

**Príklad návrhu uzemnenia vo VN sieti
v zmysle *STN EN 50522: Uzemňovanie
silnoprúdových inštalácií na striedavé
napätia prevyšujúce 1 kV***

Rozsah použitia normy STN EN 50522

Táto norma špecifikuje požiadavky na návrh a stavbu uzemňovacích sústav elektrických inštalácií v sieťach s menovitým striedavým napätím nad 1 kV a s menovitou frekvenciou do 60 Hz vrátane tak, aby sa pri určenom použití zaistila bezpečnosť a správne funkcie.

V tejto norme sa pod elektrickou silnoprúdovou inštaláciou rozumie:

- a) elektrická stanica, zahŕňajúca elektrickú stanicu napájajúcu trakčné vedenia;
- b) elektrické inštalácie na stožiaroch, stĺpoch a vežiach;
spínacie zariadenia a/alebo transformátory umiestnené mimo uzavretého elektrického prevádzkového priestoru;
- c) jedna alebo viac elektrární umiestnených v jednej lokalite;
inštalácia zahŕňa generátory a transformátory so všetkými pridruženými spínacími zariadeniami a všetkými elektrickými pomocnými systémami; prepájacie vedenia medzi elektrárnami umiestnenými v rozdielnych lokalitách sú vylúčené z rozsahu normy;
- d) elektrická sieť továrne, priemyselného podniku alebo inej priemyselnej, poľnohospodárskej, obchodnej alebo verejnej prevádzky.

Definície normy STN EN 50522

Elektrická stanica (v zmysle STN EN 50522 čl. 3.2.2): časť elektrizačnej sústavy, koncentrovaná na danom mieste, vrátane ukončení prenosových a distribučných vedení, spínacích zariadení a príslušenstva, ktorá môže zahŕňať transformátory; vo všeobecnosti zahŕňa prostriedky potrebné pre bezpečnosť a riadenie celého systému (napríklad ochranné prístroje).

Poznámka VSD: elektrická stanica VVN/VN (so zhášacími tlmivkami, s uzemneným neutrálnym bodom), elektrická stanica VN/VN, distribučná transformačná stanica VN/NN (bez zhášacích tlmiviek, bez uzemnenia neutrálneho bodu).

Sieť s rezonančne uzemneným neutrálnym bodom (v zmysle STN EN 50522 čl. 3.4.26): sieť, v ktorej je aspoň jeden neutrálny bod *transformátora* alebo *transformátora na vytvorenie neutrálneho bodu* uzemnený cez zhášaciu tlmivku a kombinovaná indukčnosť všetkých zhášacích tlmiviek je naladená na zemnú kapacitu siete pri prevádzkovej frekvencii. V prípade samozhášacej poruchy s oblúkom existujú dve rozdielne používané prevádzkové metódy:

- samočinné odpojenie;
- trvalá prevádzka počas procesu lokalizácie poruchy.

Za účelom uľahčenia lokalizácie poruchy a prevádzky existujú rozdielne podporné postupy:

- krátkodobé uzemnenie na detekciu;
- krátkodobé uzemnenie na vypnutie;
- prevádzkové opatrenia, ako je napríklad odpojenie zviazaných prípojnic;
- uzemnenie fázy.

Zhášacia tlmivka môže mať paralelne pripojený rezistor s vysokým odporom na uľahčenie detekcie poruchy

Poznámka VSD: staršie označenie siete s rezonančne uzemneným neutrálnym bodom bolo kompenzovaná sieť.

Sieť s uzemneným neutrálnym bodom cez nízku impedanciu (v zmysle STN EN 50522 čl. 3.4.27): sieť, v ktorej aspoň jeden neutrálny bod transformátora, transformátora na vytvorenie neutrálneho bodu alebo generátora je uzemnený priamo alebo cez impedanciu navrhnutú tak, že z dôvodu zemného poruchové spojenia v ktoromkoľvek mieste vrcholová hodnota poruchového prúdu spôsobí spoľahlivé samočinné vypnutie.

Poznámka VSD: staršie označenie siete s uzemneným neutrálnym bodom cez nízku impedanciu bolo sieť s účinným uzemnením neutrálneho bodu cez nízku impedanciu

Odpor uzemnenia R_E (v zmysle STN EN 50522 čl. 3.4.10): činná zložka impedancie proti zemi.

Napätie uzemňovacej sústavy U_E (v zmysle STN EN 50522 čl. 3.4.12): napätie medzi uzemňovacou sústavou a referenčnou zemou.

Redukčný činiteľ r (v zmysle STN EN 50522 čl. 3.4.30): činiteľ r trojfázového vedenia je pomer prúdu tečúceho do zeme a súčtu nulových zložiek prúdov v krajných vodičoch hlavného obvodu ($r = I_E/3I_0$) v mieste vzdialenom od miesta skratu a uzemňovacej sústavy inštalácie. Uzemňovacie laná nadzemných vedení a kovové plášte káblov uložených v zemi sa podieľajú na vedení poruchových prúdov vracajúcich sa zemou. Preberajú časť zemného prúdu. Pomocou tohto účinku uzemňovacia sústava vysokonapäťovej inštalácie, v ktorej nastalo zemné poruchové spojenie, bude účinne vybitá z pohľadu zemného poruchového prúdu. Miera tohto odľahčenia je určená redukčným činiteľom.

Poznámka VSD: vzhľadom na zmiešaný charakter VN sietí sa uvažuje s najhorším stavom $r=1$

Prúd tečúci do zeme I_E (v zmysle STN EN 50522 čl. 3.4.29): prúd tečúci do zeme cez odpor uzemnenia R_E

Zemný poruchový prúd I_F (v zmysle STN EN 50522 čl. 3.4.28): prúd, ktorý tečie z hlavného obvodu do zeme alebo do uzemnených častí v mieste poruchy (v mieste zemného poruchového spojenia).

POZNÁMKA 1. – Pre jednotlivé zemné poruchové spojenia je to:

- v sieťach s izolovaným neutrálnym bodom, kapacitný prúd zemného poruchového spojenia,
- v sieťach s uzemnením cez veľký činný odpor, prúd zemného poruchového spojenia tvorený zložkami RC,
- v sieťach s rezonančne uzemneným neutrálnym bodom, zvyškový zemný poruchový prúd;
- v sieťach s priamo uzemneným neutrálnym bodom alebo v sieťach s uzemnením neutrálneho bodu cez nízku impedanciu, skratový prúd medzi krajným vodičom a zemou,

POZNÁMKA 2. – Zemný poruchový prúd môže byť dôsledkom dvojitého zemného poruchového spojenia a spojenia medzi

krajným vodičom a krajným vodičom, krajným vodičom a zemou.

I''_{k1} - **začiatkový symetrický skratový prúd** pri skrate medzi krajným vodičom a zemou vypočítaný podľa EN 60909.

Poznámka VSD: začiatkový symetrický skratový prúd pri skrate medzi krajným vodičom a zemou je daný vektorovým súčtom nominálneho prúdu odporníka a kapacitného prúdu v danom uzle $I''_{k1} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$. Pre účely návrhu, rekonštrukcie a revízie elektrických zariadení je potrebné si vyžiadať konkrétnu hodnotu začiatkového symetrického skratového prúdu pri skrate medzi krajným vodičom a zemou zo strany VSD.

I_{RES} - **zvyškový zemný poruchový prúd**. Ak nie je k dispozícii presná hodnota, môže sa predpokladať, že zodpovedá 10 % z I_c .

Poznámka VSD: VSD stanovuje hodnotu I_{RES} ako 10% z I_c . Pre účely návrhu, rekonštrukcie a revízie elektrických zariadení je potrebné si vyžiadať konkrétnu hodnotu zvyškového zemného poruchového prúdu zo strany VSD.

Príloha D Výpočet prúdového zaťaženia uzemňovacích vodičov a uzemňovačov

Pri poruchových prúdoch, ktoré sú prerušené v čase kratšom ako 5 sekúnd, sa prierez uzemňovacieho vodiča alebo uzemňovača vypočíta podľa nasledujúceho vzorca:

$$A = \frac{I}{K} \times \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}}$$

Kde:

A - Prierez v milimetroch štvorcových

I - Prúd vodiča v ampéroch (efektívna hodnota). Podľa tabuľky 1 STN EN 50522 v sieťach s rezonančne uzemneným neutrálnym bodom je potrebné použiť hodnotu prúdu dvojitého zemného spojenia I''_{KEE} , ktorého maximálnu hodnotu je možné vypočítať ako 85% začiatočného symetrického skratového prúdu I''_{k3} .

V sieťach s uzemneným neutrálnym bodom cez nízku impedanciu je potrebné použiť hodnotu začiatočného symetrického skratového prúdu pri skrato medzi krajným vodičom a zemou I''_{k1} . Vzhľadom na zmiešaný charakter VN sietí sa uvažuje s najhorším stavom redukčného činiteľa $r=1$ t.j. $I''_{k1} = I_E$.

Typ vysokonapäťovej siete	Prúdy na výpočet tepelnej záťaže ^{a e}		Prúdy na výpočet napätia uzemňovacej sústavy a dotykových napätí
	Uzemňovač	Uzemňovací vodič	
Siete s izolovaným neutrálnym bodom			
	I''_{KEE}	I''_{KEE}	$I_E = r \cdot I_C^b$
Sieť s rezonančne uzemneným neutrálnym bodom Zahŕňa krátkodobé uzemnenie za účelom detekcie			
Elektrické stanice bez zhášacích tlmiviek ^f	I''_{KEE}	I''_{KEE}	$I_E = r \cdot I_{RES}^b$
Elektrické stanice so zhášacími tlmivkami	I''_{KEE}	I''_{KEE}^c	$I_E = r \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{RES}^2}^{b h}$
Siete s nízkoimpedančným uzemnením neutrálneho bodu Zahŕňajú krátkodobé uzemnenie za účelom vypínania ^g			
Elektrické stanice bez uzemnenia neutrálneho bodu	I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \cdot I''_{k1}$
Elektrické stanice s uzemneným neutrálnym bodom	I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \cdot (I''_{k1} - I_N)^d$

t_f - Trvanie poruchového prúdu v sekundách

K - Konštanta závislá od materiálu, ktorým preteká prúd, za predpokladu začiatočnej teploty 20 °C (tab. D.1 STN EN 50522).

Materiál	K v $A\sqrt{s}/mm^2$
Med'	226
Hliník	148
Oceľ	78

β - Prevrátená hodnota teplotného činiteľa odporu časti, ktorou preteká prúd pri 0 °C (tab. D.1 STN EN 50522).

Materiál	β °C
Med'	234,5
Hliník	228
Oceľ	202

Θ_i - Začiatočná teplota v °C. Uvažujeme teplotu okolitej pôdy 20 °C v hĺbke 1 m.

Θ_f - Konečná teplota v °C. Uvažujeme teplotu oceľového uzemňovača 300°C, alebo maximálnu teplotu jadra uzemňovacieho vodiča pri skrate podľa katalógových hodnôt.

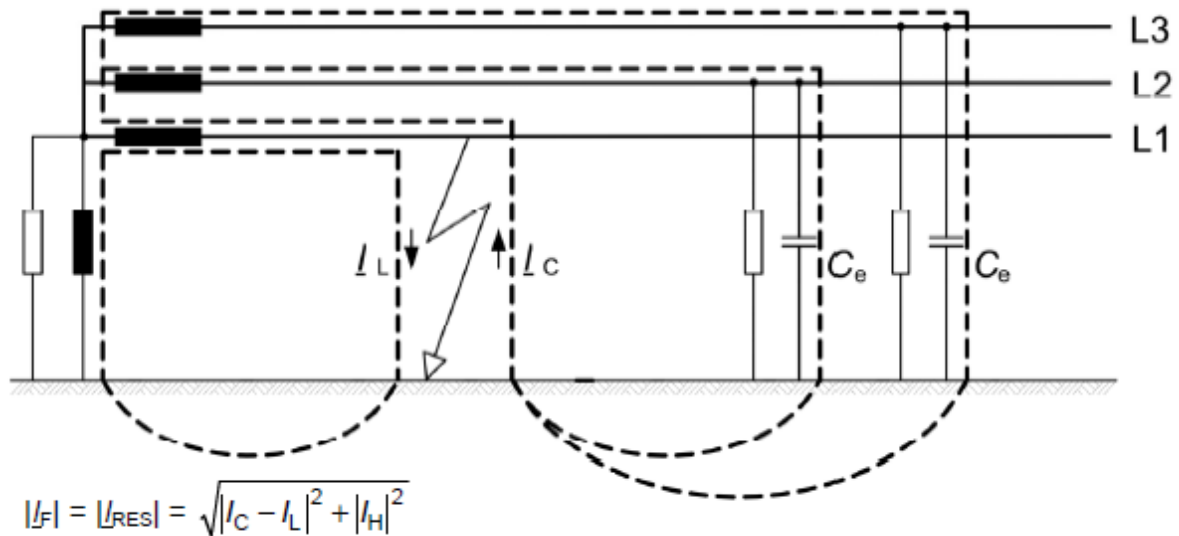
Výpočet podľa normy STN EN 50522

Pre výpočet dotykových napätí v sieťach VN je potrebné poznať hodnotu prúdu tečúceho do zeme I_E . VSD hodnotu I_E stanovuje variantne, samostatne pre účely revízií I_E Revízia (aktuálna hodnota) a samostatne pre účely nových zariadení I_E Projekt.

Hodnotu prúdu tečúceho do zeme I_E je možné získať po prihlásení sa do portálu eVSD <https://www.vsds.sk/edso/domov> a následnom otvorení aplikácie Skratových pomerov.

The screenshot displays the VSD website interface. At the top left is the VSD logo. A green navigation bar contains the following items: 'Informácie a dokumenty' (highlighted), 'Odberatelia elektriny', 'Výrobcovia elektriny', 'Dodávatelia elektriny', 'Dodávatelia služieb', and 'Služby pre vás'. Below this, a left sidebar lists: 'Technické podmienky', 'Meranie distribúcie elektriny', 'Plánované odstávky', 'Zakreslenie sietí', 'Dokumenty', 'Telekomunikačné podniky', 'Typový diagram odberu', 'Časopis VSD info', and 'Skratové pomery' (with a mouse cursor pointing to it). The main content area features a large 'Informácie a dokumenty' header, a 'Samospráva' section with a circular icon, and a 'Portál eVSD' section with a square icon. A text block states: 'Na rozlohe 16 tisíc km² prevádzkujeme 56 elektrických, transformačných a spínacích staníc, 23 tisíc km vedení na napäťovej úrovni VVN, VN a NN a vyše 5 tisíc distribučných transformačných staníc 22/04 kV.' To the right, contact information is provided: 'Zákaznícka linka VSD 0850 123 312' and 'Poruchová linka VSD 0800 123 332'.

Sieť s rezonančne uzemneným neutrálnym bodom



Príklad na eVSD pre sieť s rezonančne uzemneným neutrálnym bodom:

Zvolené miesto v distribučnej sústave: TS0873-0005 Chrást R 22 kV

Pre dimenzovanie zariadení vo zvolenom mieste distribučnej sústavy:

I''_{k3}	1.61 kA
čas vypnutia T_k (pre I''_{k3})	1.00 s
i_p	2.96 kA
R/X	0.72
I_{th3} (1s)	1.62 kA

Pre návrh uzemňovacej sústavy vo zvolenom mieste distribučnej sústavy:

I_E (projekt)	38 A
I_E (revízia)	23 A
Spôsob uzemnenia neutrálneho bodu	TL
čas vypnutia t_f (pre I_E) – pre určenie dovoleného dotykového napätia a výpočet odporu uzemnenia	> 10 s

Návrh uzemnenia z pohľadu dovoleného dotykového napätia

Pri trvaní zemnej poruchy $t_f > 10$ sek. je dovolené dotykové napätie podľa STN EN 50522 čl. 5.4.3 $U_{TP} = 80V$.

Určenie prúdu tečúceho do zeme na výpočet napätia uzemňovacej sústavy a dotykových napätí pre **elektrické stanice bez zhášacích tlmiviek (distribučné transformačné stanice VN/NN)**:

$$I_E = I_F = r \times I_{RES}$$
$$I_E = 1 \times 38A = 38A$$

Výpočet odporu uzemnenia uzemňovacej sústavy elektrickej stanice bez zhášacích tlmiviek:

$$R_E \leq \frac{2xU_{TP}^1}{I_E} \leq \frac{2x80V}{38A} \leq 4,21\Omega$$

V distribučných transformačných staniciach VN/NN sa obvykle zriaďuje spoločná uzemňovacia sústava. V prípade spoločného uzemnenia VN/NN sú pre odpory uzemnenia rozhodujúce tie požiadavky, ktoré sú prísnejšie (na uzemnenie v inštalácii so striedavým napätím do 1 000 V podľa STN 33 2000-4-41, v inštalácii so striedavým napätím nad 1 000 V podľa STN EN 50522 (33 3201).

Návrh prierezu uzemňovacích pásov:

Pre prúd dvojitého zemného poruchového spojenia I''_{KEE} sa môže použiť 85 % začiatočného symetrického skratového prúdu I''_{k3} ako maximálna hodnota.

Minimálny prierez uzemňovacieho vodiča, jednožilového kábla, určíme nasledovne:

$$A = \frac{I''_{KEE}}{K} \times \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}} = \frac{0,85 \times 1610}{148} \times \sqrt{\frac{1}{\ln \frac{160 + 228}{20 + 228}}} = 13,82mm^2$$

Minimálny prierez uzemňovacieho vodiča s hliníkovým jadrom je $13,82mm^2$.

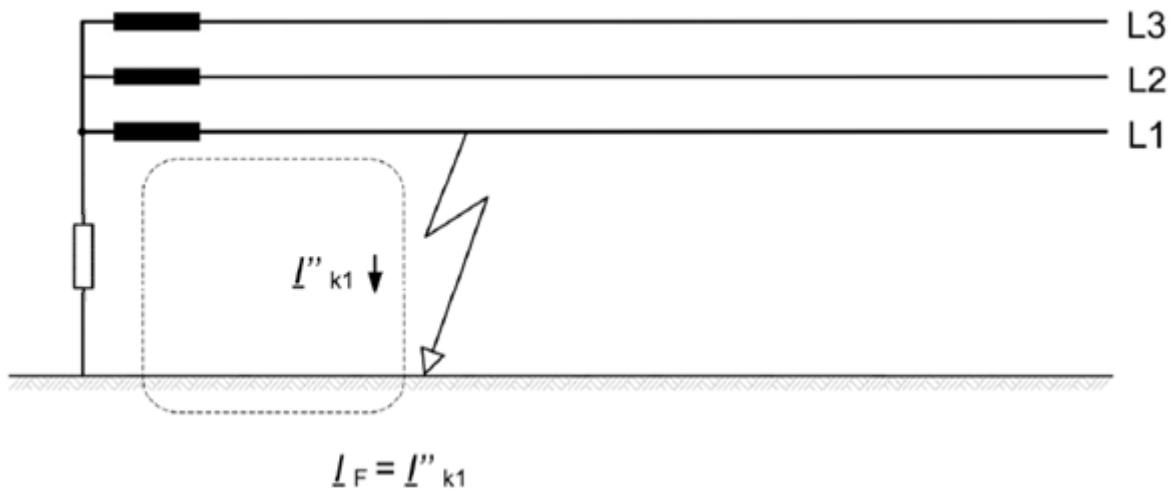
Minimálny prierez uzemňovača v pôde, určíme nasledovne:

$$A = \frac{I''_{KEE}}{K} \times \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}} = \frac{0,85 \times 1610}{78} \times \sqrt{\frac{1}{\ln \frac{300 + 202}{20 + 202}}} = 19,42mm^2$$

Minimálny prierez oceľového uzemňovača je $19,42mm^2$.

¹ STN EN 50522 kap. 5.4.2 podmienka C2

Sieť s nízkoimpedančným uzemnením neutrálneho bodu



Príklad na eVSD pre sieť s uzemneným neutrálnym bodom cez nízku impedanciu:

Zvolené miesto v distribučnej sústave: TS0586-0307 Družba R 22 kV	
Pre dimenzovanie zariadení vo zvolenom mieste distribučnej sústavy:	
I''_{k3}	9.93 kA
čas vypnutia T_k (pre I''_{k3})	1.00 s
i_p	27.85 kA
R/X	0.10
I_{th3} (1s)	10.15 kA
Pre návrh uzemňovacej sústavy vo zvolenom mieste distribučnej sústavy:	
I_E (projekt)	597 A
I_E (revízia)	597 A
Spôsob uzemnenia neutrálneho bodu	R
čas vypnutia t_f (pre I_E) – pre určenie dovoleného dotykového napätia a výpočet odporu uzemnenia	0,36 s

Návrh uzemnenia z pohľadu dovoleného dotykového napätia

Pri trvaní zemnej poruchy $t_f = 0,36$ sek. je dovolené dotykové napätie podľa STN EN 50522 čl. 5.4.3 $U_{TP} = 364V$

Určenie prúdu tečúceho do zeme na výpočet napätia uzemňovacej sústavy a dotykových napätí pre **elektrické stanice bez uzemnenia neutrálneho bodu (distribučné transformačné stanice VN/NN)**:

$$I_E = I_F = r \times I_{k1}''$$

$$I_E = 1 \times 597A = 597A$$

Výpočet odporu uzemnenia uzemňovacej sústavy elektrickej stanice:

$$R_E \leq \frac{2xU_{TP}^2}{I_E} \leq \frac{2x364V}{597A} \leq 1,22\Omega$$

V distribučných transformačných staniách VN/NN sa obvykle zriaďuje spoločná uzemňovacia sústava. V prípade spoločného uzemnenia VN/NN sú pre odpory uzemnenia rozhodujúce tie požiadavky, ktoré sú prísnejšie (na uzemnenie v inštalácii so striedavým napätím do 1 000 V podľa STN 33 2000-4-41, v inštalácii so striedavým napätím nad 1 000 V podľa STN EN 50522 (33 3201).

Návrh prierezu uzemňovacích pásov:

Začiatkový symetrický skratový prúd pri skrate medzi krajným vodičom a zemou I_{k1}'' sa v tomto prípade rovná I_E .

Minimálny prierez uzemňovacieho vodiča, jednožilového kábla, určíme nasledovne:

$$A = \frac{I_{k1}''}{K} \times \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}} = \frac{597}{148} \times \sqrt{\frac{0,36}{\ln \frac{160 + 228}{20 + 228}}} = 3,62mm^2$$

Minimálny prierez uzemňovacieho vodiča s hliníkovým jadrom napr. NAYY je 13,82mm².

Minimálny prierez uzemňovača v pôde, určíme nasledovne:

$$A = \frac{I_{k1}''}{K} \times \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}} = \frac{597}{78} \times \sqrt{\frac{0,36}{\ln \frac{300 + 202}{20 + 202}}} = 5,08mm^2$$

Minimálny prierez oceľového uzemňovača FeZn je 19,42mm².

² STN EN 50522 kap. 5.4.2 podmienka C2