

# UZEMŇOVÁNÍ V ELEKTRICKÉM ROZVODU

Radek Procházka  
*(prochazka@fel.cvut.cz)*

---

Elektroenergetika 2 (A1B15EN2)

# UZEMNĚNÍ

---

- dle ČSN 33 2000-5-54 ed2 (09/2007)
- 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

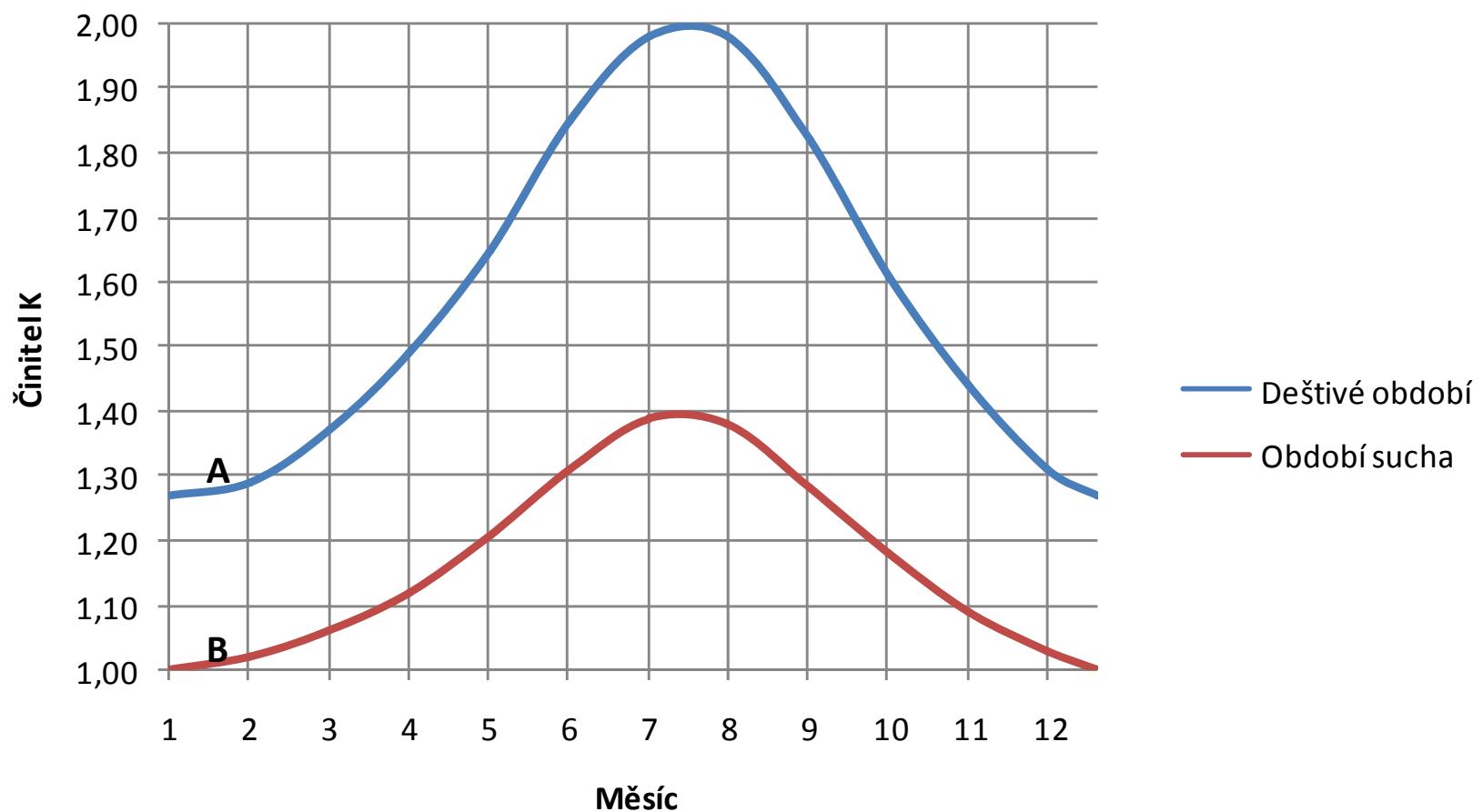
# ODPOR PŮDY

– závisí na struktuře zeminy, teplotě a vlhkosti

| Charakter půdy                      | Rezistivita          |
|-------------------------------------|----------------------|
|                                     | ( $\Omega\text{m}$ ) |
| Bažinatá půda                       | 1 $\div$ 300         |
| Naplaveniny                         | 20 $\div$ 100        |
| Humus, prst'                        | 10 $\div$ 150        |
| Vlhká rašelina                      | 5 $\div$ 100         |
| Vápenatý a kompaktní jíl            | 100 $\div$ 200       |
| Jílovité písksy                     | 50 $\div$ 500        |
| Křemenné písksy                     | 200 $\div$ 3 000     |
| Holé kamenité půdy                  | 1 500 $\div$ 3 000   |
| Zatravněné kamenité půdy            | 300 $\div$ 500       |
| Měkký vápanec                       | 100 $\div$ 300       |
| Kompaktní vápanec                   | 1 000 $\div$ 5 000   |
| Břidlice                            | 50 $\div$ 300        |
| Žula a pískovec                     | 1 500 $\div$ 10 000  |
| Zvětralá žula nebo zvětralý vápenec | 100 $\div$ 600       |

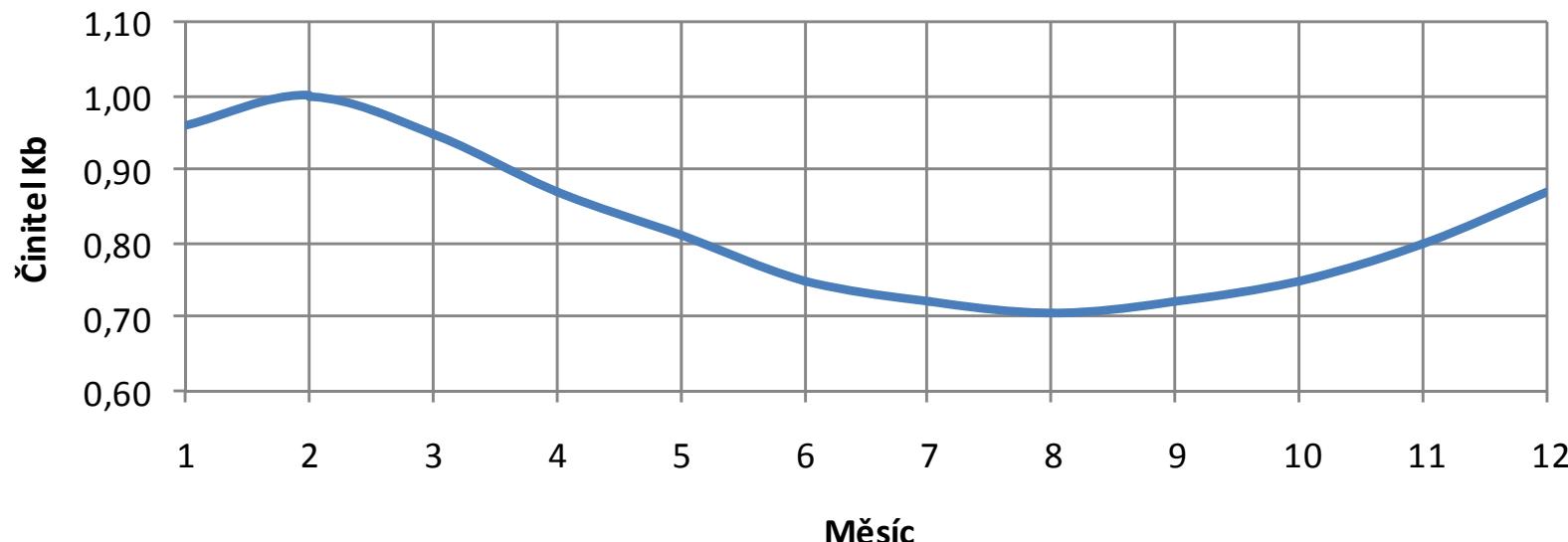
# ODPOR PŮDY

- 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 <sup>2</sup> ) 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 <sup>2</sup> ) z betonového zákrytu při rezistivitě půdy ( $\Omega\text{m}$ ), 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 pásky FeZn:

| Doba průchodu proudu | Dovolený 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     | Dovolený 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

---

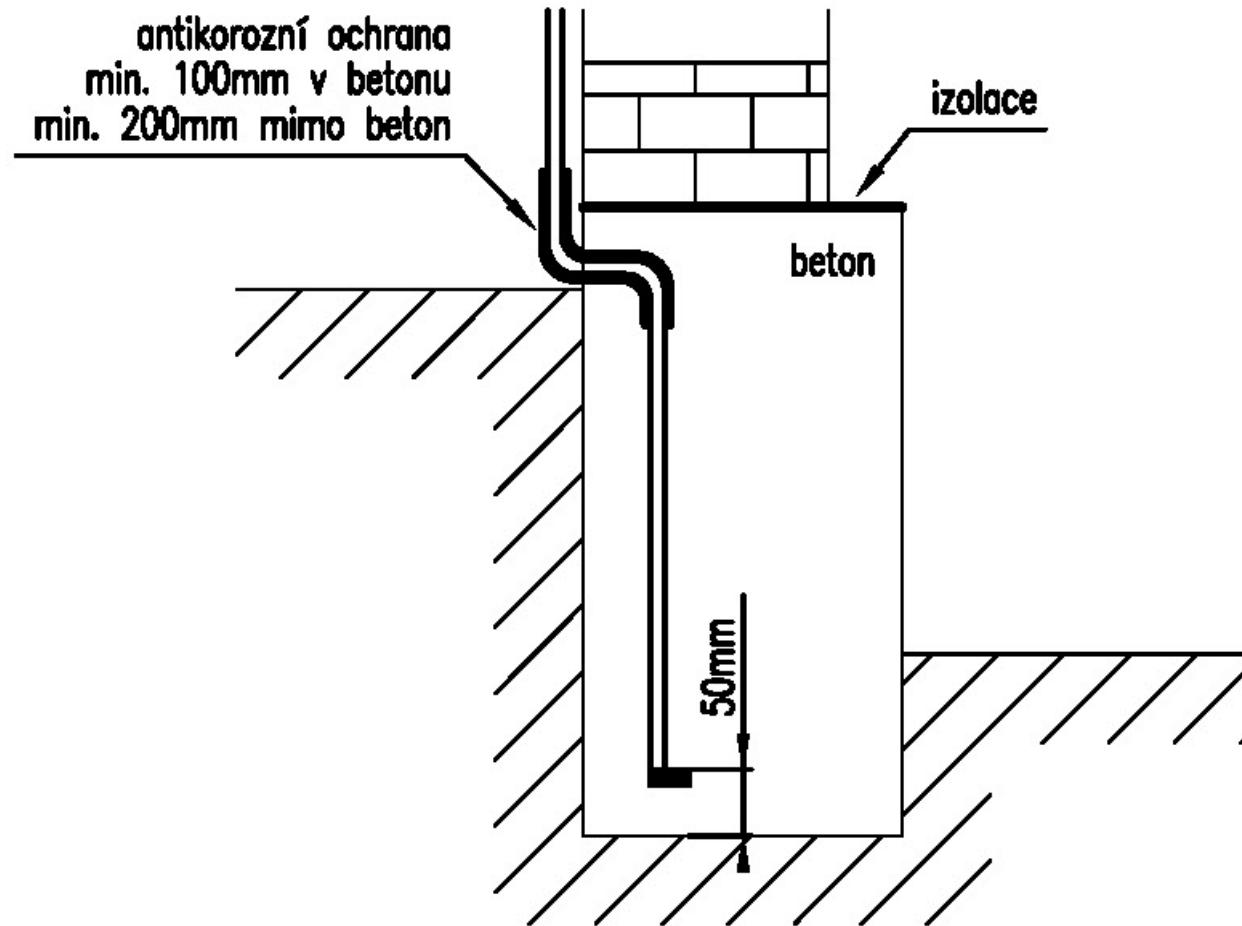
- elektroda plošného tvaru
  - tloušťka min 3 mm
  - plocha min  $2 \times 0,5 \text{ m}^2$
- využití více desek – rozestupy cca 3m
- dříve hojně používáno svisle zakopaných čtvercových desek ( $0,5 \div 1 \text{ m}$  pod povrchem)
- dnes málo používané (vyšší odpor)

# PÁSKOVÉ ELEKTRODY

---

- nejčastější využití
- rozměry pásků: 30x4, 30x3, 40x4
  - tloušťka min 3 mm
  - průřez min  $80 \text{ mm}^2$
- délka pásku dle půdních podmínek a požadavku na uzemňovací odpor
- zakládáno vodorovně v hloubce  $0,5 \div 1 \text{ m}$
- konfigurace: paprsky, prstence, mříže

# ZÁKLADOVÝ ZEMNIČ

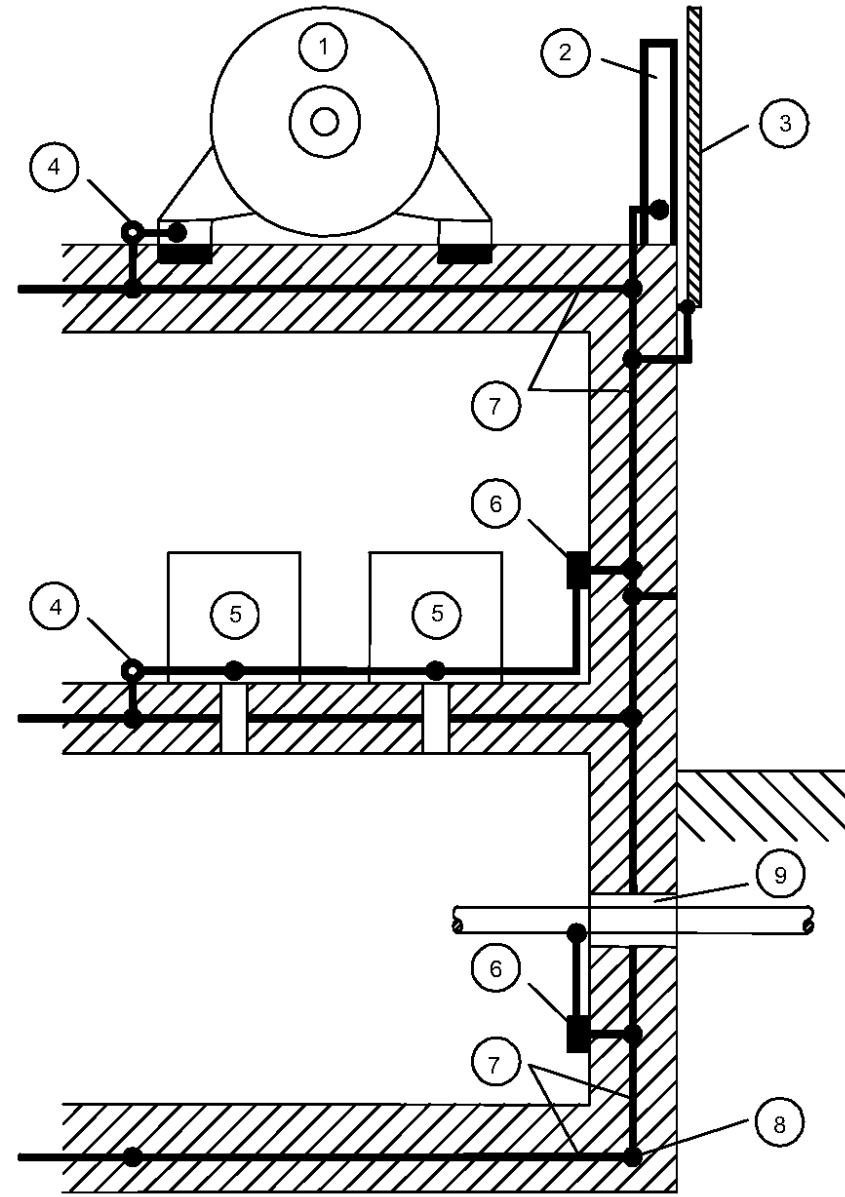


# ZÁKLADOVÝ ZEMNIČ (pilota)

---



# ZÁKLADOVÝ ZEMNIČ



# ZEMNÍ ODPOR

---

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

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

$R$  – 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)

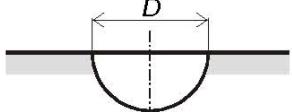
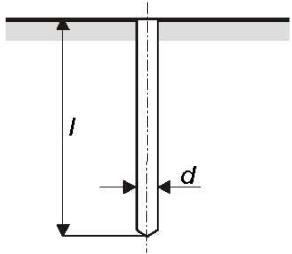
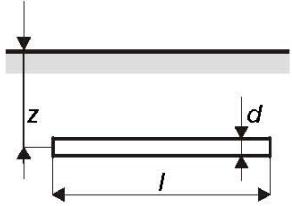
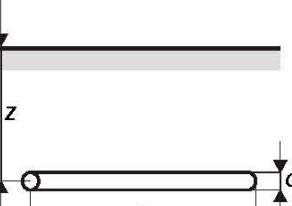
- exaktní výpočet:

- komplikovaný

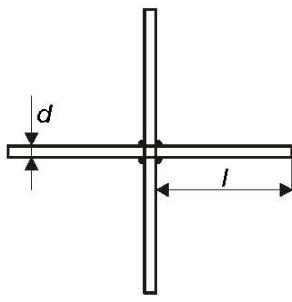
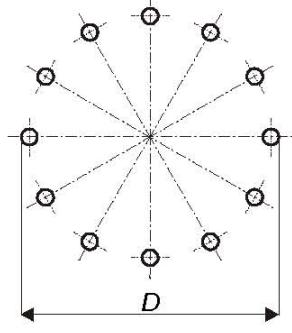
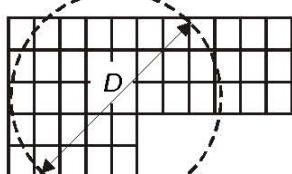
- proudové pole, rozložení napětí (QuickField, FEMlab, Opera3D, ...)

- často zjednodušení: bodový zdroj (polokulová elektroda)

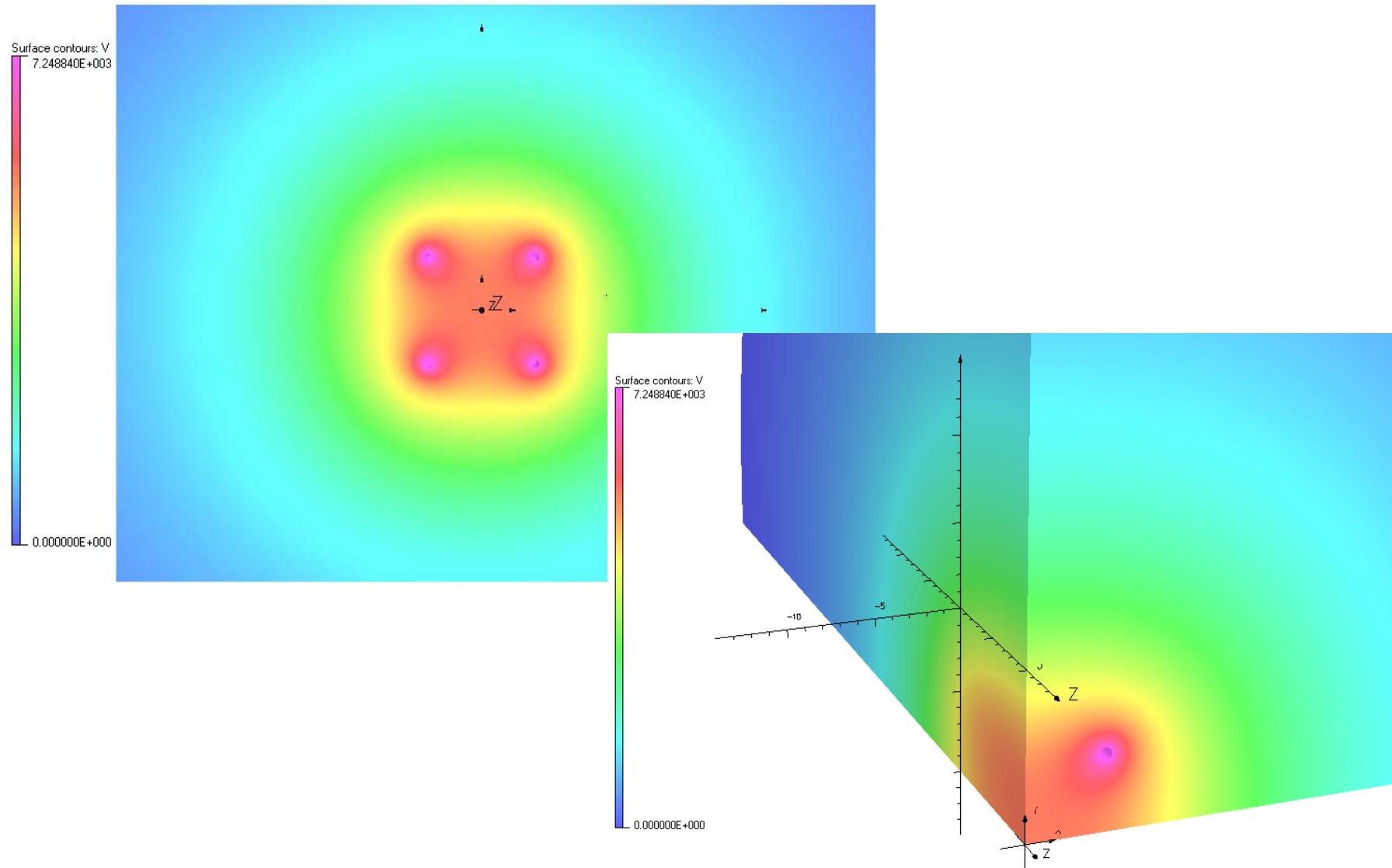
# ZEMNICÍ ELEKTRODY

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

# ZEMNICÍ ELEKTRODY

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

# UZEMNĚNÍ STOŽÁRU VN

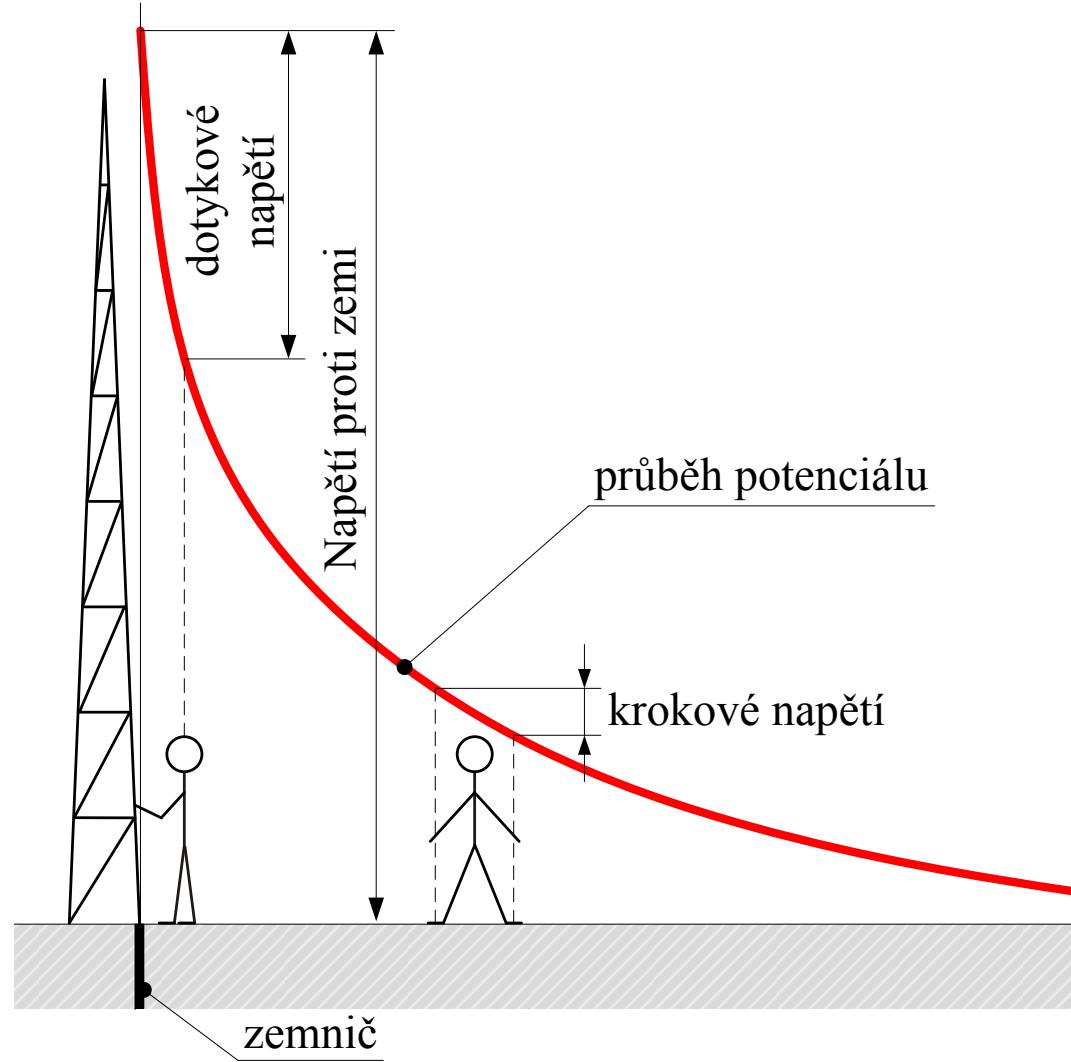


# KROKOVÉ NAPĚTÍ

---

- 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

# UZEMNĚNÍ (dle ČSN EN 62305)

---

- zemnič typu A:
  - zemnič v půdě (min. 80% své délky)
  - paprskovitý nebo tyčový zemnič nesplňují 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)

