



UZEMŇOVÁNÍ V ELEKTRICKÉM ROZVODU

Radek Procházka
(prochazka@fel.cvut.cz)

Elektroenergetika 2 (A1B15EN2)
25. března 2014

UZEMNĚNÍ

- dle ČSN 33 2000-5-54 ed3 (04/2012)
- účel uzemnění:
 - ochrana lidí a zvířat před úrazem (snížením dotykového a krokového napětí na bezpečnou míru),
 - udržovat na potenciálu země nějakou část elektrického obvodu,
 - umožňovat funkci elektrických strojů, přístrojů a zařízení nebo jí napomáhat,
 - chránit elektrické stroje a zařízení před účinky přepětí a velkých proudů,
 - svést atmosférické proudy a omezit přepětí.

TERMINOLOGIE

- **Uzemnění**
 - vodivé spojení mezi daným bodem a lokální zemí
 - uzemňovaná místa: uzly generátorů a transformátorů, vodivé části a konstrukční prvky
- **Uzemňovací soustava**
 - všechny elektrické spoje a předměty, které jsou součástí uzemnění elektrické sítě, instalace a zařízení
- **Uzemňovací síť**
 - část uzemňovací soustavy, která obsahuje pouze zemniče a jejich vzájemná spojení

TERMINOLOGIE

- **Zemní elektroda (zemnič)**
 - vodivá část, která může být uložena v daném vodivém prostředí (např. betonu) v elektrickém styku se zemí
- **Náhodný zemnič**
 - vodivý předmět trvale uložený v zemi (ve vodě, v betonu, ...), který byl vybudován k jinému účelu než k uzemnění, ale je možno jej využít jako zemnič
- **Strojený zemnič**
 - zemnič záměrně zřízený pro uzemnění

ZEMNICÍ ELEKTRODY

- účinnost zemniče závisí na místních půdních podmínkách
- volba parametrů:
 - požadovaný zemní odpor
 - přípustné napětí na uzemňovací soustavě
 - přípustné dotykové a krokové napětí
 - proudová zatížitelnost
 - mechanická pevnost
 - korozní odolnost
- zemní odpor závisí na rozměrech zemniče, uložení a měrném odporu půdy

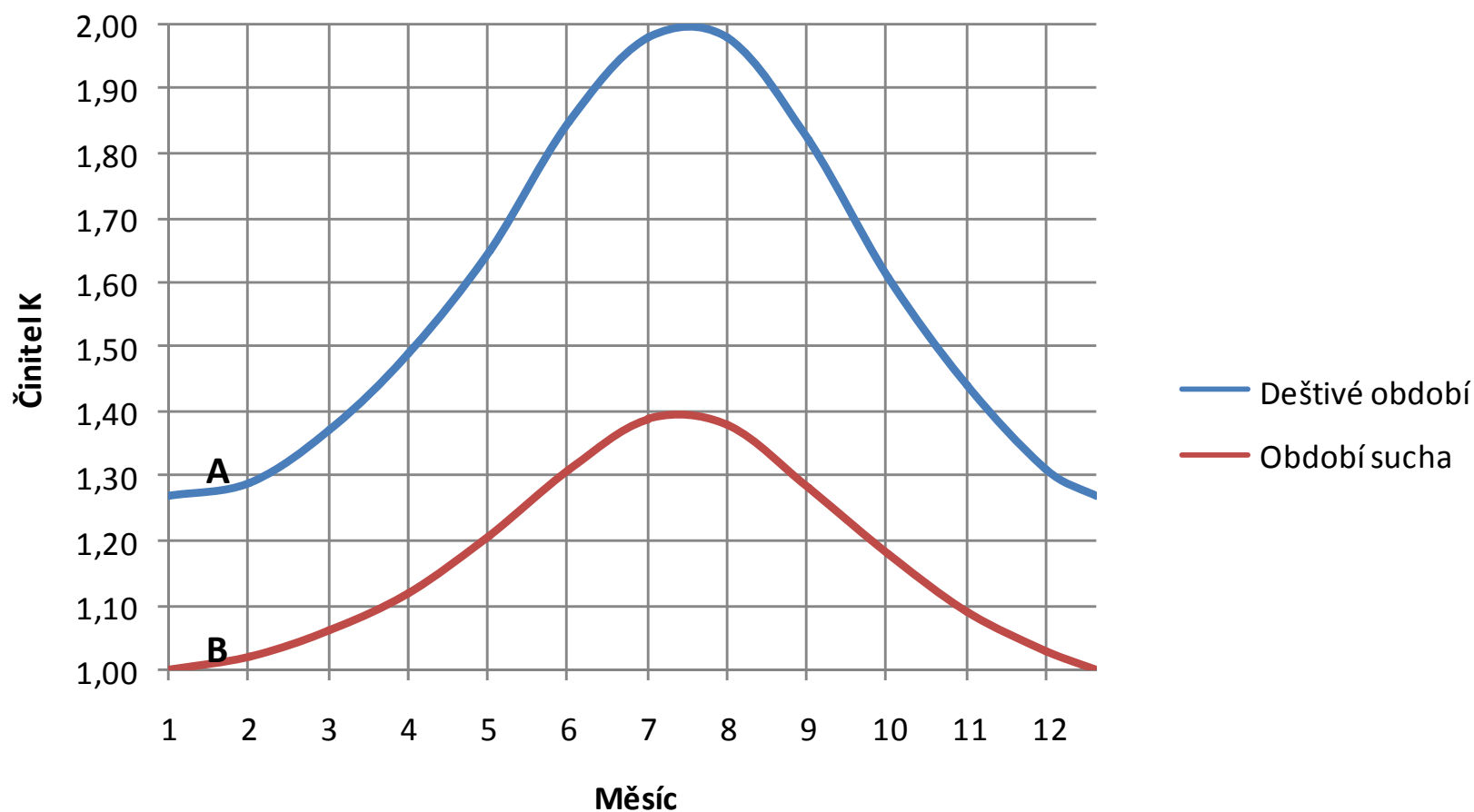
ODPOR PŮDY

- závisí na struktuře zeminy, teplotě a vlhkosti

Charakter půdy	Rezistivita
	(Ωm)
Bažinatá půda	1 ÷ 300
Naplaveniny	20 ÷ 100
Humus, prst'	10 ÷ 150
Vlhká rašelina	5 ÷ 100
Vápenatý a kompaktní jíl	100 ÷ 200
Jílovité písky	50 ÷ 500
Křemenné písky	200 ÷ 3 000
Holé kamenité půdy	1 500 ÷ 3 000
Zatrávněné kamenité půdy	300 ÷ 500
Měkký vápenec	100 ÷ 300
Kompaktní vápenec	1 000 ÷ 5 000
Břidlice	50 ÷ 300
Žula a pískovec	1 500 ÷ 10 000
Zvětralá žula nebo zvětralý vápenec	100 ÷ 600

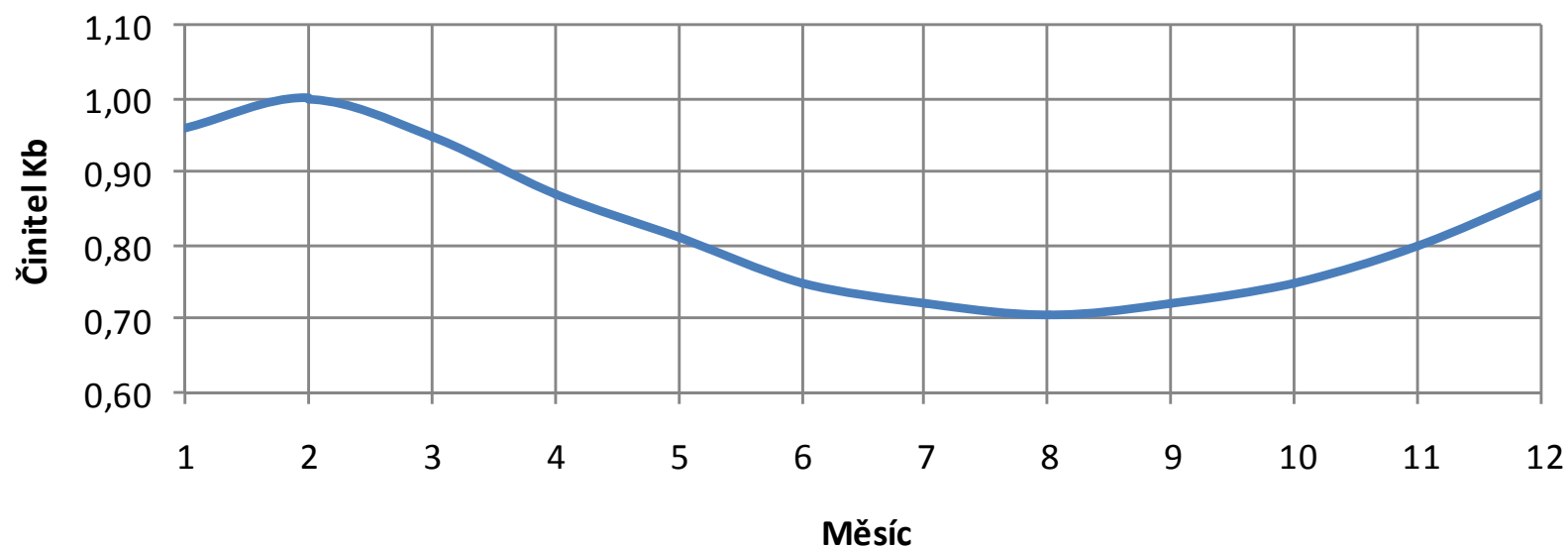
ODPOR PŮDY

- změny měrného odporu půdy v průběhu roku (Wettsteinovy křivky):



ODPOR BETONU

- důležitý podklad při návrhu založení např. stožárů nebo řešení základových zemničů:



PROUDOVÁ ZATÍŽITELNOST

- dovolené hustoty proudu vztažené na plochu zemniče:

Doba průchodu proudu	Proudová hustota (A/m ²) plochy povrchu zemniče uloženého v půdě o rezistivitě (Ωm):			
	100	500	1 000	3 000
1 s	1 000,0	447,0	316,0	182,0
5 s	447,0	200,0	141,0	82,0
1 hod	16,6	7,5	5,2	3,0
2 hod	11,8	5,3	3,7	2,2
3 hod	9,6	4,3	3,0	1,8

PROUDOVÁ ZATÍŽITELNOST

- dovolené hustoty proudu Pro zemniče, uložené v betonu:

Doba průchodu proudu	Střední hustota proudu (A/m ²) z betonového zákrytu při rezistivitě půdy (Ωm), která jej obklopuje:			
	100	500	1 000	3 000
1 s	1 100,0			
5 s	490,0			
1 hod	26,5	10,8	7,0	2,6
2 hod	18,8	8,2	5,0	1,5
3 hod	15,4	6,8	3,9	0,9
> 3 hod	8,0	4,0	2,0	-

PROUDOVÁ ZATÍŽITELNOST

– dovolené proudy pro pásy FeZn:

Doba průchodu proudu	Dovolенý proud (A)		
	30x4 mm	40x4 mm	20x5 mm
0,1 s	26 700	35 600	22 200
0,2 s	18 900	25 200	15 700
0,3 s	15 400	20 500	12 800
0,4 s	13 300	17 800	11 100
0,5 s	11 900	15 900	9 960
0,6 s	10 900	14 500	9 090
0,7 s	10 100	13 400	8 420
0,8 s	9 450	12 600	7 870
0,9 s	8 910	11 800	7 420
1,0 s	8 450	11 200	7 040

Profil	Dovolенý trvalý proud (A)
Pásek 30x4	420
Pásek 40x4	540
Pásek 20x5	330
Drát Ø10	220

PROVEDENÍ ZEMNIČŮ

- Náhodné:
 - jejich primární účel je jiný, než uzemňování
 - kovové předměty velkých rozměrů (malý přechodový zemní odpor):
 - ocelové konstrukce (armování, liniové stavby)
 - kabelové pláště
 - kolejnice
 - mají se využívat přednostně – musí ovšem vyhovovat všem podmínkám jako *zemniče strojené*

PROVEDENÍ ZEMNIČŮ

- Strojené:
 - zřizují se, jestliže:
 - náhodné zemniče nevyhovují
 - jejich využití požaduje jiný předpis
 - typ a tvar zemničů se volí podle:
 - vodivosti půdních vrstev
 - podle prostoru, který je pro uložení zemniče k dispozici
 - obvyklé tvary:
 - trubky, tyče
 - pásy, dráty
 - desky

TYČOVÉ ELEKTRODY

- ve srovnání s délkou malý průměr
- vhodné pro místa s nižší rezistivitou půdy
- ocelové tyče (trubky, popř. profily L, I, U, T)
2÷3 m dlouhé
- využití více tyčí – rozestupy min 2l
(propojeno)
- horní konec 0,5 m pod povrchem
- nepříjemné rozložení potenciálu

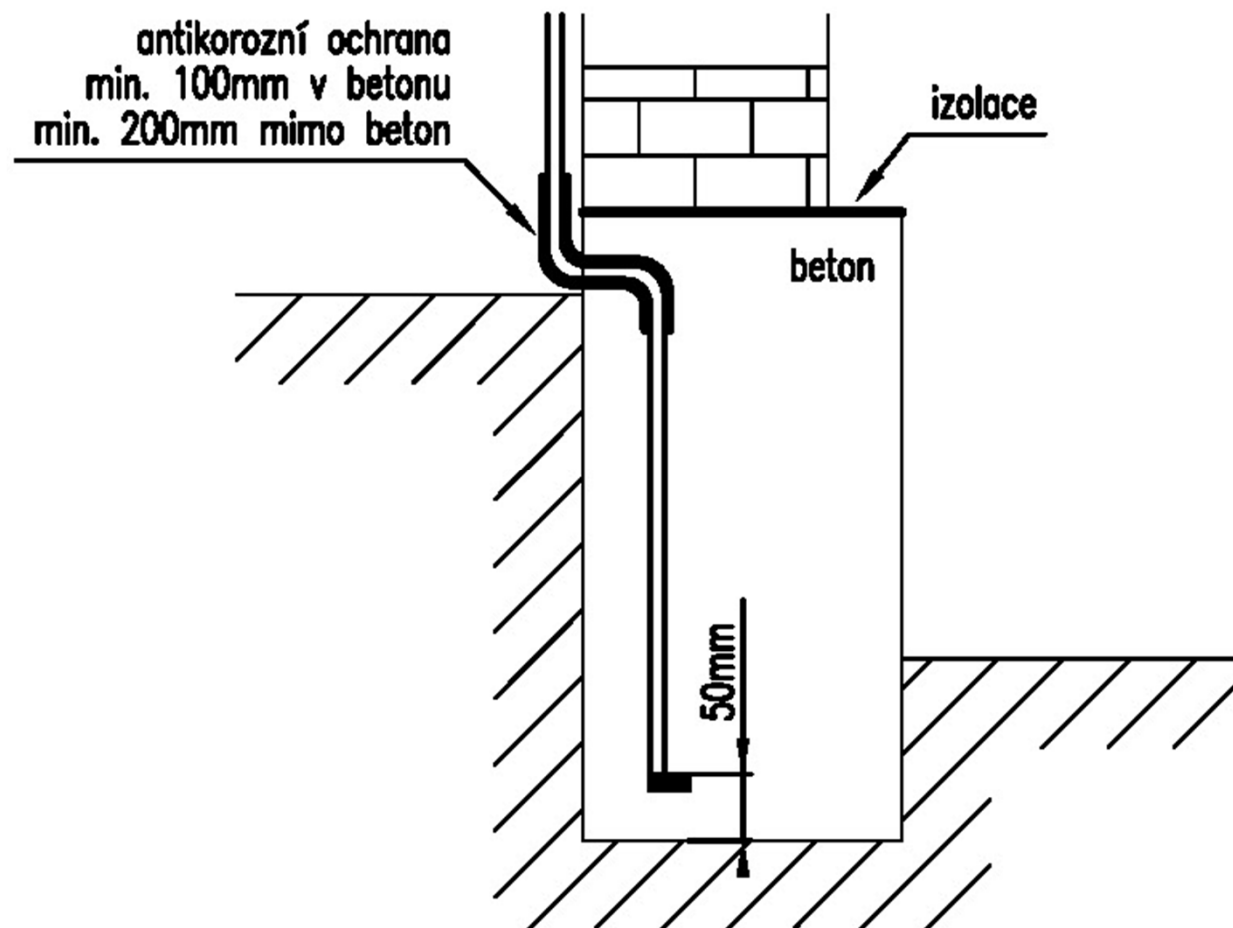
DESKOVÉ ELEKTRODY

- elektroda plošného tvaru
 - tloušťka min 3 mm
 - plocha min $2 \times 0,5 \text{ m}^2$
- využití více desek – rozestupy cca 3m
- dříve hojně používáno svisle zakopaných čtvercových desek (0,5÷1 m pod povrchem)
- dnes málo používané (vyšší odpor)

PÁSKOVÉ ELEKTRODY

- nejčastější využití
- rozměry pásků: 30x4, 30x3, 40x4
 - tloušťka min 3 mm
 - průřez min 80 mm²
- délka pásku dle půdních podmínek a požadavku na uzemňovací odpor
- zakládáno vodorovně v hloubce 0,5÷1 m
- konfigurace: paprsky, prstence, mříže

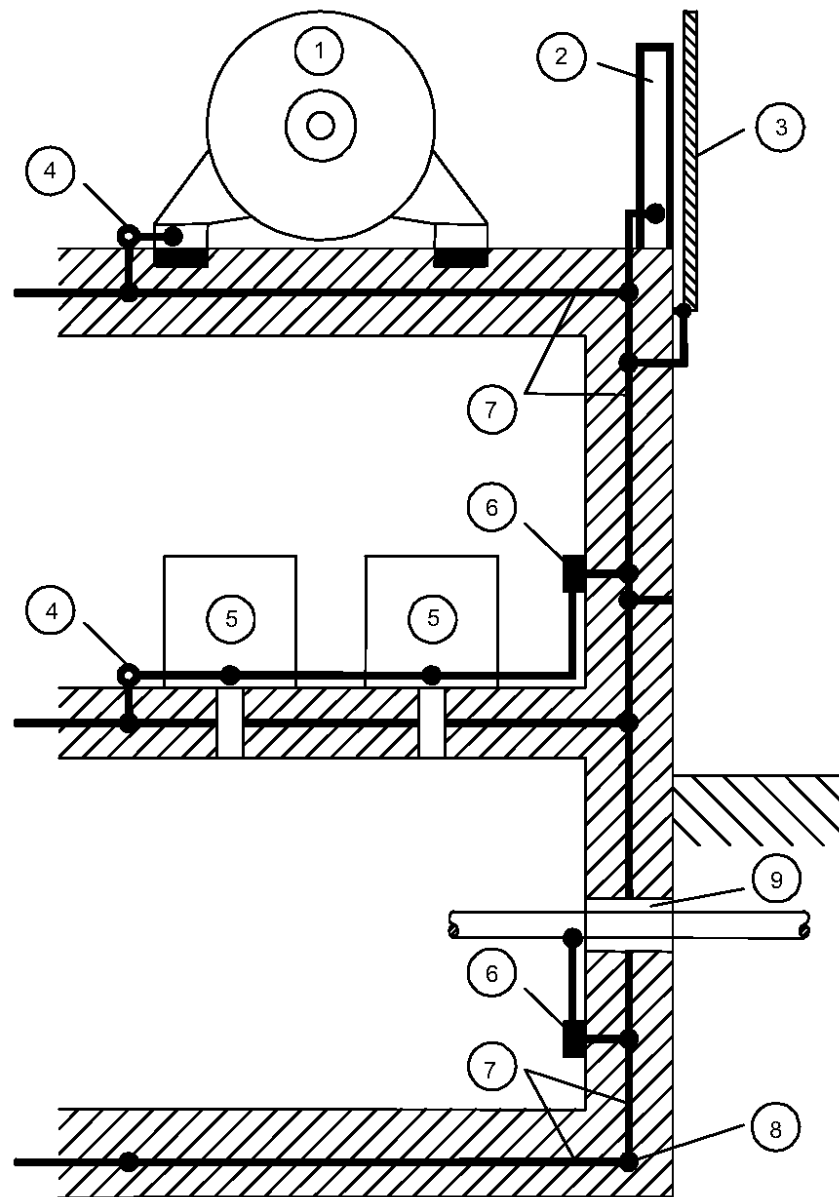
ZÁKLADOVÝ ZEMNIČ



ZÁKLADOVÝ ZEMNIČ (pilota)



ZÁKLADOVÝ ZEMNIČ



ZEMNÍ ODPOR

- max. dovolená hodnota (z dovolené hodnoty dotykového napětí)
- do 1kV (obecně):

$$R \leq \frac{U_d}{I_V} \quad (\Omega; V, A)$$

R – dovolený odpor

U_d – dovolené dotykové napětí

I_V – vypínací proud jistícího prvku

- požadované hodnoty (NN):
 - $R \leq 10 \Omega$ – uzemnění jednoho svodu LPS
 - $R \leq 5 \Omega$ – uzemnění uzlu zdroje
 - $R \leq 2 \Omega$ – odpor všech ochranných vodičů a uzlu zdroje

PRAKTICKÝ NÁVRH

- přibližné vyjádření pro určení počtu zemničů a rozměrů:

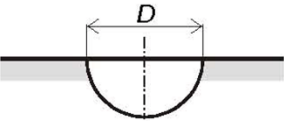
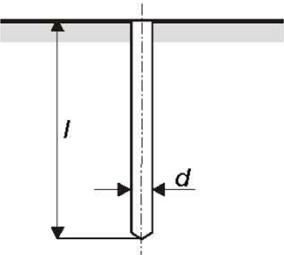
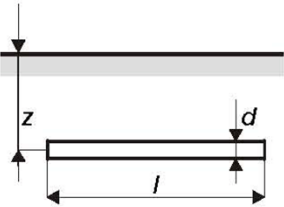
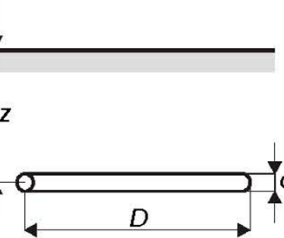
$$R = k \frac{\rho}{l} (\Omega; -, \Omega m, m)$$

l – největší rozměr zemniče

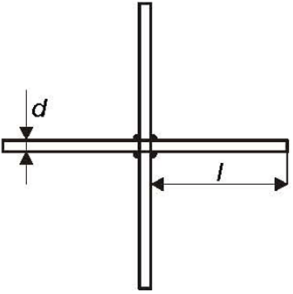
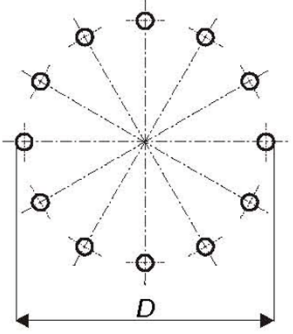
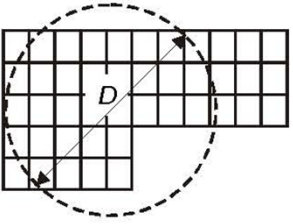
k – činitel tvaru a uložení zemniče (tyč: 0,9; pásek: 2,0)

- exaktní výpočet:
 - komplikovaný
 - proudové pole, rozložení napětí (QuickField, FEMlab, Opera3D, ...)
 - často zjednodušení: bodový zdroj (polokulová elektroda)

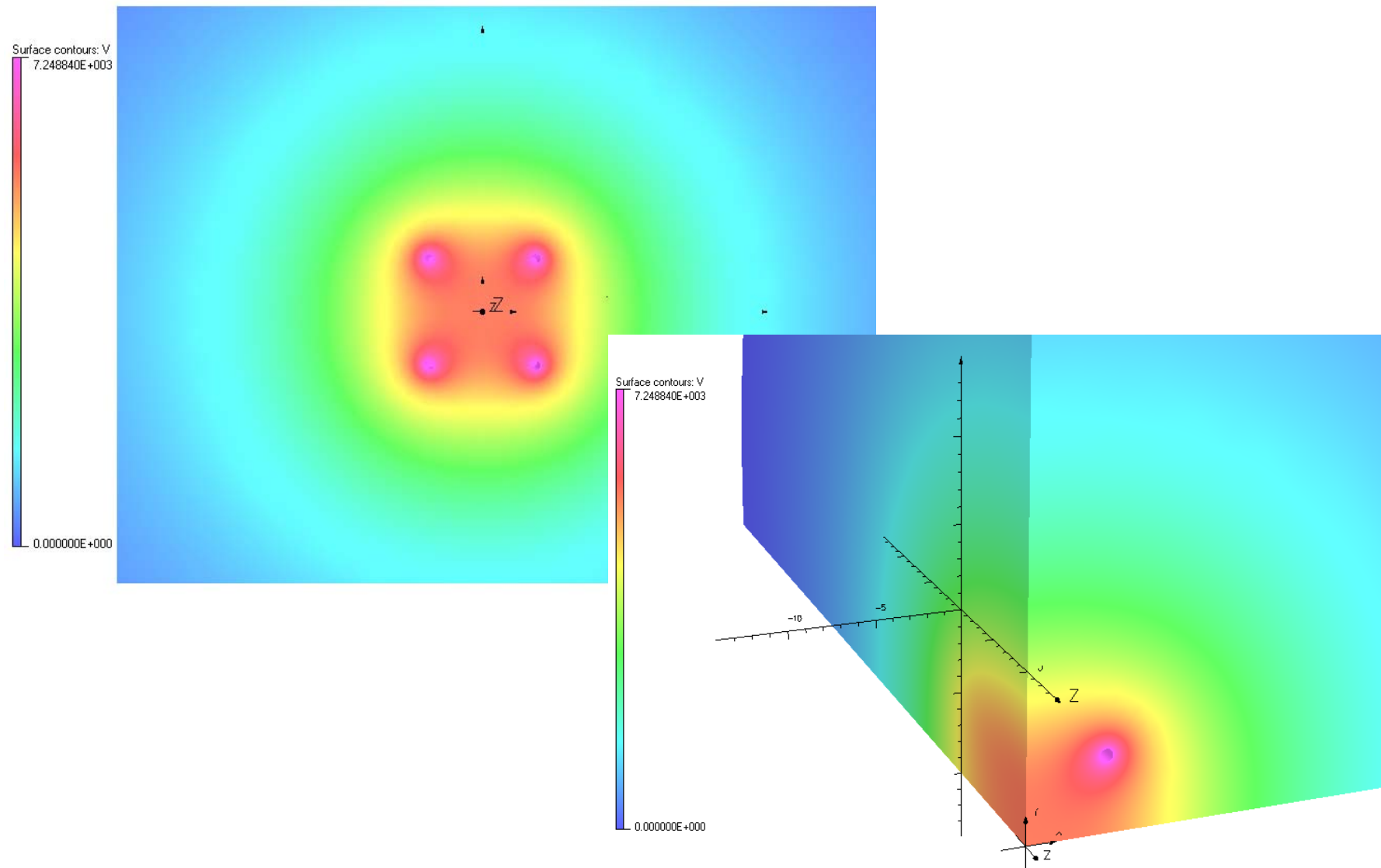
ZEMNICÍ ELEKTRODY

Typ zemniče parametry	Uložení	Exaktní vztah	Podmínky použití	Zjednodušený vztah	Podmínky použití
Polokoule		$R = \frac{\rho}{\pi \cdot D}$	–	–	–
Tyč (trubka)		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$l \gg \frac{d}{2}$	$R = 0,9 \frac{\rho}{l}$	$l \gg \frac{d}{2}$ $l = 1 \div 3m$
Pásek (drát)		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2z} \right)$	$l \gg d$ $z \ll \frac{l}{4}$	$R = 2 \cdot \frac{\rho}{l}$	$l \gg d$ $z \ll \frac{l}{4}$ $l = 10 \div 50m$
Prstencový zemnič		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{\pi D}{2z} \right)$	$D \gg d$ $z \ll \frac{D}{2}$	$R = 2,1 \cdot \frac{\rho}{l}$	$D \gg d$ $z \ll \frac{D}{2}$ $\frac{D}{z} \gg 10$

ZEMNICÍ ELEKTRODY

Typ zemniče parametry	Uložení	Exaktní vztah	Podmínky použití	Zjednodušený vztah	Podmínky použití
Paprskový zemnič		$R = \frac{\rho}{4\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + 1 \right)$	$l \gg d$	$R = 0,7 \cdot \frac{\rho}{l}$	$\frac{l}{4} \gg d$ $l \ll 30m$
Tyče v obvodu		$R = \frac{R_0}{n} + \frac{\rho}{2\pi D} \cdot \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n} k}$	$D \gg d$ $l \gg d$	–	–
Mřížová síť		–	–	$R = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{l}$	–

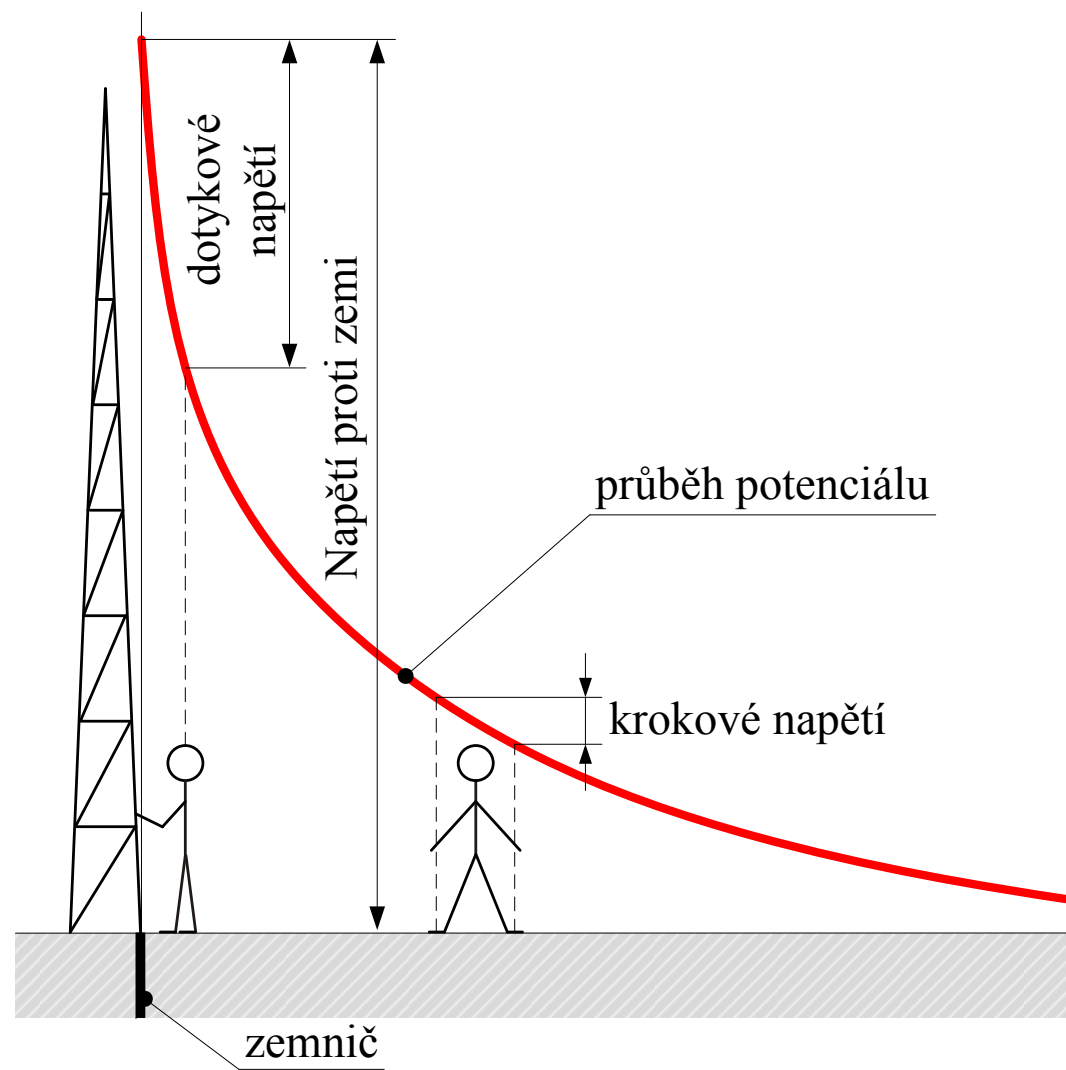
UZEMNĚNÍ STOŽÁRU VN



KROKOVÉ NAPĚTÍ

- potenciálové pole v okolí zemniče (i na povrchu)
- potenciál:
 - největší na povrchu zemniče
 - úměrný zemnímu odporu a odváděnému proudu (až kA)
- krokové napětí – rozdíl potenciálů na povrchu země na délku lidského kroku (0,75÷1 m)
- řízení velikosti krokového napětí:
 - hloubka uložení zemniče
 - úprava okrajů uzemňovací soustavy
 - úprava půdních poměrů
 - zábranou (oplocení trafostanice)

KROKOVÉ NAPĚTÍ



UZEMNĚNÍ (dle ČSN EN 62305)

- z hlediska ochrany před bleskem se upřednostňuje integrovaná uzemňovací soustava (společná pro hromosvod a elektroinstalaci)
- účel uzemnění rozšířen ještě o:
 - ekvipotenciální pospojování mezi svody
 - řízení potenciálů v blízkosti vodivých stěn budovy
- zemnič typu A:
 - zemnič v půdě (min. 80% své délky)
 - paprskovitý nebo tyčový zemnič nesplňuje požadavky, kladené na uzemnění s ohledem na ekvipotenciální pospojování a řízení potenciálů

UZEMNĚNÍ (dle ČSN EN 62305)

- zemnič typu A:
 - zemnič v půdě (min. 80% své délky)
 - paprskovitý nebo tyčový zemnič nesplňuje požadavky, kladené na uzemnění s ohledem na ekvipotenciální pospojování a řízení potenciálů
- zemnič typu B
 - základový zemnič, vč. kombinace se zemničem typu A
 - splňuje všechny požadavky na uzemnění

UZEMNĚNÍ (dle ČSN EN 62305)

