

VŠB – TU Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra obecné elektrotechniky

# UZEMNĚNÍ

1. Zemniče a hodnoty jejich zemních odporů
2. Uzemnění objektů
3. Výpočty uzemnění
4. Měření rezistivity půdy

## 1. Zemniče a hodnoty jejich zemních odporů

### Síť TT

V síti TT se vyžaduje, aby odpor uzemnění vyhovoval podmínce

$$R_A \times I_a \leq 50 \text{ V, popř. } R_t \times I_{a \text{ max}} \leq 50 \text{ V}$$

Odpor uzemnění  $R_A$  resp.  $R_t$  **při použití chráničů** nesmí být větší než hodnoty uvedené v tabulce:

$I_{\Delta n}$	Maximální odpor uzemnění pro dotykové napětí	
	50 V	25 V
3 A	16 $\Omega$	8 $\Omega$
1 A	50 $\Omega$	25 $\Omega$
500 mA	100 $\Omega$	50 $\Omega$
300 mA	166 $\Omega$	83 $\Omega$
30 mA	1666 $\Omega$	833 $\Omega$

Jestliže **se použijí nadproudové jisticí prvky**, nesmí být odpor uzemnění větší než hodnoty dle další tabulky:

$I_n$ [A]		2	4	6	10	16	20	25
Pojistky	závitové	5,69	2,86	1,92	1,08	0,75	0,56	0,42
	výkonové	5,43	2,70	1,79	1,08	0,77	0,59	0,46
Charakteristiky jističů	B	5,00	2,50	1,67	1,00	0,63	0,50	0,40
	C	2,50	1,25	0,83	0,50	0,31	0,25	0,20
	D	1,25	0,63	0,42	0,25	0,16	0,125	0,10
	L	4,76	2,38	1,59	0,95	0,64	0,51	0,41
	U	2,08	1,04	0,69	0,42	0,28	0,22	0,18

### Sítě TN i TT

Hodnoty společného uzemnění pro elektrická zařízení vn a nn (např. uzlu transformátoru) musí vyhovovat vztahu

$$R_B \leq U_d / I_z ,$$

kde  $R_B$  ...celkový odpor uzemnění vodičů PEN všech odcházejících vedení z transformovny včetně odporu uzemnění transformovny v  $\Omega$ ,

$U_d$  ...dotykové napětí, jehož hodnota je v síti TN 50 V, v síti TT 125 V (pokud se však napětí může zavléci na zařízení nn, je to opět 50 V),

$I_z$  ...zemní proud na straně vn (kapacitní i svodový) nebo proud jednopólového zkratu (v síti s kompenzací je max. 300 A, jinak může být u kabelových sítí až 1 500 A a ve venkovních a smíšených sítí 450 A).

Odpor uzemnění tedy musí být poměrně velmi malý, jak uvádí následující tabulka:

$U_d$	Odpor společného uzemnění vn a nn $R_B$ pro $I_z$		
	300 A	450 A	1 500 A
50 V	0,167 $\Omega$	0,111 $\Omega$	0,033 $\Omega$
125 V	0,417 $\Omega$	0,278 $\Omega$	0,083 $\Omega$

Pokud není možno uvedenému požadavku vyhovět, musí se uzemnění vn a nn strany rozdělit (nn strana se uzemnění mimo transformátor např. na prvním nebo druhém stožáru vedení nn) a kolem transformátoru se provede izolační úprava povrchu.

## 2. Uzemnění objektů

Nejobvyklejším případem je provedení uzemnění za účelem ochrany před úrazem elektrickým proudem a ochrany před bleskem.

**Velikost uzemnění provedeného za účelem ochrany před úrazem elektrickým proudem** je uvedena v **ČSN 33 2000-4-41:2000**.

**Velikost uzemnění provedeného za účelem ochrany před bleskem** je stanovena v **ČSN 34 1390**.

Podmínky, jaké musí být splněny, jsou-li uzemnění provedené za účelem ochrany před úrazem elektrickým proudem a uzemnění provedeného za účelem ochrany před bleskem spojena, jsou uvedeny v ČSN 33 2000-5-54. V podstatě společné uzemnění musí splňovat jak podmínky ČSN 33 2000-4-41 tak podmínky ČSN 34 1390. Přitom se společnému uzemnění pro oba uvedené účely dává přednost (oproti starší praxi, kdy se uzemnění hromosvodu a elektrických zařízení obvykle oddělovala).

**Uzemnění objektu se provádí z důvodu:**

- uzemnění elektrického silového zařízení,
- uzemnění hromosvodu, popř. i
- uzemnění z jiných důvodů (např. ochrana před zavlečeným napětím, uzemnění sdělovacích zařízení apod.).

Je nutné rozlišit, zda jsou uzemnění provedená pro jednotlivé uvedené účely spojena, nebo zda je pro každý z těchto účelů vytvořeno samostatné uzemnění.

**1. Uzemnění za účelem ochrany před úrazem elektrickým proudem** (před nebezpečným dotykem neživých částí) se provádí podle toho, zda se jedná o elektrické zařízení napájené ze sítě TN, TT nebo IT.

V případě napájení ze sítě TN, což je u nás častý případ, se vyžaduje, aby

- odpor uzemnění pracovního středu (uzlu) zdroje nebyl větší než 5  $\Omega$ ,
- hodnota zemních odporů  $R_B$  všech odcházejících vedení z transformovny nebyla větší než 2  $\Omega$  (popř. při rezistivitě půdy  $\rho$  větší než 200  $\Omega\text{m}$ , aby platilo  $R_B \leq \rho / 100$ ),
- vodiče PEN popř. PE byly přizemněny
  - u venkovního vedení každých 500 m a na jeho konci a u odboček delších než 200 m na jejich koncích,

- u kabelového vedení delšího než 200 m od místa předchozího uzemnění na jeho konci,
- u přípojkových skříní (např. hlavních domovních), jsou-li od nejbližšího místa uzemnění dále než 100 m,
- u dočasných pracovišť mimo objekty a obdobných pohyblivých zařízení v objektech a tam, kde se kladou zvýšené požadavky na ochranu (prádelny, veřejné lázně - provede se vlastně pokud možno pospojování),
- ve vnitřním rozvodu
- u hlavních rozváděčů objektu, jestliže má objekt vlastní transformátor (jinak, jsou-li od nejbližšího místa uzemnění dále než 100 m),
- u podružných rozváděčů objektu, jsou-li od nejbližšího místa uzemnění dále než 100 m,
- na konci odboček delších než 200 m od předchozího uzemnění.

Uvedená přizemnění vodičů PEN popř. PE v průběhu vedení mají mít odpor nejvýše  $15 \Omega$  není však třeba klást pásy delší než 20 m nebo jiné rovnocenné zemniče.

Na koncích vedení a odboček nemá být odpor uzemnění vodičů PEN popř. PE větší než  $5 \Omega$ , není však třeba klást pásy o celkové délce větší než 50 m nebo jiné rovnocenné zemniče.

V případě napájení ze sítě TT, což je u nás případ méně obvyklý (vyskytuje se zejména na jižní Moravě), musí odpor uzemnění ochranného vodiče, na který jsou připojeny neživé části chráněných zařízení v objektu splňovat podmínku čl. 413.1.4.2. To znamená, že napětí vyvolané na uzemnění (a na připojeném ochranném vodiči) průchodem poruchového proudu  $I_a$ , který ochranný prvek vypne v dostatečně krátkém čase (u pojistky nebo jističe je to proud, který bude vypnut do 5 s, u proudového chrániče je to jeho jmenovitý reziduální proud) nepřekročí bezpečnou mez ( $50 \text{ V}$  pro normální a nebezpečné prostory a  $25 \text{ V}$  pro prostory zvlášť nebezpečné). Odpor uzemnění  $R_A$  tedy musí být menší než

$$R_A \leq 50 \text{ V} / I_a \text{ pro normální a nebezpečné prostory nebo}$$

$$R_A \leq 25 \text{ V} / I_a \text{ pro zvlášť nebezpečné prostory.}$$

Takovéto uzemnění musí být zřízeno u každého objektu s elektrickým zařízením.

- a. V případě napájení objektu ze sítě IT, záleží na tom, jak je v celé síti provedeno uzemnění.
  - aa) Jestliže jsou elektrická zařízení uzemněna jednotlivě nebo skupinově (několik elektrických zařízení na společný zemnič), musí se vyhovět podmínce jako pro síť TT.
  - ab) Jsou-li neživé části v celé síti spojeny navzájem a se zemí uzemněným ochranným vodičem, musí být sice zajištěna podmínka impedance smyčky poruchového proudu jako u sítě TN, nejsou však předepsány tytéž podmínky pro jeho uzemnění jako jsou předepsány pro vodič PEN nebo PE v sítích TN. Musí být splněna podmínka na odpor uzemnění požadovaný pro první poruchu:

$$R_A \leq 50 \text{ V} / I_d \quad \text{pro normální a nebezpečné prostory nebo}$$

$$R_A \leq 25 \text{ V} / I_d \quad \text{pro zvlášť nebezpečné prostory,}$$

kde  $I_d$  je poruchový proud při první poruše o zanedbatelné impedanci mezi fázovým vodičem a neživou částí.

2. **Uzemnění za účelem ochrany před bleskem** se provádí na objektech s hromosvodem. (Hromosvod nemusí být např. na objektech menší důležitosti, s menším ohrožením osob ani na objektech, které jsou v ochranném prostoru vyšších objektů opatřených hromosvodem.) Odpor uzemnění hromosvodu nemá být (podle čl. 106 ČSN 34 1390) za obvyklých půdních podmínek větší než  $15 \Omega$  (přitom je v podstatě možno uplatnit obdobné hledisko jako při zajišťování stejného uzemnění z hlediska ochrany před úrazem elektrickým proudem v případě sítí TN, tj. není třeba klást zemnicí pásy větší délky než 20 m).

Z uvedeného tedy vyplývá velikost odporu společného uzemnění elektrického zařízení a hromosvodu pro následující podmínky:

Druh sítě	Podmínky pro uzemnění		Maximální odpor uzemnění	Ochrana před bleskem			
				se nezřizuje	se zřizuje		
TN	Od nejbližšího uzemnění	$\Delta < 100$ m	Nemusí být uzemněni*)	<b>Nemusí být uzemněni*)</b>	<b>15 <math>\Omega</math></b>		
		$> 100$ m	15 $\Omega$	<b>15 <math>\Omega</math></b>	<b>15 <math>\Omega</math></b>		
		$> 100$ m – na konci vedení	5 $\Omega$	<b>5 <math>\Omega</math></b>	<b>5 <math>\Omega</math></b>		
TT	Proudový chránič $I_{\Delta a}$ (mA)	500	100 $\Omega$	<b>100 <math>\Omega</math></b>	<b>15 <math>\Omega</math></b>		
		300	167 $\Omega$	<b>167 <math>\Omega</math></b>	<b>15 <math>\Omega</math></b>		
		100	500 $\Omega$	<b>500 <math>\Omega</math></b>	<b>15 <math>\Omega</math></b>		
		30	500 $\Omega$	<b>500 <math>\Omega</math></b>	<b>15 <math>\Omega</math></b>		
IT	Při druhé poruše jako	TT	Proudový chránič $I_{\Delta a}$ (mA)	500	100 $\Omega$	<b>100 <math>\Omega</math></b>	<b>15 <math>\Omega</math></b>
				300	167 $\Omega$	<b>167 <math>\Omega</math></b>	<b>15 <math>\Omega</math></b>
				100	500 $\Omega$	<b>500 <math>\Omega</math></b>	<b>15 <math>\Omega</math></b>
				30	500 $\Omega$	<b>500 <math>\Omega</math></b>	<b>15 <math>\Omega</math></b>
	TT	$U_L=50$ V	$50/I_d$	<b><math>50/I_d</math> (500 <math>\Omega</math> **)</b>	<b>15 <math>\Omega</math></b>		
		$U_L=25$ V	$25/I_d$	<b><math>25/I_d</math> (250 <math>\Omega</math> **)</b>	<b>15 <math>\Omega</math></b>		

\*) Jako uzemnění slouží připojení neživých popř. i cizích vodivých částí k vodiči PEN nebo PE sítě.

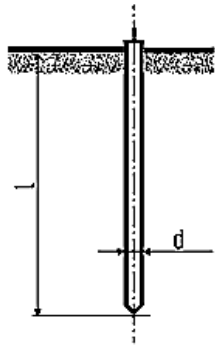
\*\*\*) Uvažujeme-li proud první poruchy  $I_d = 100$  mA.

### 3. Výpočty uzemnění

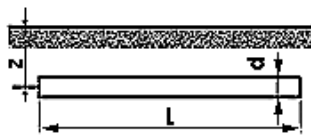
Rozdělení podle typu zemniče:

- Tyčový zemnič
- Páskový nebo drátový vodič
- Páskový nebo drátový vodič v kruhu
- Páskový nebo drátový vodič paprskový
- Mřížová síť

Typ zemniče: **Tyčový zemnič**

	Zemní odpor [Ω] (vzorec exaktní)	Podmínky použití	Zemní odpor [Ω] (vzorec pro přibližný odhad)	Podmínky použití
	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$l \gg \frac{d}{2}$	$R = 0,9 \frac{\rho}{l}$	$l \gg \frac{d}{2}$ v rozmezí $l = 1 \text{ až } 3 \text{ m}$

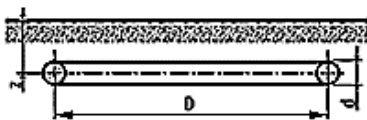
Typ zemniče: **Páskový nebo drátový vodič**



Poznámka: Pro páskový vodič šířky  $b$ :  $d = \frac{b}{2}$

Zemní odpor [Ω] (vzorec exaktní)	Podmínky použití	Zemní odpor [Ω] (vzorec pro přibližný odhad)	Podmínky použití
$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2z} \right)$	$l \gg d$ $z \ll \frac{l}{4}$	$R = 2 \frac{\rho}{l}$	$l \gg d$ $z \ll \frac{l}{4}$ v rozmezí $l = 10 \text{ až } 50 \text{ m}$

Typ zemniče: **Páskový nebo drátový vodič v kruhu**



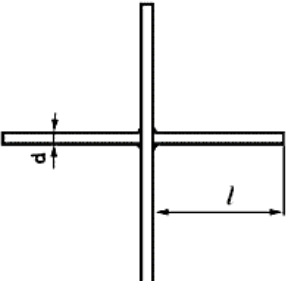
Poznámka: Pro páskový vodič šířky  $b$ :  $d = \frac{b}{2}$

Zemní odpor [Ω] (vzorec exaktní)	Podmínky použití	Zemní odpor [Ω] (vzorec pro přibližný odhad)	Podmínky použití
-------------------------------------	------------------	---	------------------

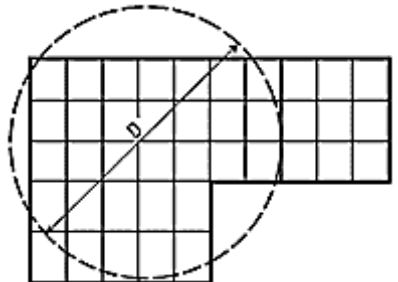
$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left( \ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{l}{2z} \right)$	$D \gg d$ $z \ll \frac{D}{2}$	$R = 2,1 \frac{\rho}{l}$	$D \gg d$ $z \ll \frac{2}{d}$ $\frac{D}{z} \gg 10$
--	----------------------------------	--------------------------	---

Typ zemniče: **Páskový nebo drátový vodič paprskový**

Poznámka: Na povrchu země, popř. v hloubce  $z \ll l$

	Zemní odpor [Ω] (vzorec exaktní)	Podmínky použití	Zemní odpor [Ω] (vzorec pro přibližný odhad)	Podmínky použití
	$R = \frac{\rho}{4\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + 1 \right)$	$l \gg d$	$R = 2,1 \frac{\rho}{l}$	$\frac{l}{4} \gg d$ $l < 30 \text{ m}$

Typ zemniče: **Mřížová síť**  $l$  ...celková délka vodičů

	Zemní odpor [Ω] (vzorec pro přibližný odhad)	Poznámka
	$R = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{l}$	Pro síť nekuhového tvaru o ploše S $D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$

### Přibližné velikosti odporů zemničů

Aby bylo možné rychle zjistit přibližnou hodnotu jednotlivých konkrétních zemničů, je možné tyto hodnoty odečíst z následujících grafů. Hodnoty jsou uvedeny pro rezistivitu půdy 100 Ωm, takže odečtenou hodnotu je ještě nutno násobit poměrem  $\rho / 100$ , kde  $\rho$  je skutečná rezistivita půdy v místě zemniče, jehož odpor potřebujeme znát. Jejich přibližná hodnota je uvedena v následující tabulce:

### Střední hodnoty rezistivity půd

Druh zeminy	Střední rezistivita $\rho$ [Ω.m]
Rašelina	30
Ornice, jíł	100
Vlhký písek	200 až 300

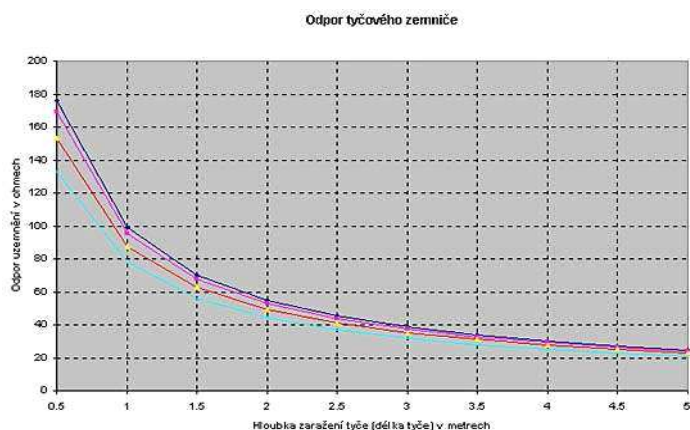
Vlhký štěrk s malým obsahem písku  
Suchý písek nebo štěrk  
Suchá kamenitá půda

300 až 500  
1 000 až 3 000  
3 000 až 10 000

Vodivost půdy závisí nejen na jejím druhu ale i na teplotě vlhkosti, stavu spodní vody a povětrnosti. Rezistivita půdy proto značně kolísá i podle ročního období. Zmrzlá země má špatnou vodivost, obdobně jako suchá půda. Špatným vodičem je i sladká voda a mastnota. Vliv na vodivost může mít i trvalý průchod proudem, který půdu vysušuje.

## Grafy

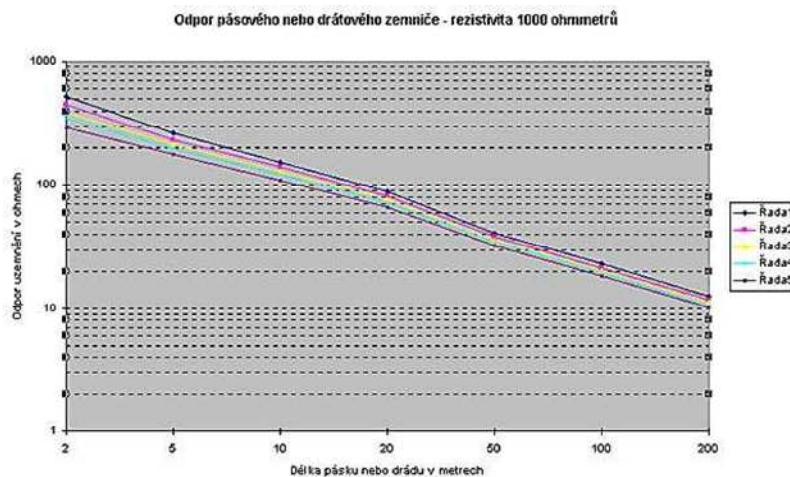
Přibližný graf závislosti odporu uzemnění **tyčového zemniče** na hloubce zaražení a průměru tyče pro rezistivitu půdy 100  $\Omega\text{m}$ :



Graf platí pro tyto průměry:

- Řada 1 - průměr tyče 8 mm
- Řada 2 - průměr tyče 10 mm
- Řada 3 - průměr tyče 15 mm
- Řada 4 - průměr tyče 20 mm

Přibližný graf závislosti odporu **páskového nebo drátového zemniče** na jeho délce hloubce uložení a šířce pásku nebo průměru drátu pro rezistivitu půdy 100  $\Omega\text{m}$





Z výše uvedeného grafu můžeme zjistit přibližné hodnoty odporů uzemnění ostatních druhů zemničů takto:

- **kruhový zemnič** - odečtená hodnota + 5 % ( za délku zemniče se bere jeho obvod),
- **paprskový zemnič** - odečtená hodnota + 10 % (bere se délka všech paprsků)
- **základový zemnič** - odečtená hodnota ± 20 % (jedná-li se jen o prostý obvodový zemnič členitého základu, připočítává se 20 %, je-li však zemničem celý armovaný základ nečlenitého tvaru - kružnice nebo čtverec, je možno 20 % odečíst)
- **soustava tyčových zemničů spojených páskovým zemničem:**  
odpor se počítá podle vzorce

$$R = 1/[(0,9 \cdot \eta \cdot n)/R_1 + 1/R_0],$$

kde

$R_1$  ...zemní odpor tyčového zemniče

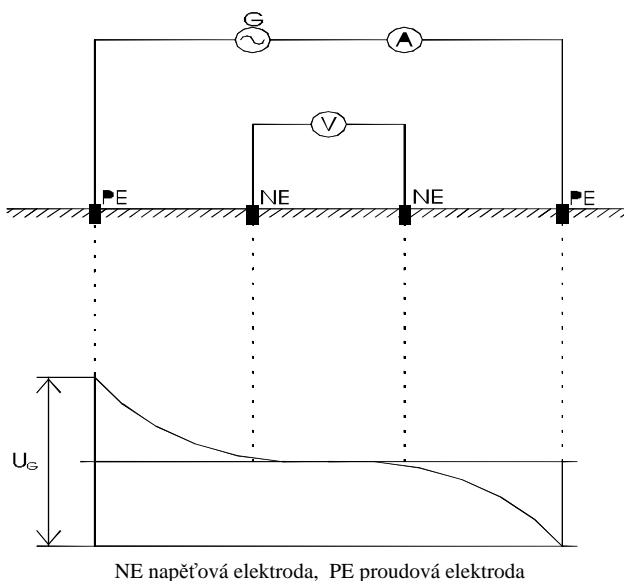
$n$  ...počet tyčí

$\eta$  ...koeficient využití tyčí (pro malé vzdálenosti mezi tyčemi je až 0,3, při velkých vzdálenostech až 0,8)

$R_0$  ...zemní odpor pásku bez tyčí.

#### 4. Měření rezistivity půdy

Na určení rezistivity půdy bylo vypracováno několik metod, kde nejužívanější metodou je metoda odporového profilování s Wennerovým uspořádáním elektrod. Při tomto uspořádání jsou elektrody zabodnuty do země v jedné přímce s konstantním rozestupem a vzdálenost mezi nimi určuje přibližnou tloušťku měřené vrstvy. Uspořádání elektrod dle následujícího obrázku.



Obr. 2 Princip měření rezistivity půdy metodou odporového profilování s Wennerovým uspořádáním elektrod.

Výpočet rezistivity půdy se provádí podle vzorce:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot \frac{\Delta U}{I}$$

kde:  $\rho$  je měrný odpor půdy ( $\Omega \cdot m$ )  
 $\Delta U$  napětí naměřené mezi napěťovými elektrodami (V)  
 $I$  proud protékající proudovými elektrodami (A)  
 $a$  rozteč mezi elektrodami (m).