријум заштите од повратних прескока: $R_u \leq 15 \Omega$.

Решење:

Ток прорачуна је аналоган описаном у Примеру 2, варирајући димензије у границама: $1 m \leq L \leq 5 m$. Резултати прорачуна приказани су на дијаграму на слици Примера 3. Са дијаграма је могуће директно очитати димензије одабраног типа уземљивача за вредности специфичне отпорности тла које се најчешће сусрећу на територији ЕД Србије.



Слика Примера 3 Зависност димензија уземљивача стуба од специфичне отпорности тла

Пример 4:

Вод 10 kV (20 kV) иде трасом на којој је $\rho \leq 100 \Omega\text{m}$.

Ако се димензије допунског прстенастог уземљивача одаберу према критеријумима заштите од атмосферских пражњења ($R_u = 15 \Omega$ или $R_u = 10 \Omega$), при којој вредности трајне струје земљоспоја I_z [A] напон додира код стуба неће прекорачити вредност трајно дозвољеног напона додира: $U_{doz} = 65 \text{ V}$?

Решење:

Напон додира код стуба U_d [V] се успоставља између руке и ногу.

Ако тло око стуба није асфалтирано, услов безбедности од напона додира је испуњен ако напон додира код стуба буде мањи од трајно дозвољеног напона додира $U_{doz} = 65 \text{ V}$, и тада важи однос:

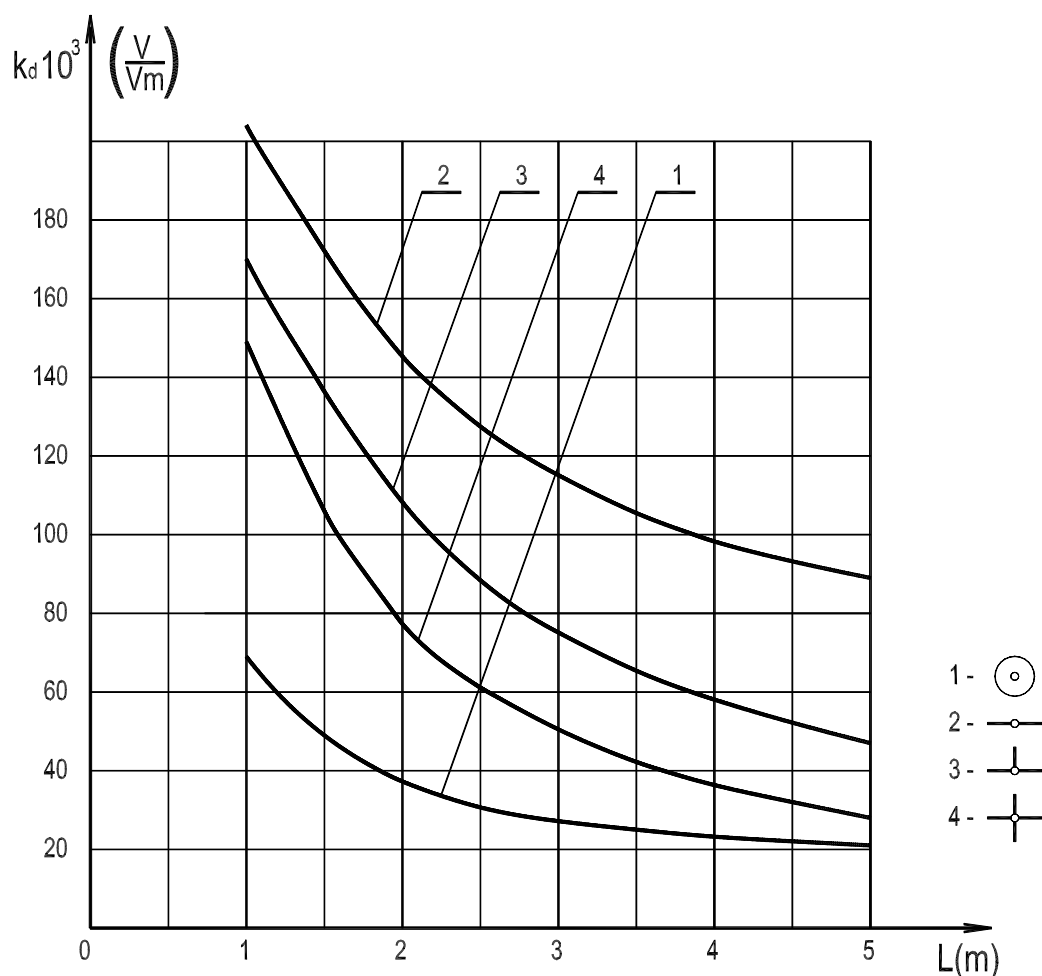
$$U_d = k_s \times k_d \times \rho \times I_z \leq 65 \text{ V}$$

Коефицијент k_s којим се уважава утицај прелазне отпорности човечјих стопала на тлу код стуба, али без утицаја обуће, према тачки 8.5 ТП – 9 при $\rho \approx 100 \Omega\text{m}$ и за вредност електричне отпорности човечјег тела $R_{\check{c}} = 1000 \Omega$ износи:

$$k_s = \frac{1}{1 + 1,5 \cdot 10^{-3} \times \rho} = \frac{1}{1 + 1,5 \cdot 10^{-3} \times 100} \approx 0,87.$$

Коефицијент k_d напона пре додира зависи од распореда (геометрије) уземљивача.

Са дијаграма на слици Примера 3 добија се да при $\rho \approx 100 \Omega\text{m}$ критеријум заштите од повратних прескока задовољава прстенести уземљивач полупречника $L = 1,5 \text{ m}$ (Пример 1), коме одговара коефицијент: $k_d = 50 \times 10^{-3} \text{ V/Vm}$, који се читава са дијаграма на слици Примера 4 (слика 7.6 у ТП – 9), који је урађен према прорачуну датом у [4].



Слика Примера 4 Коефицијент напона пре додирна стуба

Вредност трајне струје земљоспоја при којој одабрани уземљивач једновремено испуњава и услове безбедности од напона додирна износи:

$$I_z = \frac{U_{doz}}{k_s \times k_d \times \rho} = \frac{65}{0,87 \times 50 \times 10^{-3} \times 100} \leq 15 \text{ A}$$

На исти начин се добија да прстенасти уземљивач отпорности уземљења $R_u = 10 \Omega$ ($L = 2,6 \text{ m}$; $k_d = 30 \times 10^{-3} \text{ V/Vm}$) испуњава и услове безбедности од напона додирна ако укупна капацитивна струја земљоспоја у мрежи 10 kV или 20 kV не прелази вредност $I_z \leq 25 \text{ A}$.

У дистрибутивним мрежама Србије са изолованом неутралном тачком дужи рад мреже под земљоспојем могућ је само за $I_z \leq 10 \text{ A}$ – преко ове вредности се уграђује усмерена земљоспојна заштита. Према томе, ако се мерењем добије да је $R_u \leq 15 \Omega$, једновремено су задовољена оба критеријума.

Пример 5:

Вод 10 kV (20 kV) иде трасом на којој се вредности специфичне отпорности тла мењају у границама: $40 \Omega m \leq \rho \leq 300 \Omega m$.

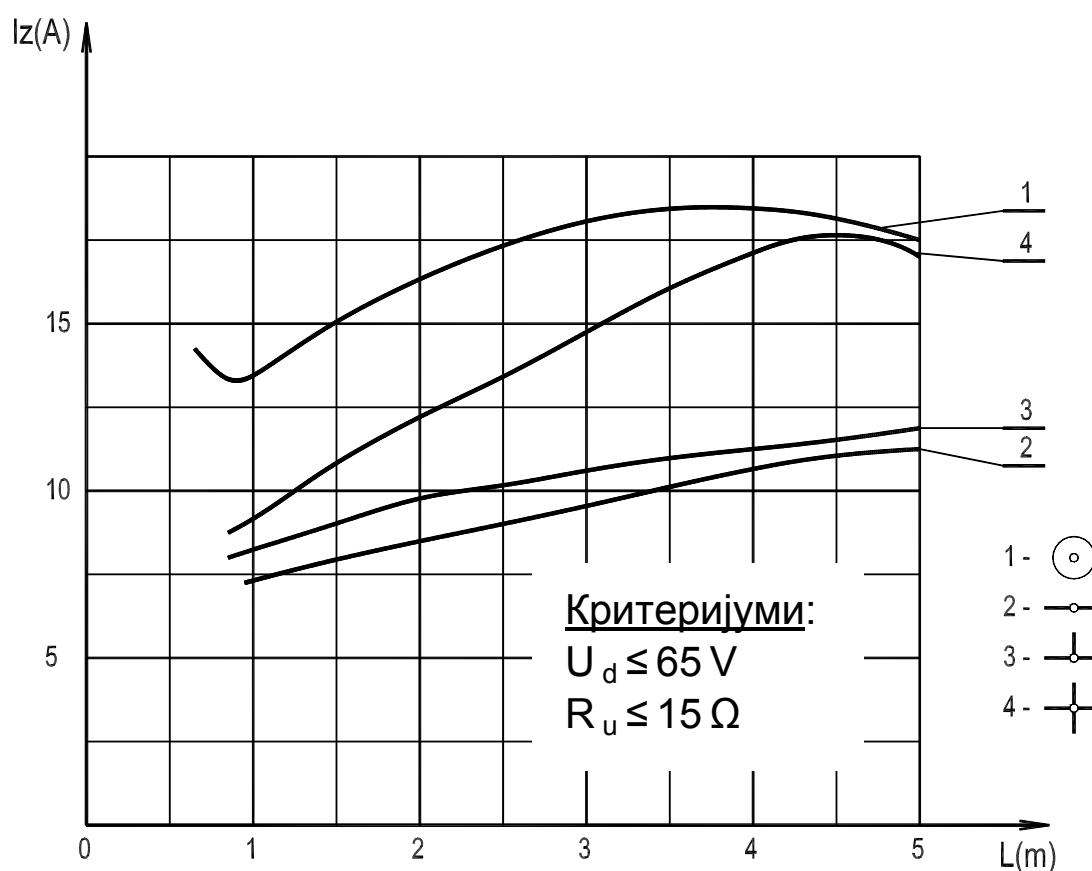
- а) Одредити димензије допунских уземљивача стубова да се једновремено задовољи критеријум заштите од повратних прескока: $R_u \leq 15 \Omega$ и испуне услови безбедности од напона додира: $U_{doz} \leq 65 V$.
- б) Проценити који је од два критеријума под а) строжији при димензионисању уземљивача.

Решење:

а) Прорачун димензија допунског уземљивача стуба

За сваку вредност специфичне отпорности тла ρ прорачунаће се коефицијент k_s према тачки 8.5 ТП – 9, а са дијаграма на слици Примера 3 ће се одредити одговарајућа вредност димензије L одређеног типа уземљивача, према којој ће се са дијаграма на слици Примера 4 да одреди и одговарајућа вредност коефицијента k_d . На крају према изразу из тачке 8.4 ТП – 9 прорачунава се одговарајућа вредност струје земљоспоја I_z при којој је задовољен и услов безбедности од напона додира.

Ток прорачуна за прстенасти уземљивач и $\rho = 100 \Omega m$ дат је у Примеру 4. Резултати прорачуна приказани су на дијаграму на слици Примера 5.



Слика Примера 5 Зависност димензија уземљивача стуба од струје земљоспоја

Са дијаграма могу директно да се прочитају вредности трајних струја земљоспоја које не смеју да се прекораче да би уземљивач одређеног типа и димензија задовољио оба критеријума једновремено: $R_u \leq 15 \Omega$ и $U_{doz} \leq 65 V$.

б) Поређење критеријума: $R_u \leq 15 \Omega$ и $U_{doz} \leq 65 V$

У надземним мрежама 10 kV (20 kV) струје земљоспоја су веома мале: 0,03 A/km (0,06 A/km). Зато се лако закључује да је код надземних мрежа критеријум заштите од повратних прескока строжији од критеријума заштите од напона додиром. Међутим, у изолованим кабловским (укључујући и СН СКС) или мешовитим мрежама струје земљоспоја могу да буду знатне, јер за 10 kV (20 kV) кабл струја земљоспоја износи око 1,4 A/km (3,8 A/km). Међутим, **ако укупна капацитивна струја земљоспоја у мрежи пређе 10 А уграђује се усмерена земљоспојна заштита** која искључује вод у земљоспоју (погледати ТП – 6, тачка 6.4.1.2).

То значи да је дужи рад мреже под земљоспојем могућ само за $I_z \leq 10 A$. За ову вредност струје земљоспоја са дијаграма на слици Примера 5 се види: **за прстенасти уземљивач и зракасти уземљивач са четири крака је практично увек критеријум заштите од повратних прескока строжији од критеријума заштите од напона додиром.**

Према томе, **ако мерењем добијемо да је $R_u \leq 15 \Omega$** , једновремено смо задовољили оба критеријума. Исто важи и за зракасти уземљивач са три крака при $L \geq 2,5 m$, односно са два крака при $L \geq 3,5 m$.

Пример 6:

На крају дугог огранка нисконапонске мреже са ТН системом напајања треба извести допунске уземљиваче бетонских стубова тако да се добије отпорност уземљења неутралног проводника $R_0 = 10 \Omega$.

За просечну вредност специфичне отпорности тла од $\rho \leq 100 \Omega m$ прорачунати уземљиваче ако се изведе:

- а) само један уземљивач на крају огранка;
- б) више "типских" прстенастих уземљивача полупречника прстена $L = 1 m$.

Решење:

- а) Из израза 7.2 ТП – 9 рачунамо релативну отпорност распростирања r :

$$r = \frac{R_s}{\rho} = \frac{10}{100} \times 0,10 = 10 \times 10^{-2} \Omega/\Omega m$$

Са слике Примера 1 се види да задовољава прстенасти уземљивач полупречника: $L \geq 2,6 m$, односно зракасти уземљивач са 4 крака дужине $L \geq 4,6 m$.

- б) Отпорност распростирања "типског" прстенастог уземљивача за $L = 1 m$ износи:

$$R_s = r \times \rho = 18 \times 10^{-2} \times 100 = 18 \Omega$$

Тражена вредност отпорности уземљења од $R_0 = 10 \Omega$ може да се постигне са више "типских" прстенастих уземљивача који су међусобно паралелно везани преко неутралног проводника НН мреже. Број "n" ових уземљивача рачунамо из односа:

$$\frac{1}{R_0} = n \times \frac{1}{R_s} \Rightarrow n = \frac{R_s}{R_0} = \frac{18}{10} = 1,8$$

Потребна су, дакле, два "типска" прстенаста уземљивача.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Правилник о техничким нормативима за изградњу надземних електроенергетских водова називног напона од 1 kV до 400 kV ("Сл. лист СФРЈ", бр. 65/88).
- [2] DIN VDE 0141: јун 1989, Уземљење постројења јаке струје називног напона изнад 1 kV.
- [3] М. Савић и З. Стојковић: "Техника високог напона – Атмосферски пренапони", 1996.
- [4] Т. Бојковић и Н. Мијушковић: "Карактеристике прстенстих и зракастих уземљивача за стубове надземних водова 10 kV (20 kV)", XIV Саветовање ЈУКО CIGRÉ, рад 332.01, Сарајево 1979.
- [5] Ј. Нахман и П. Вукелја: "Студија о уземљењу стубова надземних водова од 10 kV до 110 kV", 2004.
- [6] "Збирка техничких препорука ЕД Србије", септембар 2001.
- [7] Т. Бојковић, М. Танасковић и Д. Перић: "Дистрибуција електричне енергије – решени примери", Академска мисао, Београд, март 2009.

САДРЖАЈ

	Страна
Увод	1
Примери димензионисања уземљења стубова електродистрибутивних надземних водова:	5
Пример 1	5
Пример 2	13
Пример 3	15
Пример 4	17
Пример 5	19
Пример 6	21
Литература	23

