



U Z E M L J E N J E

20. Odrediti potrebnu konfiguraciju uzemljivača TS 110/35kV (kod koje je postrojenje 110kV izvedeno na otvorenom, a postrojenje 35kV u zgradi), a koja zauzima prostor $90 \times 55 \text{m}^2$. Specifična otpornost tla je $\rho = 100 \Omega \text{m}$. Struja jednofaznog kratkog spoja koja se odvodi sa uzemljivača je $I_{uz} = 1.5 \text{kA}$, a kratki spoj se isključuje za vrijeme $t_s = 0.8 \text{s}$.

Rješenje:

Kriterijumi koje treba da zadovolji uzemljivač su:

- Da je **presjek provodnika za uzemljenje:**

$$q \geq q_{\min}$$

gdje je q_{\min} – minimalni presjek provodnika za uzemljenje koji zavisi od struje jednofaznog kratkog spoja koja se sa uzemljivača odvodi u zemlju.

- Da su **potencijalne razlike dodira i koraka:**

$$E_d \leq E_{d, \text{doz}}$$

$$E_k \leq E_{k, \text{doz}}$$

gdje je:

E_d – stvarna maksimalna vrijednost potencijalne razlike dodira koja se pojavljuje u postrojenju tokom odvođenja struje jednofaznog kratkog spoja sa uzemljivača u u zemlju.

E_k – stvarna maksimalna vrijednost potencijalne razlike koraka koja se pojavljuje u postrojenju tokom odvođenja struje jednofaznog kratkog spoja sa uzemljivača u zemlju

$E_{d, \text{doz}}$ – dozvoljena vrijednost potencijalne razlike dodira koja zavisi od mase osobe i od vremena njene izloženosti potencijalnoj razlici dodira (tj. od vremena odvođenja struje jednofaznog kratkog spoja sa uzemljivača u zemlju)

$E_{k, \text{doz}}$ – dozvoljena vrijednost potencijalne razlike koraka koja zavisi od mase osobe i od vremena njene izloženosti potencijalnoj razlici koraka (tj. od vremena odvođenja struje jednofaznog kratkog spoja sa uzemljivača u zemlju)

Sada treba provjeriti kriterijume.

Provjera presjeka provodnika za uzemljenje

Prema Pravilniku o tehničkim normativima za uzemljenja elektroenergetskih postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V, "Sl. list SRJ", br. 61/95) najmanji dozvoljeni presjek provodnika u sistemu uzemljenja (q_{min}) pri kratkotrajnom zagrijavanju određuje se pomoću izraza:

$$q_{min} = k \cdot I_{uz} \cdot \sqrt{t}$$

gdje je:

I_{uz} - struja mjerodavna za toplotni proračun, u kA. Ova struja predstavlja ustaljenu struju jednofaznog zemljospoja.

t - trajanje struje I_{uz} , u s;

k - sačinilac u $mm^2 \cdot (kA)^{-1} \cdot s^{-1/2}$, koji zavisi od vrste materijala provodnika i čija vrijednost za čelične provodnike iznosi 15.0, odnosno 6.25 za bakarne provodnike.

Za uzemljivač se obično bira FeZn traka ili Cu uže. Za zadatak ćemo odabrati FeZn traku poprečnog presjeka $25 \times 4 mm^2$.

Površina poprečnog presjeka je $q = 100 mm^2$.

Minimalno potrebni presjek je:

$$q_{min} = k \cdot I_{uz} \cdot \sqrt{t} = 15 \cdot 1.5 \cdot \sqrt{0.8} = 20.1246 mm^2$$

Zaključuje se da je $q \geq q_{min}$ čime je ovaj kriterijum ispunjen.

Provjera potencijalnih razlika dodira i koraka:

Za definisani uslov trajanja jednofaznog kratkog spoja potrebno je prvo odrediti dozvoljene vrijednosti potencijalnih razlika dodira i koraka.

Dozvoljene potencijalne razlika koraka i dodira za osobu težine 50kg se računaju preko izraza:

$$E_{koraka50, dozvoljeno} = E_{k, doz} = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{dodira50, dozvoljeno} = E_{d, doz} = (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

gdje je:

C_s – koeficijent koji se određuje preko jednačine:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 \cdot h_s + 0.09}$$

ρ – otpornost zemlje do referentne tačke

ρ_s – otpornost površinskog sloja materijala koji se postavlja u $\Omega \cdot m$

t_s – trajanje električnog udara u sekundama

Ako se ne primjenjuje površinski sloj tada je $C_s = 1$ i $\rho_s = \rho$.

Radi smanjenja troškova izvođenja uzemljivača za početak se pretpostavlja da se ne postavlja površinski sloj šljunka ili betona. U tom slučaju je:

$$\rho_s = \rho$$

$$C_s = 1$$

$$E_{d, doz} = 121.777 \text{ V}$$

$$E_{k, doz} = 169.4288 \text{ V}$$

Sada treba izračunati stvarne maksimalne vrijednosti potencijalnih razlika dodira (E_d) i koraka (E_k) koje se mogu pojaviti u postrojenju, i uporediti ih sa dozvoljenim vrijednostima.

STVARNA VRIJEDNOST POTENCIJALNE RAZLIKE DODIRA (E_d) se određuje preko sledećeg postupka:

$$E_d = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_{uz}}{L_M}$$

gdje je:

K_m - geometrijski faktor,

K_i - korektivni faktor neravnomjernosti, koji uzima u obzir neke od grešaka uvedenih pretpostavkama napravljenim pri izvođenju K_m ,

ρ - otpornost tla,

I_{uz}/L_M - prosječna struja po jedinici dužine efektivno ukopanog provodnika uzemljivačkog sistema

- **Geometrijski faktor K_m se računa kao što slijedi:**

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2+h)^2}{8 \cdot D \cdot h} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right]$$

gdje je:

D – rastojanje između paralelnih provodnika u [m]

d – ekvivalentni ili stvarni prečnik provodnika za uzemljenje u [m]

h – dubina ukopavanja uzemljivača u [m]

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

$h_0 = 1 \text{ m}$ (referentna dubina ukopavanja)

Za mreže sa uzemljivačkim štapovima duž ivica, ili za mreže sa uzemljivačkim štapovima u tjemenu mreže, kao i sa štapovima i duž ivica i kroz površinu mreže:

$$K_{ii} = 1$$

Za mreže bez uzemljivačkih štapova ili za mreže sa samo par uzemljivačkih štapova koji nijesu locirani na tjemenu niti duž ivica:

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^{\frac{2}{n}}}$$

n - efektivni broj paralelnih provodnika u datoj mreži, može biti primijenjen i za pravougaone i mreže neregularnog oblika tako da predstavlja broj paralelnih provodnika u ekvivalentnoj pravougaonoj mreži.

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

gdje je:

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_p}$$

$n_b=1$ za kvadratne mreže

$n_c=1$ za kvadratne i pravougaone mreže

$n_d=1$ za kvadratne, pravougaone i L – oblikovane mreže

U suprotnom:

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}}$$

$$n_c = \left[\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{0.7 \cdot A / L_x \cdot L_y}$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

L_C – ukupna dužina provodnika u horizontalnoj mreži u (m)

L_p – periferna dužina (obim) mreže u (m)

A – površina mreže u (m^2)

L_x – maksimalna dužina mreže u x pravcu u (m)

L_y – maksimalna dužina mreže u z pravcu u (m)

D_m – maksimalno rastojanje između bilo koje dvije tačke na mreži u (m)

- **Korektivni faktor neravnomjernosti K_i se računa prema relaciji:**

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

- **Za proračun odnosa I_{uz}/L_M , efektivna dužina provodnika L_M se računa:**

Za mreže bez uzemljivačkih štapova, ili za mreže sa samo nekoliko uzemljivačkih štapova rasutih kroz mrežu, ali od kojih nijedna nije lociran u tjemenu ili duž ivica mreže, efektivna dužina ukopanih provodnika je:

$$L_M = L_C + L_R$$

gdje je:

L_R – ukupna dužina svih štapova u m

Za mreže sa uzemljivačkim štapovima u tjemenu, kao i duž ivica i kroz mrežu, efektivna dužina ukopanih provodnika L_M je:

$$L_M = L_c + \left[1.55 + 1.22 \cdot \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \cdot L_R$$

gdje je:

L_r – dužina svakog pojedinačnog uzemljivačkog štapa u m

STVARNA VRIJEDNOST POTENCIJALNE RAZLIKE KORAKA (E_k) se određuje preko sledećeg postupka:

$$E_k = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_{uz}}{L_s}$$

gdje je:

K_s - geometrijski faktor,

K_i - korektivni faktor neravnomjernosti, koji uzima u obzir neke od grešaka uvedenih pretpostavkama napravljenim pri izvođenju K_s ,

ρ - otpornost tla,

I_{uz}/L_s - prosječna struja po jedinici dužine efektivno ukopanog provodnika uzemljivačkog sistema

- **Geometrijski faktor K_s se računa kao što slijedi:**

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

- **Korektivni faktor neravnomjernosti K_i se računa prema relaciji:**

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

- **Za proračun odnosa I_{uz}/L_s , efektivna dužina provodnika L_s se računa:**

•

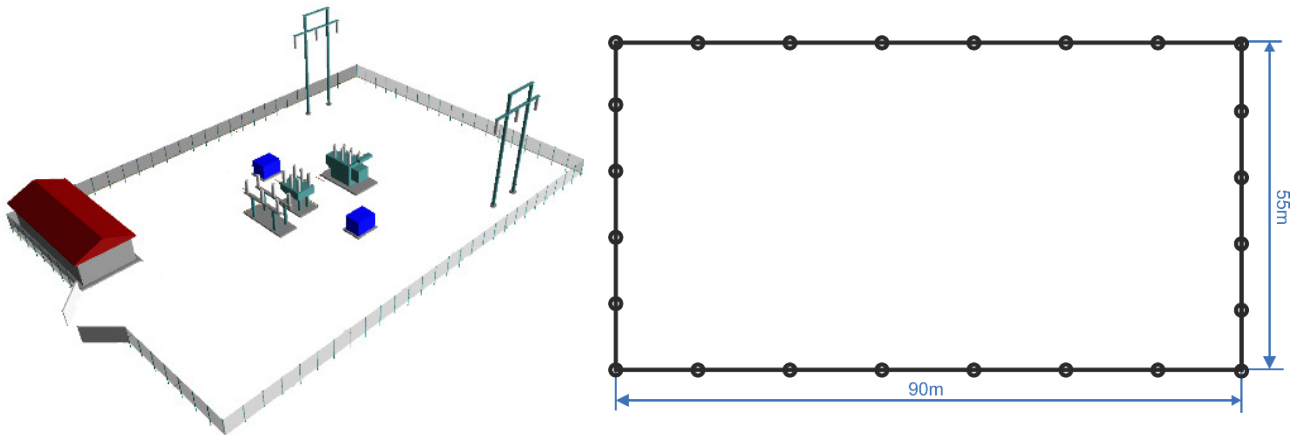
$$L_s = 0.75 \cdot L_c + 0.85 \cdot L_R$$

Oznake promjenjivih su iste kao i kod proračuna potencijalne razlike dodira.

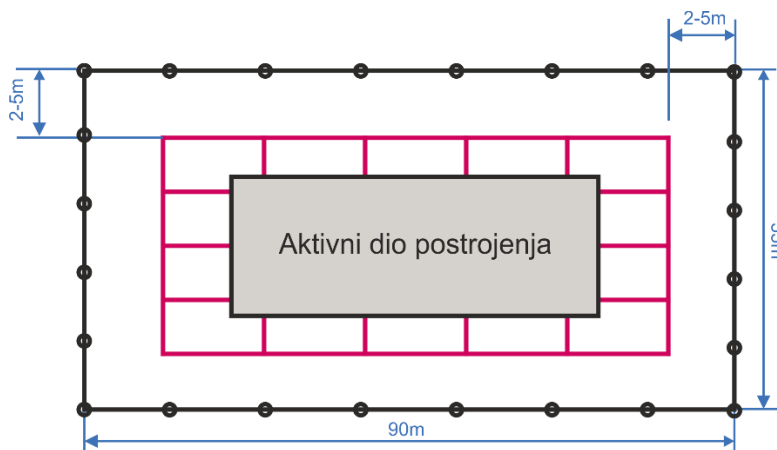
PRORAČUN E_d i E_k

Iz prethodnih relacija za proračun E_d i E_k jasno je da je za njihov proračun prvo definisati konfiguraciju uzemljivača (dimenzije i broj traka uzemljivača, dubinu ukopavanja itd.)

Prema uslovima zadatka TS 110/35kV ima postrojenje 110kV koje je izvedeno na otvorenom i postrojenje 35kV koje je izvedeno u zgradi. Oko postrojenja se postavlja ograda, koja ograđuje prostor postrojenja dimenzija 90m x 55m.



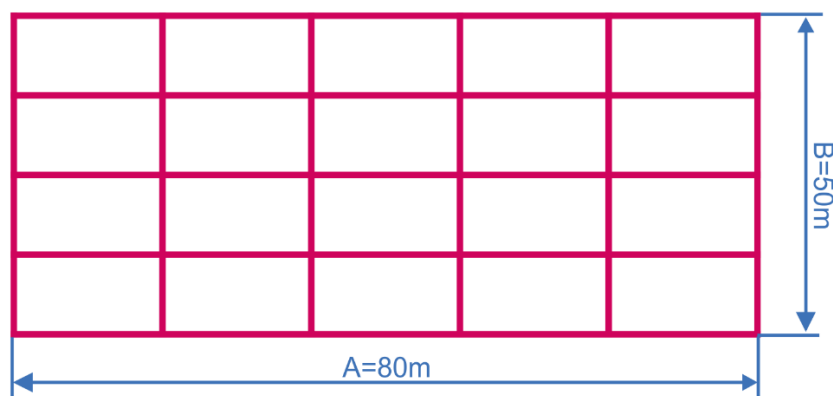
Uzemljivač se postavlja unutar ograde (ograda se obično veže za posebni prstenasti uzemljivač), tako da obuhvata aktivni dio postrojenja (aktivni dio postrojenja je dio prostora na kome se nalazi VN oprema). **Uzemljivač postrojenja na otvorenom se izvodi kao mrežasti uzemljivač.**



Kao što se vidi sa prethodne slike, uzemljivač postrojenja treba udaljiti od ograde za 2-5m, Usvajanjem ovog pravila možemo odrediti dimenzije traženog uzemljivača na:

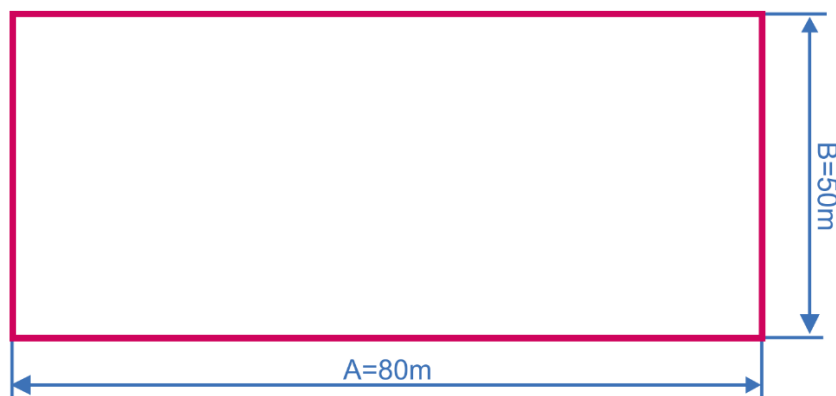
A=80m

B=50m



Sada se postavlja pitanje koliko poprečnih i uzdužnih traka uzemljivača odabrati? Pošto se ne može unaprijed znati koliki je minimalno potrebni broj traka, treba početi od najjednostavnije konfiguracije.

Najjednostavnija konfiguracija je da se koristi pravougaoni oblik uzemljivača tj.



Radi smanjenja troškova izvođenja, pretpostavlja se:

- minimalno dozvoljena dubina ukopavanja od **$h=0.5\text{m}$** .
- izvođenje uzemljivača bez štapova po obimu ili tjemenu uzemljivača tj. $L_R=0$.

Dalje, odabran je presjek provodnika FeZn $25 \times 4 \text{ mm}^2$. Potrebno je odrediti prečnik ekvivalentnog provodnika punog kružnog oblika koji se dobija uz relacije:

$$\left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi = 25 \cdot 4 = 100\text{mm}^2$$

Oдавde se dobija $d = 0.0113\text{m}$

Za pretpostavljenu konfiguraciju uzemljivača dobijaju se sledeći rezultati:

$$D=80\text{m}$$

$$L_C=2 \cdot 80+2 \cdot 50=260\text{m}$$

$$L_p=2 \cdot 80+2 \cdot 50=260\text{m}$$

$$A=80 \cdot 50=4000\text{m}^2$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_p} = 2$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}} = 1.0138$$

$$n_c = 1$$

$$n_d = 1$$

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d = 2.0276$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^n} = 0.25134$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} = 1.2247$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n = 0.94408$$

$$L_M = L_C + L_R = L_C + 0 = 260\text{m}$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2+h)^2}{8 \cdot D \cdot h} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right] = 1.7714$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] = 0.32234$$

$$E_d = 964.8372 \text{ V}$$

$$E_k = 234.0871 \text{ V}$$

Poređenjem dobijenih stvarnih maksimalnih vrijednosti E_d i E_k sa dozvoljenim vrijednostima

$$E_{d,doz} = 121.777 \text{ V}$$

$$E_{k,doz} = 169.4288 \text{ V}$$

vidi se da pretpostavljena konfiguracija uzemljivača **ne zadovoljava** kriterijum potencijalnih razlika dodira i koraka, jer su stvarne vrijednosti veće od dozvoljenih.

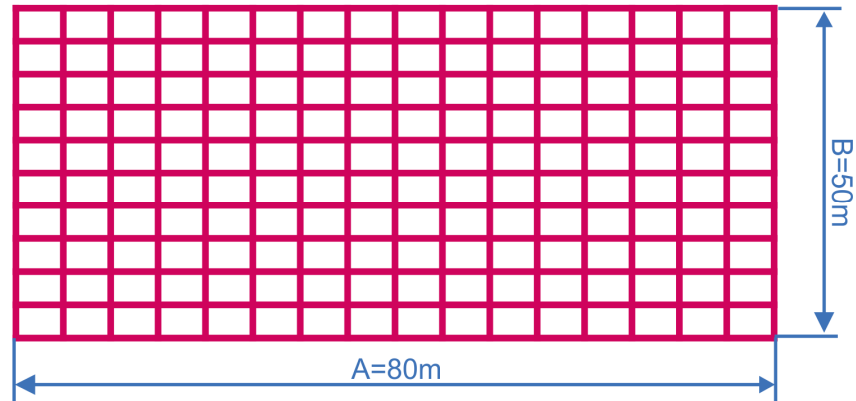
Zato je potrebno preduzeti odgovarajuće mjere!!!

Koje se mjere mogu preduzeti? Na osnovu sagledavanja relacija za proračun uočava se da se rezultati mogu poboljšati:

1. Povećanjem dubine ukopavanja. Dubina ukopavanja se uzima najviše do $h=1\text{m}$ jer su troškovi izvođenja na većim dubinama značajno veći.
2. Povećanjem broja poprečnih i uzdužnih traka. Uobičajeno je da se koristi mrežasti uzemljivač koji ima veći broj poprečnih i uzdužnih traka. Praksa i detaljni proračuni pokazuju da ne treba povećavati broj traka tako da se dobije rastojanje između traka manje od 4-5m, jer se u suprotnom povećavaju investicije a rezultati se ne mogu značajnije poboljšati.

Zato ćemo pretpostaviti novu konfiguraciju sa:

- Dubinom ukopavanja $h=1\text{m}$
- broj poprečnih traka: $N_1 = \frac{A}{5} + 1 = 17$
- broj uzdužnih traka: $N_2 = \frac{B}{5} + 1 = 11$



Za pretpostavljenu konfiguraciju uzemljivača dobijaju se sledeći rezultati:

$$D=5\text{m}$$

$$L_C=11 \cdot 80+17 \cdot 50=1730\text{m}$$

$$L_p=2 \cdot 80+2 \cdot 50=260\text{m}$$

$$A=80 \cdot 50=4000\text{m}^2$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_p} = 13.3077$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}} = 1.0138$$

$$n_c=1$$

$$n_d=1$$

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d = 13.4913$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^{\frac{2}{n}}} = 0.61355$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} = 1.4142$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n = 2.6407$$

$$L_M = L_C + L_R = L_C + 0 = 1730\text{m}$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2+h)^2}{8 \cdot D \cdot h} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right] = 0.59856$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] = 0.27585$$

$$E_d = 137.0469 \text{ V}$$

$$E_k = 84.2103 \text{ V}$$

Poređenjem dobijenih stvarnih maksimalnih vrijednosti E_d i E_k sa dozvoljenim vrijednostima

$$E_{d,doz} = 121.777 \text{ V}$$

$$E_{k,doz} = 169.4288 \text{ V}$$

vidi se da pretpostavljena konfiguracija uzemljivača **ne zadovoljava kriterijum potencijalne razlike dodira** jer je stvarna vrijednost veća od dozvoljene.

Zato je ponovo potrebno preduzeti odgovarajuće mjere!!!

U prethodnom koraku smo uzeli najveću dubinu ukopavanja i maksimalni broj uzdužni i porečnih traka. Daljim povećanjem broja traka ne postižu se značajnije bolji rezultati, a povećanjem dubine ukopavanja troškovi izgradnje se povećavaju.

Bolje rješenje je primjena površinskog sloja materijala (šljunka ili betona), koji se postavlja na zemlji iznad uzemljivača.

Šta se ovim postiže? Ovim se postiže povećanje dozvoljenih vrijednosti potencijalnih razlika dodira i koraka. Naime, vratimo se na relacije za $E_{d,doz}$ i $E_{k,doz}$:

$$E_{k,doz} = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{d,doz} = (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

gdje je:

C_s – koeficijent koji se određuje preko jednačine:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 \cdot h_s + 0.09}$$

U prethodnom proračunu smo uzimali da nema površinskog sloja tla pa je $C_s=1$ i $\rho_s=\rho$.

Ali ako uzmemo površinski sloj šljunka sa $\rho_s=10^3 \Omega m$ i debljine $h_s=0.2m$ (20cm) tada se dobija:

$$E_{d,doz} = 238.4754 \text{ V}$$

$$E_{k,doz} = 636.2226 \text{ V}$$

S obzirom da konfiguracija uzemljivača nije mijenjana, to ostaju iste vrijednosti stvarnih maksimalnih vrijednosti potencijalnih razlika koraka i dodira koje su proračunate u prethodnom koraku tj.

$$E_d = 137.0469 \text{ V}$$

$$E_k = 84.2103 \text{ V}$$

Upoređivanjem vrijednosti može se zaključiti da konfiguracija uzemljivača sa:

- dimenzijama $A=80m$ i $B=50m$
- izvedenim od FeZn trake $25 \times 4mm$
- poprečnih traka: 17
- uzdužnih traka: 11
- ukopan na dubini $h=1m$
- i sa postavljenim površinskim slojem šljunka debljine 20cm

zadovoljava kriterijume izbora.

21. Odrediti potrebnu konfiguraciju uzemljivača TS 35/10kV u zgradi, a koja zauzima prostor 10m x 15m. Specifična otpornost tla je $\rho=100 \Omega\text{m}$. Struja jednofaznog kratkog spoja koja se odvodi sa uzemljivača je $I_{uz}=300\text{A}$, a kratki spoj se isključuje za vrijeme $t_s=1\text{s}$.

Rješenje:

Kriterijumi koje treba da zadovolji uzemljivač su:

- Da je **presjek provodnika za uzemljenje:**

$$q \geq q_{\min}$$

gdje je q_{\min} – minimalni presjek provodnika za uzemljenje koji zavisi od struje jednofaznog kratkog spoja koja se sa uzemljivača odvodi u zemlju.

- Da su **potencijalne razlike dodira i koraka:**

$$E_d \leq E_{d,doz}$$

$$E_k \leq E_{k,doz}$$

gdje je:

E_d – stvarna maksimalna vrijednost potencijalne razlike dodira koja se pojavljuje u postrojenju tokom odvođenja struje jednofaznog kratkog spoja sa uzemljivača u u zemlju.

E_k – stvarna maksimalna vrijednost potencijalne razlike koraka koja se pojavljuje u postrojenju tokom odvođenja struje jednofaznog kratkog spoja sa uzemljivača u zemlju

$E_{d,doz}$ – dozvoljena vrijednost potencijalne razlike dodira koja zavisi od mase osobe i od vremena njene izloženosti potencijalnoj razlici dodira (tj. od vremena odvođenja struje jednofaznog kratkog spoja sa uzemljivača u zemlju)

$E_{k,doz}$ – dozvoljena vrijednost potencijalne razlike koraka koja zavisi od mase osobe i od vremena njene izloženosti potencijalnoj razlici koraka (tj. od vremena odvođenja struje jednofaznog kratkog spoja sa uzemljivača u zemlju)

Sada treba provjeriti kriterijume.

Provjera presjeka provodnika za uzemljenje

Prema Pravilniku o tehničkim normativima za uzemljenja elektroenergetskih postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V, "Sl. list SRJ", br. 61/95) najmanji dozvoljeni presjek provodnika u sistemu uzemljenja (q_{\min}) pri kratkotrajnom zagrijavanju određuje se pomoću izraza:

$$q_{\min} = k \cdot I_{uz} \cdot \sqrt{t}$$

gdje je:

I_{uz} - struja mjerodavna za toplotni proračun, u kA. Ova struja predstavlja ustaljenu struju jednofaznog zemljospoja.

t - trajanje struje I_{uz} , u s;

k - sačinilac u $\text{mm}^2 \cdot (\text{kA})^{-1} \cdot \text{s}^{-1/2}$, koji zavisi od vrste materijala provodnika i čija vrijednost za čelične provodnike iznosi 15.0, odnosno 6.25 za bakarne provodnike.

Za uzemljivač se obično bira FeZn traka ili Cu uže. Za zadatak ćemo odabrati FeZn traku poprečnog presjeka $25 \times 4 \text{ mm}^2$.

Površina poprečnog presjeka je $q = 100 \text{ mm}^2$.

Minimalno potrebni presjek je:

$$q_{\min} = k \cdot I_{\text{uz}} \cdot \sqrt{t} = 15 \cdot 0.3 \cdot \sqrt{1} = 4.5 \text{ mm}^2$$

Zaključuje se da je $q \geq q_{\min}$ čime je ovaj kriterijum ispunjen.

Provjera potencijalnih razlika dodira i koraka:

Za definisani uslov trajanja jednofaznog kratkog spoja potrebno je prvo odrediti dozvoljene vrijednosti potencijalnih razlika dodira i koraka.

Dozvoljene potencijalne razlika koraka i dodira za osobu težine 50kg se računaju preko izraza:

$$E_{k,\text{doz}} = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{d,\text{doz}} = (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

gdje je:

C_s – koeficijent koji se određuje preko jednačine:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 \cdot h_s + 0.09}$$

ρ – otpornost zemlje do referentne tačke

ρ_s – otpornost površinskog sloja materijala koji se postavlja u $\Omega \cdot \text{m}$

t_s – trajanje električnog udara u sekundama

Ako se ne primjenjuje površinski sloj tada je $C_s = 1$ i $\rho_s = \rho$.

Radi smanjenja troškova izvođenja uzemljivača za početak se pretpostavlja da se ne postavlja površinski sloj šljunka ili betona. U tom slučaju je:

$$\rho_s = \rho$$

$$C_s = 1$$

$$E_{d,\text{doz}} = 133.4 \text{ V}$$

$$E_{k,\text{doz}} = 185.6 \text{ V}$$

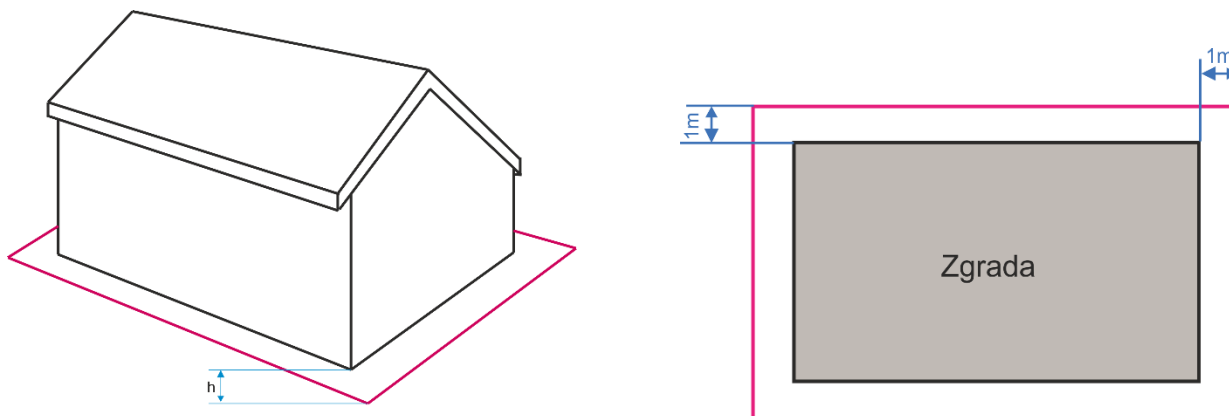
Sada treba izračunati stvarne maksimalne vrijednosti potencijalnih razlika dodira (E_d) i koraka (E_k) koje se mogu pojaviti u postrojenju, i uporediti ih sa dozvoljenim vrijednostima.

Proračun se sprovodi po istim relacijama koje su navedene u prethodnom zadatku.

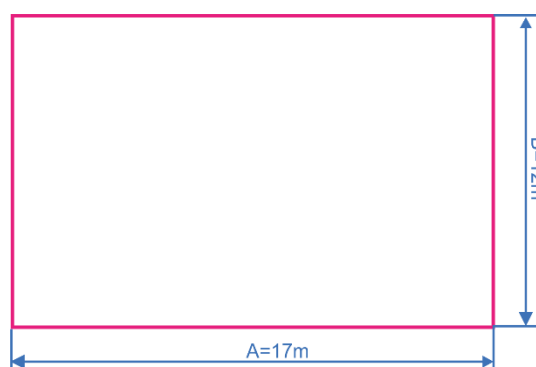
PRORAČUN E_d i E_k

Za proračun E_d i E_k jasno je da je za njihov proračun prvo definisati konfiguraciju uzemljivača (dimenzije i broj traka uzemljivača, dubinu ukopavanja itd.)

Prema uslovima zadatka TS 35/10kV je u zgradi koja je dimenzija 10m x 15m. U ovom slučaju (postrojenja u zgradama) postavlja se **prstenasti uzemljivač oko zgrade** tako da su stranice uzemljivača udaljene 1m od zgrade, i ukopane na određenoj dubinu ukopavanja.



Prema prethodnom, konfiguracija uzemljivača je:



Radi smanjenja troškova izvođenja, pretpostavlja se:

- dubina ukopavanja od **$h=1\text{m}$** .
- izvođenje uzemljivača bez štapova po obimu ili tjemenu uzemljivača tj. $L_R=0$.

Dalje, odabran je presjek provodnika FeZn $25 \times 4 \text{ mm}^2$. Potrebno je odrediti prečnik ekvivalentnog provodnika punog kružnog oblika koji se dobija uz relacije:

$$\left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi = 25 \cdot 4 = 100 \text{ mm}^2$$

Oдавde se dobija $d = 0.0113\text{m}$

Za pretpostavljenu konfiguraciju uzemljivača dobijaju se sledeći rezultati:

$$D=17\text{m}$$

$$L_C=2 \cdot 12+2 \cdot 17=58\text{m}$$

$$L_p=2 \cdot 12+2 \cdot 17=58\text{m}$$

$$A=12 \cdot 17=204\text{m}^2$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_c}{L_p} = 2$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}} = 1.0076$$

$$n_c = 1$$

$$n_d = 1$$

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d = 2.0152$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^{\frac{n}{2}}} = 0.25073$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} = 1.4142$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n = 0.94224$$

$$L_M = L_C + L_R = L_C + 0 = 58\text{m}$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2+h)^2}{8 \cdot D \cdot h} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right] = 1.1672$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] = 0.17703$$

$$E_d = 568.8651 \text{ V}$$

$$E_k = 115.0408 \text{ V}$$

Poređenjem dobijenih stvarnih maksimalnih vrijednosti E_d i E_k sa dozvoljenim vrijednostima

$$E_{d,doz} = 133.4 \text{ V}$$

$$E_{k,doz} = 185.6 \text{ V}$$

vidi se da pretpostavljena konfiguracija uzemljivača **ne zadovoljava kriterijum potencijalne razlike dodira** jer je stvarna vrijednost veća od dozvoljene.

Međutim, treba imati u vidu da se maksimalna vrijednost potencijalne razlike dodira pojavljuje na sredini prstenastog uzemljivača. U slučaju TS, to je na sredini zgrade kod koje je pod betoniran, tako da u proračun dozvoljene vrijednosti potencijalne razlike dodira treba unaprijed ići sa površinskim slojem materijala – betonom debljine $h_s = 10\text{cm}$. Specifična otpornost betona je $\rho_s = 10^5 \Omega\text{m}$. Tada je:

$$E_{d,doz} = 12121.4 \text{ V}$$

pa se zaključuje da prstenasti uzemljivač zadovoljava kriterijume izbora.