

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Návrh zemního systému pro nízké napětí



## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem uzemňovací soustavy pro nízké napětí na základě praktického měření rezistivity půdy ve stanovených lokalitách. Cílem je porovnání odporů vypočtených ekvivalentních zemničů s odpory reálných zemničů. V úvodu této práce je proveden teoretický rozbor problematiky uzemnění. Dále jsou blíže popsány metody měření uzemnění a měrného odporu půdy. Praktická část práce shrnuje výsledky měření z jednotlivých lokalit s pomocí měřicího přístroje. V závěru jsou provedeny výpočty související s návrhem vhodného zemniče v rámci zvolených lokalit.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Měrný odpor, rezistivita půdy, zemní odpor, zemnič, uzemnění

## **ABSTRACT**

This Diploma Thesis describes the design of low voltage grounding systems based on practical soil resistivity measurement at chosen locations. The main aim is to compare the earth resistance of calculated and real earthing electrodes. In the introduction there is theoretical analyzing of grounding issue. In the next part there are described methods of earth resistance and soil resistivity measuring. The practical part of the thesis summarizes the results of practical measurements in individual places with measuring device. In the conclusion, there are calculations related to the design of a suitable grounding system within chosen locations.

## **KEY WORDS**

Specific soil resistance, soil resistivity, earth resistance, grounding, earthing system

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne

.....

## PODĚKOVÁNÍ

Toto poděkování bych chtěl věnovat všem lidem, kteří mě během mého studia na ZČU soustavně podporovali.

Zvláštní díky patří Ing. Radce Valešové za cenné rady, čas a poskytnuté technické zázemí pro tuto práci. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janě Lidákové za čas věnovaný při konzultacích a dalším lidem, kteří se jakoukoliv měrou podíleli na výsledcích mé práce. Jmenovitě pak panu Přemyslu Šmídovi, Ing. Františku Rajskému, Ph.D. a Ing. Jaroslavu Bártovi. V neposlední řadě děkuji své rodině a všem přátelům za duševní podporu během let mého studia.

# OBSAH

<b>Obsah</b> .....	<b>7</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>Seznam použitých symbolů a zkratek</b> .....	<b>10</b>
<b>1 Teoretická část</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 Druhy elektrických sítí</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2 Úvod do problematiky zemničů v distribuční síti NN</b> .....	<b>14</b>
1.2.1 Požadavky na uzemnění .....	15
1.2.2 Proudová zatížitelnost .....	16
1.2.3 Typy zemničů .....	17
1.2.4 Hlavní části uzemnění .....	18
1.2.5 Materiály zemničů .....	20
<b>2 Návrh, stavba a měření uzemnění v distribuční síti nn</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1 Rezistivita půdy</b> .....	<b>23</b>
2.1.1 Metody měření rezistivity půdy .....	24
<b>2.2 Zemní odpor</b> .....	<b>28</b>
2.2.1 Měření odporu zemniče .....	28
<b>3 Měření odporu v praxi</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1 Měřicí přístroje</b> .....	<b>35</b>
<b>3.2 Metody měření</b> .....	<b>36</b>
<b>3.3 Měření v 1. lokalitě - Kornatice</b> .....	<b>38</b>
3.3.1 Naměřené hodnoty – 1. měření .....	38
3.3.2 Naměřené hodnoty – 2. měření .....	39
<b>3.4 Měření v 2. lokalitě – Plzeň, Božkov</b> .....	<b>40</b>
3.4.1 Naměřené hodnoty .....	41
<b>3.5 Měření v 3. lokalitě – Vejvanov</b> .....	<b>42</b>

3.5.1	Naměřené hodnoty .....	43
<b>4</b>	<b>Výsledky měření .....</b>	<b>45</b>
4.1	Výsledné rezistivity půdy .....	45
4.2	Výsledné odpory zemničů .....	47
<b>5</b>	<b>Výpočtová část .....</b>	<b>50</b>
5.1	Vztahy pro výpočet odporu zemničů .....	50
5.2	Výpočet ekvivalentních zemničů .....	52
5.3	Porovnání reálných a vypočtených zemničů .....	54
5.4	Návrh vhodného uzemnění .....	56
	<b>Závěr .....</b>	<b>59</b>
	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>62</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>64</b>



# ÚVOD

Tato diplomová práce se zaměřuje na problematiku návrhu uzemnění elektrických zařízení na hladině nízkého napětí. Hlavním úkolem je porovnání zemních odporů reálných  $R_A$  a vypočtených  $R_E$  zemničů, na základě praktického měření ve vybraných lokalitách a následné posouzení míry schopnosti dodržení nároků kladených normami. Problematiku uzemnění jako celku, popisují související normy ČSN a PNE, které přesně vymezují požadavky na správný návrh a zhotovení uzemňovací soustavy. Neustálý průzkum této oblasti je z hlediska zajištění bezpečnosti velice důležitý, jelikož správně uzemněné zařízení, při stanovených podmínkách provozu, snižuje riziko ohrožení zdraví lidí a zvířat elektrickým proudem.

Úvodní kapitola je věnována především teoretickému rozboru zemničů. Podrobněji jsou zde popsány jednotlivé typy, hlavní části, nejčastěji používané materiály a základní požadavky na návrh uzemnění. V téže kapitole jsou dále shrnuty elementární informace týkající se dělení sítí podle uzemnění uzlu.

V další části práce je blíže popsán návrh a měření uzemnění, jelikož má-li zemnicí zařízení fungovat spolehlivě, je důležité dodržování normami stanovených požadavků na zemní odpor, rozměry a vhodná místa jeho uložení. Tato tematika je zde podrobně analyzována, přičemž uvedená fakta jsou podložena souvisejícími normami ČSN a PNE. V této kapitole jsou dále objasněny pojmy rezistivita půdy a zemní odpor, následně jsou zde rozebrány základní metody měření těchto veličin.

Úvod praktické části této práce je orientován na seznámení s použitými měřicími přístroji a aplikované metody pro měření zmíněných veličin. Následně jsou postupně popsány vybrané lokality s již realizovanými projekty a uzemněným zařízením. V závěru kapitoly jsou shrnuty výsledky měření rezistivity půdy a zemních odporů reálných zemničů.

Diskuze, včetně tabulkového a grafického rozboru naměřených výsledků, je provedena v následující kapitole. Souhrnné hodnoty z těchto tabulek jsou dále používány jako vstupní parametry pro dosazení do vzorců ve výpočtové části této práce.

Závěr diplomové práce je zaměřen na výpočet ekvivalentních zemničů z naměřených rezistivit půdy, následné srovnání s reálnými hodnotami zemních odporů měřených zemničů a další výpočty pro zlepšení zemnicích vlastností.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<b>AC</b>	střídavý proud
<b>ČR</b>	Česká republika
<b>ČSN</b>	česká státní norma
<b>d [m]</b>	vzdálenost napěťové elektrody od středu měření
<b>d [m]</b>	průměr lanového/tyčového zemniče nebo polovina šířky páskového zemniče
<b>D [m]</b>	průměr kruhového zemniče
<b>E; ES; T</b>	zemnič
<b>EN</b>	evropské normy
<b>H; T1</b>	pomocná proudová sonda
<b>I [A]</b>	proud
<b>k [-]</b>	koeficient pro dosažení do Schlumbergerovy metody
<b>K [-]</b>	činitel zohledňující změnu ročního období
<b>l; L [m]</b>	délka
<b>M</b>	můstková metoda měření
<b>m n. m.</b>	metry nad mořem
<b>n [-]</b>	počet tyčí
<b>NN</b>	nízké napětí
<b>PNE</b>	podnikové normy energetiky
<b>R [Ω]</b>	odpor
<b>R<sub>A</sub> [Ω]</b>	změřený zemní odpor
<b>R<sub>E</sub> [Ω]</b>	vypočtený zemní odpor
<b>R<sub>Ek</sub> [Ω]</b>	vypočtený zemní odpor kruhového zemniče
<b>R<sub>Em</sub> [Ω]</b>	vypočtený zemní odpor zemnicí mříže
<b>R<sub>Ep</sub> [Ω]</b>	vypočtený zemní odpor paprskového zemniče
<b>R<sub>Et</sub> [Ω]</b>	vypočtený zemní odpor tyčového zemniče
<b>R<sub>p</sub> [Ω]</b>	zemní odpor tyčového zemniče
<b>R<sub>t</sub> [Ω]</b>	zemní odpor paprskového zemniče
<b>S</b>	selektivní metoda měření
<b>S; T2</b>	pomocná napěťová sonda
<b>S<sub>zm</sub> [m<sup>2</sup>]</b>	plocha zemnicí mříže
<b>U [V]</b>	napětí
<b>λ [m]</b>	vzdálenost proudové elektrody od středu měření

---

$\pi$	Ludolfovo číslo
$\rho$ [ $\Omega$ m]	rezistivita
$\eta_1$ [-]	koeficient využití tyčí

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

Tato práce je zasvěcena problematice uzemnění elektrických zařízení v distribučních sítích nízkého napětí, tedy do napěťové hladiny 1 kV (AC). Obecně jsou elektrické sítě tvořeny zdroji a soustavou obvodů, ke kterým jsou připojena veškerá elektrická zařízení. Se zvyšující se napěťovou hladinou vzniká také nebezpečí úrazu obsluhy a okolí. Proto je potřeba využívat příslušných ochranných před úrazem elektrickým proudem, a to před dotykem živých i neživých částí. Správná volba ochranného jistění je závislá především na druhu distribuční sítě. Obecně jsou sítě rozlišovány podle způsobu uzemnění uzlu napájecího zdroje (transformátoru). V distribuční soustavě o nízké napěťové hladině jsou v České republice nejčastěji používány sítě TN-C.

## 1.1 DRUHY ELEKTRICKÝCH SÍTÍ

Jak bylo uvedeno výše, jednotlivé druhy distribučních sítí se rozlišují podle způsobu uzemnění středu (uzlu) soustavy. Každý typ takové sítě má své specifické písemné označení, které napoví, jak je uzemnění zajištěno.

### *Význam značení sítí:*

**a) První písmeno** značí, zda je uzel zdroje uzemněn:

- **T** = označuje spojení jednoho bodu sítě (uzel zdroje) se zemí
- **I** = uzel zdroje je od země izolován nebo uzemněn přes velkou impedanci

**b) Druhé písmeno** je spjato se způsobem uzemnění neživých částí

- **T** = neživé části jednotlivých zařízení zapojených v rámci sítě jsou uzemněny
- **N** = neživé části jsou propojeny s ochranným vodičem, který je vyveden do uzlu zdroje

**c) Další písmeno** je doplňkové, vymezuje specifický typ sítě TN

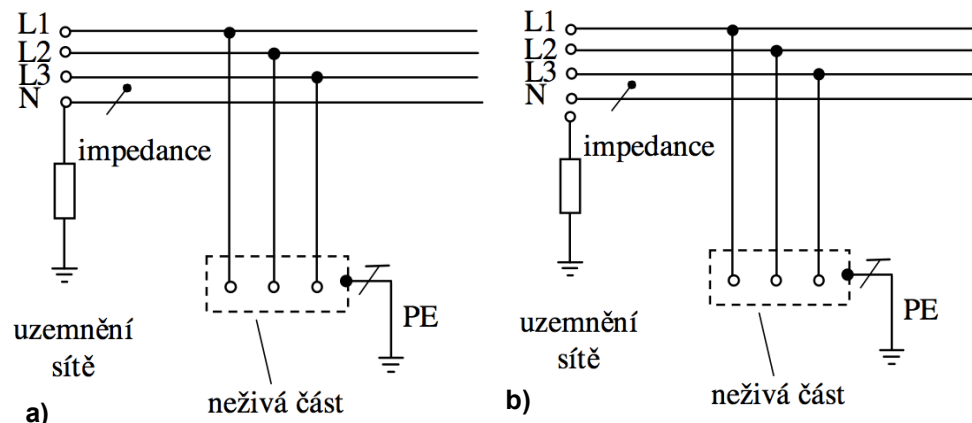
- **S** = v rámci sítě TN je ochranný vodič (PE) veden separovaně od nulového vodiče (N)
- **C** = ochranný vodič (PE) a nulový vodič (N) jsou v síti TN sdruženy do jednoho vodiče PEN
- **C – S** = zvláštní druh sítě TN, který kombinuje oba předešlé případy

Kombinací písmen dle výše zmíněného značení můžeme rozlišit tyto typy elektrických sítí:

- **IT soustava**

Jedná se o typ sítě, v níž jsou veškeré živé části obvodu izolovány od země, přičemž neživé části jednotlivých připojených zařízení jsou uzemněny. V rámci tohoto druhu

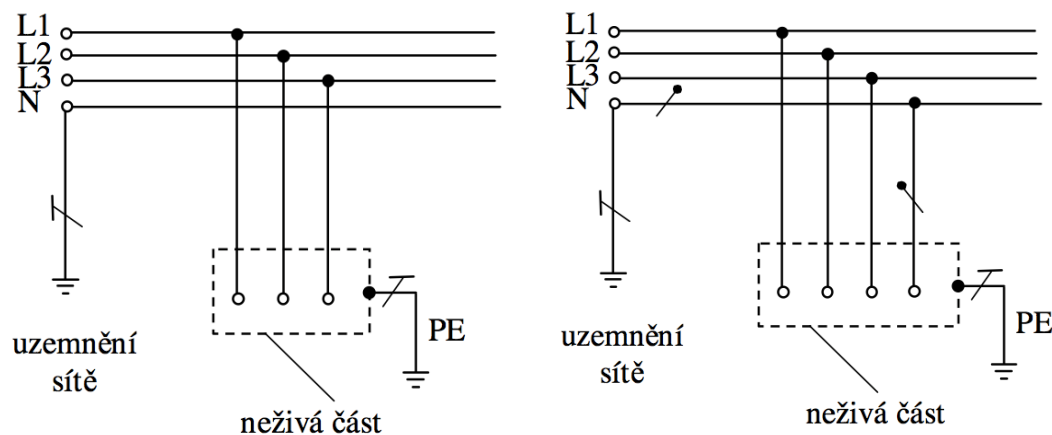
sítě je možné uzemnit jeden bod (uzel zdroje) pouze v případě, kdy bude se zemí propojen přes velkou impedanci.



Obrázek 1 Síť IT a) uzemněná přes velkou  $Z$  a b) s neuzemněným uzlem

- **TT soustava**

U této sítě je uzel zdroje uzemněn a zároveň jsou spojeny se zemí neživé části připojených elektrických zařízení. Tato zařízení jsou však spojena se zemí separátně vlastním ochranným vodičem, nikoliv s vlastním uzemněním sítě.



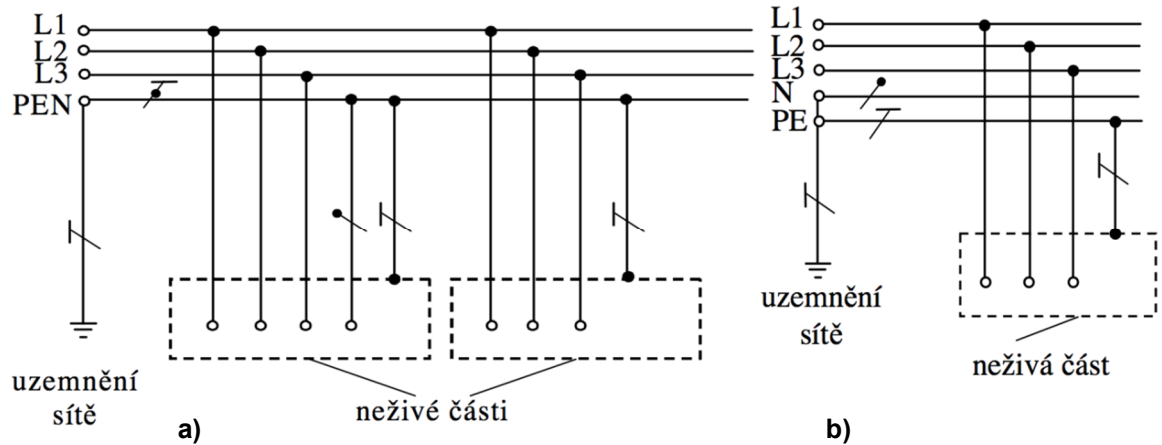
Obrázek 2 Síť TT

- **TN soustava**

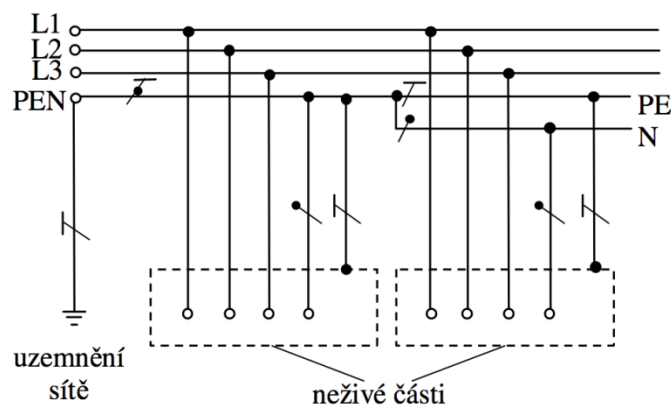
*TN-C (TN-S)*

Jak bylo již zmíněno výše, jedná se u nás o nejrozšířenější druh sítě, který je využíván u většiny nadřazených sítí distribuční soustavy NN. Nulový vodič zde současně plní funkci ochranného vodiče (PEN). Všechny neživé části jednotlivých

elektrických zařízení distribuční sítě TN jsou spojeny s tímto vodičem, který je spojen se středem (uzlem) vinutí zdroje. Uzel soustavy TN je vždy uzemněný. V případě sítě TN-S jsou nulový (N) a ochranný vodič (PE) vedeny zvlášť.



Obrázek 3 Síť a) TN-C a b) TN-S



Obrázek 4 Síť TN-C-S

[1,2,6,7,8]

## 1.2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY ZEMNIČŮ V DISTRIBUČNÍ SÍTI NN

Dle normy ČSN 33 2000-5-54 ed. 2 je zemnič definován jako: „vodivá část, která může být uložena v daném vodivém prostředí.“ [1] Jedná se tedy o zařízení zhotovené z vodivého materiálu, uložené např. v půdě o určité rezistivitě, za účelem ochrany systému celého elektrického zařízení, k němuž je zemnič připojen.

Legislativa zahrnující informace, týkající se problematiky uzemnění a zemního odporu, je nezbytnou součástí návrhu, měření i výpočtu zemniče v praxi. Praktická část této práce proto bude vycházet z aktuálních verzí těchto norem:

- **ČSN 33 2000-5-54 ed. 2 (ed. 3)** – jedná se o českou státní normu popisující především návrh a výpočet uzemnění
- **PNE 33 0000-1** – 5. vydání podnikové normy z června 2011, které je důležité především z hlediska volby parametrů, uspořádání zemničů a měření a zkoušení uzemnění
- **PNE 33 0000-4** – 3. aktualizované vydání této podnikové normy zahrnuje především příklady výpočtů jednoduchých uzemňovacích soustav pro zařízení s napětím do 1kV a nad 1kV AC
- **ČSN EN 50 522** – česká státní norma vycházející z evropské normy EN 50 522, týkající se požadavků na návrh a provedení uzemňovacích soustav elektrických instalací

Správnou koncepci uzemňování zajišťují také pravidelně aktualizovaná vydání příslušných metodik od provozovatele distribuční soustavy. Tyto metodiky jsou na rozdíl od norem neveřejné a mají za úkol doplnit a sjednotit požadavky provozovatele soustavy např. na použití konkrétních typů zemnicích zařízení, stanovení materiálů, způsoby značení uzemnění, dále požadavky na výstavbu, rekonstrukci a opravy v příslušných napěťových hladinách a revize uzemnění.

### 1.2.1 POŽADAVKY NA UZEMNĚNÍ

Při návrhu uzemnění je nezbytné řídit se obecně stanovenými požadavky, které zajistí nejen dostatečnou ochranu zdraví, ale zároveň ochranu instalace celé sítě.

Ochranu sítě lze výrazně podpořit navržením takového zemniče, který se při poruše dokáže efektivně vypořádat s proudovým zatížením a dále má dostatečnou mechanickou pevnost a odolnost proti korozi v místě styku zemniče se zemí s přihlédnutím na předpokládané vnější vlivy v dané lokalitě.

Při návrhu příslušné uzemňovací soustavy a určení jejího uspořádání je důležité brát v potaz:

- a) normou stanovený dovolený odpor
- b) maximální přípustné napětí na uzemňovací soustavě
- c) dovolené dotykové a krokové napětí
- d) proudovou zatížitelnost

e) mechanickou odolnost a odolnost proti korozi [9]

Dodržení těchto základních požadavků zajistí správnou funkčnost uzemňovací soustavy, která tak poskytuje ochranu před úrazem elektrickým proudem, bleskem, přepětím v síti, a také správnou funkčnost připojených elektrických zařízení. Technicky kvalitně provedené uzemnění tak napomáhá stabilizaci napětí v síti.

## 1.2.2 PROUDOVÁ ZATÍŽITELNOST

Během poruchy v síti, kdy je kladen požadavek na efektivní uzemnění poruchového proudu, dochází k velkým tepelným úbytkům v okolí zemniče a možnému vysoušení zeminy, což má za následek zvýšení teploty a odporu půdy. To jakým způsobem bude teplo rozváděno do okolí, je do velké míry ovlivněno velikostí stykové plochy zemniče s půdou, konkrétními půdními podmínkami v blízkosti zemniče (především vlhkost zeminy, s čímž přímo souvisí její vodivost), rozměry a tvarem zemniče a dále tím, jak velkým proudem je zemnič zatížen.

Proto v místě spojení se zemí musí být uzemnění provedeno tak, aby při poruše vydrželo zemní poruchové proudy a proudy ochranným vodičem směrem k zemi, přičemž nesmí dojít k nežádoucím tepelně mechanickým a elektromechanickým namáháním. Na hodnotách těchto poruchových proudů pak přímo závisí míra nebezpečí úrazu elektrickým proudem. [4, 9]

**Tabulka 1** Dovolené hustoty proudu vztažené na plochu zemniče uloženého v zemi převzato z [1, 2]

Doba průchodu proudu	Proudová hustota v $A/m^2$ plochy povrchu zemniče uloženého v zemi o rezistivitě:			
	100 $\Omega m$	500 $\Omega m$	1000 $\Omega m$	3000 $\Omega m$
1 s	1000	447	316	182
5 s	447	200	141	82
1 h	16,6	7,5	5,2	3
2 h	11,8	5,3	3,7	2,2
3 h	9,6	4,3	3	1,8



Proudové zatížení zemničů uložených v půdě se určuje dle tabulky 1, kde je uvedena proudová hustota vztažená na plochu zemniče, přičemž na 1 m<sup>2</sup> plochy zemniče je podle tvaru zemniče potřeba:

- 14,7 m zemnicí pásky 30×4 mm
- 31,8 drátu o průměru 10 mm
- 39,8 drátu o průměru 8 mm

### 1.2.3 TYPY ZEMNIČŮ

Obecně rozlišujeme zemniče náhodné a strojené. V případě strojeného zemniče se jedná o zařízení určené výhradně k funkci uzemnění, kdežto u náhodného zemniče mluvíme o kovové části libovolné podzemní soustavy, která nenáleží dané elektrické instalaci, nebyla vybudována za účelem uzemnění (např. vodovodní potrubí) a není tudíž primárně určena k této funkci. Nicméně může být využita pro zlepšení uzemňovacího odporu primárního zemniče, nikoliv jako samostatný zemnič. [1, 2]

Dle odpovídající normy ČSN 33 2000-5-54 rozlišujeme tyto typy zemničů:

- zemnicí pásky nebo dráty
- zemnicí tyče nebo trubky
- zemnicí desky
- podzemní stavební síť zabudované v základech (tzv. základové uzemnění)
- kovové výztuže betonu (kromě výztuže v předpjatém betonu) uloženého v zemi
- kovové pláště nebo jiné kovové obaly kabelů podle místních podmínek nebo požadavků
- jiná vhodná podzemní kovová díla podle místních podmínek nebo požadavků

#### **Zemnicí pásky a dráty:**

Uložení těchto povrchových horizontálních zemničů je vhodné především v místech, kde byly při předběžném měření získány nízké hodnoty měrného odporu půdy, tedy v místech s vysokou vodivostí do hloubky 1 m pod povrchem. Důraz je kladen na mechanickou pevnost a chemickou odolnost. Nejčastěji používaným materiálem pro pásky i dráty je ocel se zinkovou povrchovou úpravou. Páskové zemniče jsou vhodnější než drátové především z důvodu větší stykové plochy s okolní zeminou. Nevýhodou je ovšem větší náchylnost ke korozi. Ukládají se do hloubky v rozmezí 60 až 80 cm. [12, 14]

### Zemnicí tyče nebo trubky

Tyče nebo trubky bývají uloženy v místech, kde je rezistivita půdy příznivější, tj. v hloubkách větších než 1 m. Používají se také jako doplňkové zemniče pro zlepšení zemního odporu či jako hlavní zemniče ve stísněných podmínkách. Tyče se využívají při běžné délce 2 m a obvyklým materiálem je pozinkovaná ocel.

S ohledem na dosažený zemní odpor při co nejefektivnějším využití plochy zemniče je výhodné použití právě vertikálních zemničů (tyčových). Důvodem je skutečnost, že takový zemnič zasahuje do spodních vrstev půdy s příznivějšími podmínkami, jež se blíží parametrům homogenní půdy. Při stejné rezistivitě tak pro daný zemní odpor stačí tyč o poloviční délce páskového povrchového zemniče. Jelikož v hlubších vrstvách měrný odpor dosahuje většinou podstatně nižších hodnot, může být výsledná délka tyče ještě mnohem menší. Výhodou je také skutečnost, že odpor takového zemniče kolísá se změnou ročního období jen minimálně. [9, 12, 14]

V praxi se často využívá pro účely zemnění elektrického zařízení v distribučních sítích NN ocelových zemnicích pásků FeZn 30x4 mm, dále drátů FeZn 10 mm, FeZn 8 mm a zemnicích tyčí FeZn ZPT 15 a ZPT 20 s T profilem nebo kombinace těchto variant, přičemž záleží na konkrétní délce pásku nebo drátu. Pokud hlavní část zemniče při určité délce nespĺňuje normou stanovené podmínky na maximální zemní odpor, lze využít pro zlepšení odporu doplňkových zemničů. Minimální délky, rozměry či možnosti využití jednotlivých typů zemničů jsou uvedeny ve výše zmíněné normě ČSN. Problematika volby těchto parametrů při návrhu zemnění bude podrobněji rozebrána v kapitole 2.

### 1.2.4 HLAVNÍ ČÁSTI UZEMNĚNÍ

- a) **Zemnič** je pevné těleso vyrobené z vodivého materiálu, které je umístěno v daném vodivém prostředí a nachází se v přímém styku se zemí.

Zemnič nesmí mít formu kovového předmětu ponořeného ve vodě z důvodu vysychání a ochrany zdraví osob během poruchového stavu, kdy je prostředí v bezprostřední blízkosti zemniče pod napětím.

- b) **Uzemňovací přívod** je vodič, který zajišťuje vodivou cestu mezi zemničem a určitým bodem elektrické soustavy, instalace nebo elektrického zařízení.

Při návrhu rozměrů uzemňovacího přívodu musí být respektovány předem stanovené požadavky, a to na prostředí, v němž je uložen, je-li chráněn před mechanickým poškozením či provozován v konkrétním typu elektrické sítě.

Dle normy ČSN 33 2000-5-54 jsou pro sítě TN, kde se nepředpokládají vysoké hodnoty proudů protékajících zemnicí, určeny tyto minimální hodnoty průřezů pro dimenzování zemnice a uzemňovacího přívodu:

- 6 mm<sup>2</sup> – měď
- 16 mm<sup>2</sup> – hliník
- 50 mm<sup>2</sup> – ocel

Místo spojení zemnice a uzemňovacího přívodu musí být provedeno důkladně a elektricky korektně. Takové propojení lze zajistit exotermickým svařením, tlakovými spoji, svorkami nebo jinými podobnými mechanickými spoji. Pokud jsou použity svorky, nesmí být poškozeny kontakty zemnice a uzemňovacího přívodu.

Způsob barevného značení uzemňovacího přívodu se liší v závislosti na tom, jestli plní ochrannou funkci před úrazem elektrickým proudem, či nikoliv. V prvním případě musí být viditelné zelenožluté značení v místech provozu daného zařízení, nebo v místech ovlivňujících bezpečnost osob a věcí. V opačném případě se uzemňovací přívod barevně neoznačuje. Obecně platí, že zmíněný způsob značení je proveden pod místem připojení ke zkušební svorce.

- c) **Hlavní ochranná svorka/hlavní ochranná přípojnice** je důležitou částí uzemňovací soustavy, ve které dochází k vodivému propojení několika uzemňovacích přívodů a k nim připojených zemniců s hlavním ochranným vodičem soustavy. Obecně lze říci, že v každé elektrické instalaci s ochranným pospojováním je zapotřebí tato ochranná svorka nebo přípojnice, k níž jsou kromě již zmíněných uzemňovacích přívodů připojeny také ochranné vodiče, vodiče ochranného pospojování a pokud je to možné, tak i uzemňovací přívody pracovního uzemnění.

Místo, kde dochází ke spojení jednotlivých vodičů s hlavní ochrannou svorkou nebo přípojnici, musí být spolehlivě rozebíratelné za pomoci vhodného nástroje.

Hlavní ochranná svorka/přípojnice je pojem využívaný spíše v souvislosti s rozvody domovní instalace. V případě uzemnění nadřazených distribučních zařízení, jako jsou např. kabelové přípojkové skříně či betonové sloupy, se jedná o **zkušební svorku „E“**, kterou je zemní přívod spojen s hlavním ochranným vodičem. Dle metodiky zmíněné v kapitole 1.2, se tato svorka zpravidla osazuje ve výšce 1,5 m nad terénem, nejméně však v minimální vzdálenosti 0,3 m nad terénem.

**d) Hlavní ochranný vodič „PE“** je místo soustavy, s kterým jsou vodivě propojeny všechny uzemňovací přívody jednotlivých zemniců. Tento vodič je veden na podpěrných bodech sítí vvn, vn a nn. [2, 3, 9]

### 1.2.5 MATERIÁLY ZEMNICŮ

Vzhledem k tomu, že těleso zemniče musí být pro jeho správnou funkčnost uloženo ve vodivém prostředí (v půdě, betonových základech domu apod.), vlastnosti materiálu, z něhož je vyrobeno, musí mít takové parametry, které co nejefektivněji zmírňují nežádoucí účinky korozních vlivů. Dále je potřeba, aby materiál zemniče splňoval požadavky na odpovídající mechanickou pevnost pro danou aplikaci. Tyto parametry spolu s rozměry zemniče hrají rozhodující roli při výběru vhodných materiálů.

Nejčastěji používaným materiálem pro tento typ zařízení je ocel, méně je pak využívána i měď. Každý z těchto materiálů je užíván hned v několika variantách úpravy povrchu. U měděných zemniců se jedná o povrch pozinkovaný, pocínovaný popřípadě holý, oproti tomu ocelové mohou být naopak pokryty mědí či elektrolyticky naneseným povlakem mědi, popřípadě nerezovým nebo v ohni pozinkovaným povrchem. Každému z těchto typů poté odpovídá jeden či více tvarů zemniče. Pro představu například u měděných zemniců s holým povrchem může být využito pásků, kruhových drátů (pro povrchové zemniče), lan či trubek, zatímco u pocínovaných měděných zemniců je využíváno výhradně lan. Příslušná norma, zmíněná v kapitole 1.2.2. stanovuje pro každý typ zemniče minimální rozměry (průměr, průřez, tloušťka) tak, aby byly splněny nároky z hlediska koroze a mechanické pevnosti.

Pokud je pro uzemnění použito více různých materiálů, či se v jeho okolí vyskytují v půdě kovové části, s výrazně odlišným elektrochemickým potenciálem než má materiál zemniče, je třeba při návrhu počítat s elektrolytickou korozi. Např. měděný zemnič se nesmí napojovat na ocelový právě z důvodu velkého rozdílu elektrochemického potenciálu, kdy by po čase docházelo k rozsáhlé korozi a ocelový zemnič by se tak znehodnotil.

Elektrolytická koroze je jev vznikající při vzájemném působení kovů a elektrolytů, jako voda, vodné roztoky či bezvodé taveniny solí. V praxi dochází k takové korozi vlivem tzv. korozních článků, kdy každý z kovů má jiný potenciál na rozhraní kov-elektrolyt. V daném případě pak dochází k silné korozi, a to převážně na méně ušlechtilém kovu. Kombinace různých kovových materiálů je z tohoto důvodu velmi často nebezpečná, proto se měď jako materiál zemniců používá v ČR pouze výjimečně. V následující tabulce 2 jsou uvedeny vzájemné vlivy nejčastěji používaných kovů na jejich elektrolytickou korozi. [1,2,6,7,8]

**Tabulka 2** *Vzájemný vliv kovů na jejich elektrolytickou korozi převzato z [5]*

		<b>Ovlivňující kovy</b>				<b>Legenda:</b>
		<b>Fe</b>	<b>Al</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	
<b>Ovlivňované kovy</b>	<b>Fe</b>	O	B	A	B	A – nepříznivě se ovlivňují
	<b>Al</b>	A	O	A	C	B – mírné ovlivnění
	<b>Zn</b>	C	B	O	C	C – výrazné ovlivnění
	<b>Cu</b>	A	A	A	O	O – nemá vliv

## 2 NÁVRH, STAVBA A MĚŘENÍ UZEMNĚNÍ V DISTRIBUČNÍ SÍTI NN

V kapitole 1.1 bylo rozebráno dělení jednotlivých druhů sítí podle způsobu uzemnění uzlu soustavy, přičemž dle normy PNE 33 0000-1 jsou kladeny specifické požadavky na minimální hodnotu odporu uzemnění tohoto místa. Odpor uzemnění středu zdroje je značen  $R_A$  a jeho velikost nesmí překročit **5  $\Omega$** . Pokud to nepříznivé půdní podmínky v místě uzemnění nedovolují, lze tuto hodnotu překročit do maximální výše **15  $\Omega$** .

Pod ztíženými půdními podmínkami si můžeme představit místo, v němž hodnota rezistivity, v hloubce 1 – 3 m, přesahuje hranici 200  $\Omega\text{m}$ .

Další důležitou veličinou, v souvislosti se zdrojem sítě, je odpor  $R_B$ . Jedná se o celkový odpor uzemnění všech vodičů PEN (PE), které odcházejí z transformovny, včetně odporu uzlu zdroje. Tato hodnota nesmí být u sítí TN o jmenovitém napětí vůči zemi  $U_0 = 230 \text{ V}$  vyšší než **2  $\Omega$** .

Opět zde platí výjimka pro případ nepříznivých půdních podmínek v hloubce 1-3 m o rezistivitě půdy vyšší než 200  $\Omega\text{m}$ . V tomto případě se celkový odpor uzemnění  $R_B$  stanoví podle vzorce:

$$R_B \leq \frac{\rho_{min}}{100} [\Omega] \quad (1)$$

kde  $\rho_{min}$  je nejnižší naměřená hodnota rezistivity půdy v místě budování uzemnění [ $\Omega\text{m}$ ]

V předešlé kapitole na Obrázku 3 je ze schématického znázornění zapojení sítě TN-C (TN-S) patrné, že neživé části elektrických zařízení jsou propojeny s vodičem PEN (PE), který je dále spojen s uzlem sítě. Při návrhu vzdušného či kabelového vedení je však nutné počítat s dalším průběžným uzemňováním tohoto vodiče v celé délce trasy po definovaných minimálních intervalech. Jednotlivá místa uzemnění vodiče PEN (PE) a vzdálenosti mezi nimi mohou být různé. Při návrhu jejich umístění je třeba uvažovat, je-li vedení NN vedeno vzduchem, zemí či se jedná o koncové místo elektrické přípojky. [1,2,3]

Obecně stanovené hierarchické uspořádání vedení v rámci distribuční sítě je definováno normami ČSN 33 0050-601 a ČSN 33 3320. Jedná se o *vedení hlavní, odbočky vedení a elektrické přípojky*, přičemž páteř sítě tvoří hlavní vedení, ke kterému jsou připojeny odbočky a k těmto odbočkám následně elektrické přípojky.

- a) **Uzemnění vodiče PEN (PE) u venkovních vedení** musí být realizováno tak, aby vzdálenost mezi dvěma místy uzemnění podél trasy vedení nebyla větší než **500 m**, přičemž hodnota odporu uzemnění v průběhu trasy nesmí přesáhnout **15  $\Omega$** .

Jsou-li dodrženy tyto podmínky, délka páskového zemniče nemusí přesáhnout **20 m**.

Přísnější požadavek na max. hodnotu odporu uzemnění **5  $\Omega$**  je stanoven v místech na konci hlavního vedení a na konci odbočky, která je delší než **200 m**.

Páskový zemnič v tomto případě nemusí být delší než **50 m**.

Pokud nastane případ, ve kterém je zamezeno zřízení uzemnění na konci hlavního vedení, uzemnění se může posunout zpět v trase vedení do max. vzdálenosti **200 m**.

[3]

- b) **Uzemnění vodiče PEN (PE) u kabelového vedení.** Vzdálenost mezi kabelovou skříní a nejbližším místem uzemnění nesmí u podzemních vedení přesáhnout **100 m**. Velikost odporu v průběžné trase kabelového vedení nemá být větší než **15  $\Omega$** . Zemnicí pásky zde nemusí přesáhnout délku **20 m**.

Podobně jako v případě venkovních vedení, zemní odpor na konci hlavního kabelového vedení a na konci odbočky delší než **200 m** nemá být větší než **5  $\Omega$** . [3]

- c) **Uzemnění vodiče PEN (PE) na konci elektrických přípojek** je potřeba zhotovit v případě, je-li pojistková skříň příslušné elektrické přípojky vzdálena více než **100 m** od posledního nejbližšího místa uzemnění vodiče PEN (PE) v distribuční síti.

Při celkové délce elektrické přípojky do **200 m** je nejvyšší hodnota odporu uzemnění **15  $\Omega$**  a délka zemnicí pásky nemusí být delší než **20 m**.

Pokud celková délka přípojky přesáhne **200 m**, je nejvyšší hodnota odporu uzemnění stanovena na **5  $\Omega$**  a délka zemnicí pásky nemusí být delší než **50 m**. [3]

## 2.1 REZISTIVITA PŮDY

Rezistivita (nebo také měrný elektrický odpor) vyjadřuje vodivost půdy a tedy i její míru schopnosti přenášet elektrický náboj. Měření této veličiny je při návrhu a umístění zemniče nezbytné, jelikož vlhkost a teplota půdy hraje velkou roli při svodu proudu během poruchy v síti. Parametry zeminy se mohou lišit od místa k místu, ale také v rámci jednotlivých půdních vrstev a jejich hloubce pod povrchem země. V závislosti na ročním období dochází k většímu kolísání rezistivity. Tyto změny jsou nejvíce patrné v půdních vrstvách nacházejících se těsně pod povrchem. Významný vliv na výsledný měrný odpor půdy může mít také nadmořská výška, jelikož ve vyšších polohách (nad 400 m n. m.) jsou obecně

teploty nižší a častěji se zde vyskytují atmosférické srážky, které způsobují odplavování kvalitní zeminy obsahující humus z vrchních vrstev půdy. Tento efekt je jedním z faktorů, které nepříznivě ovlivňují výslednou vodivost půdy. V nižších nadmořských výškách je situace opačná. Půda má zde s ohledem na vodivost mnohem lepší parametry. Díky tomu při poruchách v síti dochází k efektivnějšímu rozptylu proudu do okolí zemniče.

Rezistivita půdy v praxi při zvyšující se vlhkosti půdy klesá a naopak. Tato veličina se vyjadřuje v jednotkách  $\Omega\text{m}$ , což je údaj popisující odpor válce o průřezu  $1\text{ m}^2$  a délce  $1\text{ m}$  zcela naplněného zeminou. Stanovení hodnoty rezistivity v zemi lze provádět měřením. V tabulce 3 podle normy ČSN 34 1390 jsou uvedeny orientační hodnoty měrného odporu půdy pro nejčastější typy zemin. [2, 15]

*Tabulka 3 Druhy půd a orientační hodnoty rezistivity převzato z [10]*

Typ půdy	Rezistivita půdy [ $\Omega\text{m}$ ]
Rašelina	30
Ornice, jíl	100
Vlhký písek	200–300
Vlhký štěrk s malým obsahem písku	300–500
Suchý písek nebo štěrk	1000–3000
Suchá kamenitá půda	3000–10000

Použitím těchto hodnot při návrhu zemniče nelze dosáhnout relevantních výsledků. Je proto nutné provést v daném místě budoucí realizace příslušného zemnicího systému proceduru měření rezistivity měřicím přístrojem. K jejímu stanovení se využívá tzv. geoelektrických měření.

### 2.1.1 METODY MĚŘENÍ REZISTIVITY PŮDY

Měření rezistivity se provádí s použitím výše zmíněných geoelektrických metod měření pomocí měřicího přístroje se čtyřelektrodovým uspořádáním měřicích sond. Jednotlivé druhy těchto metod se rozlišují podle konfigurace kovových sond zaražených v zemi. Nejvýznamnějšími zástupci jsou metody Wennerova a Schlumbergerova, z nichž používanější je Wennerova, která je také upřednostněna v normě ČSN 33 2000-5-54.

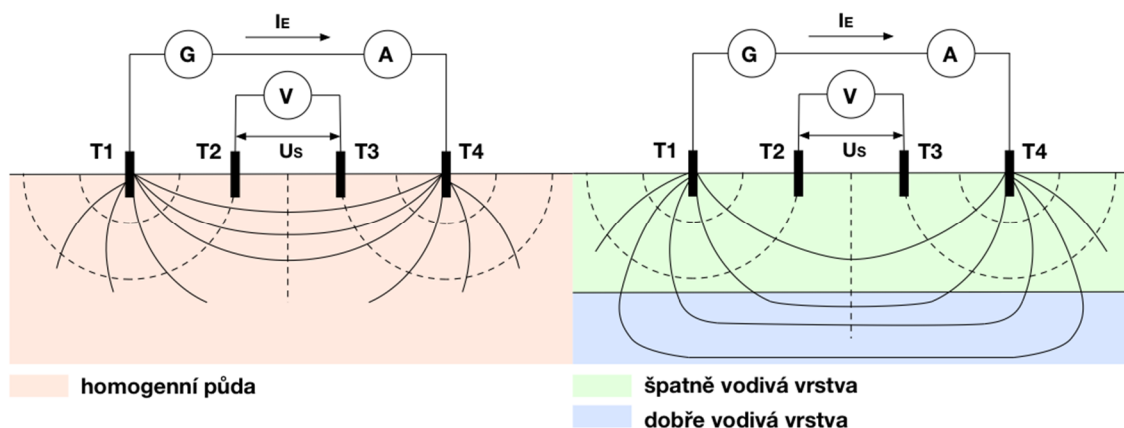


Základní princip geoelektrických měření spočívá v připojení stejnosměrného nebo střídavého zdroje napětí na vnější (proudové) elektrody T1 a T4, jimiž protéká proud a následně vzniká v zemi proudové pole. Předpokládáme-li, že měřená půda má homogenní a izotropní vlastnosti, tzn., že proudová hustota je uvnitř pole ve všech místech stejná, silové čáry propojují elektrody T1 a T4, přičemž ekvipotenciální křivky mají kružnicový tvar a jsou na siločáry kolmé. Mezi ekvipotencionálními plochami vnitřních (napěťových) elektrod T2 a T3 lze pak naměřit rozdíl napětí  $U_S$ . Vše je naznačeno v levé části obrázku 5. Podle Ohmova zákona (viz rovnice (2)) pak jednoduše dostaneme výsledný odpor půdy mezi ekvipotencionálními plochami.

$$R = \frac{U_S}{I_E} \quad [\Omega] \quad (2)$$

kde  $U_S$  je napětí mezi sondami T2 a T3 při protékajícím proudu  $I_E$  [V]

$I_E$  je elektrický proud tekoucí elektrodami T1 a T4 [A]



**Obrázek 5** Rozložení elektrického pole v homogenní půdě (vlevo) a nehomogenní půdě (vpravo)

V přírodě se setkáme spíše s půdou nehomogenní. To znamená, že jednotlivé půdní vrstvy mají rozličné parametry a tedy i různé měrné odpory. Vlivem kolísání rezistivity v těchto vrstvách dochází k deformaci průběhu silových čar. Na obrázku 5 vpravo je znázorněn příklad, kde je vrchní vrstva složena ze zeminy o vyšší rezistivitě, než vrstva spodní. Zde má vyšší vodivost půdy za následek rozdílnou koncentraci siločar. To ovlivňuje tvar ekvipotencionálního pole a zároveň výslednou velikost napětí  $U_S$  na vnitřních sondách. [3, 9, 12]

#### a) Wennerova čtyřelektrodová metoda

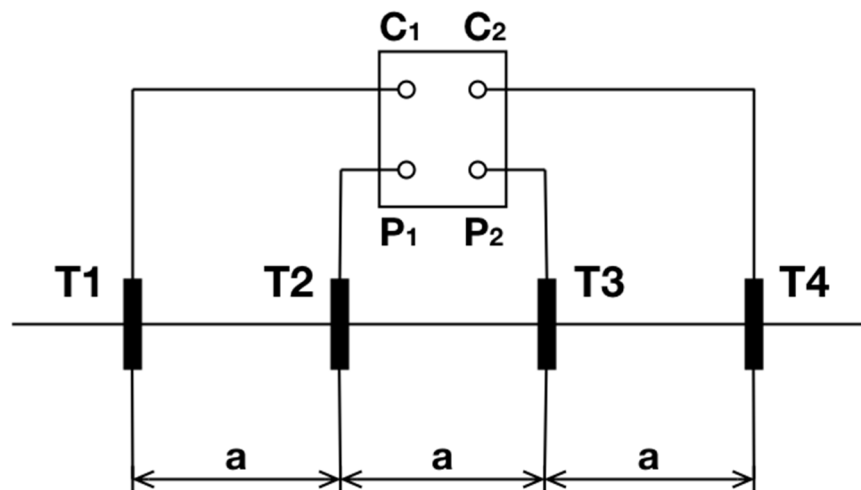
Jak bylo uvedeno dříve, jedná se o nejčastěji využívaný typ čtyřelektrodové metody pro měření rezistivity půdy. Z názvu je patrné, že pro samotný proces měření se využívá

systému čtyř tyčových elektrod. Tyto sondy mají běžně průměr 15 až 20 mm a jsou v určitých rozestupech v jedné přímce zaraženy do země. Dvě z těchto elektrod se označují jako proudové (vnější), druhé dvě jsou napěťové (vnitřní). Schéma zapojení elektrod je uvedeno na obrázku 6. Měřením dostaneme hodnotu odporu půdy, díky kterému, po dosazení do rovnice (3), získáme výsledný měrný odpor půdy. Zvoleným rozstupem elektrod  $a$  se pak určuje hloubka, ve které je rezistivita půdy měřena. [3, 9, 12]

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot R \text{ } [\Omega m] \quad (3)$$

kde  $a$  je vzdálenost mezi elektrodami [m]

$R$  je naměřený zemní odpor půdy [ $\Omega$ ]



Obrázek 6 Schéma zapojení Wennerovy metody měření rezistivity [3]

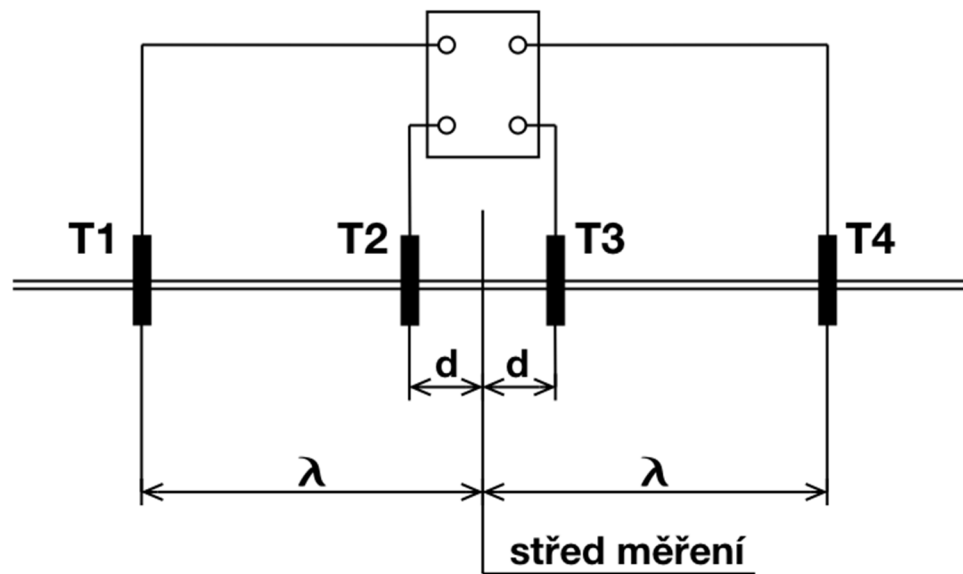
#### b) Schlumbergerova metoda

Schlumbergerova metoda využívá také čtyřelektrodevého systému pro měření rezistivity půdy, nicméně v tomto případě platí rozdílná pravidla pro uspořádání elektrod (viz obrázek 7). Přesností se tato možnost měření vyrovnává metodě Wennerově. Měrný odpor se zde vypočítá ze vztahu:

$$\rho = k \cdot R \text{ } [\Omega m] \quad (4)$$

kde  $k = \frac{\pi}{2} \cdot \left( \frac{\lambda^2}{a} - d \right) [-]$

$R$  je naměřený zemní odpor [ $\Omega$ ]



**Obrázek 7** Schlumbergerova metoda měření rezistivity [3]

V normě PNE 33 0000-1 jsou, pro snadnější dosazení a následný výpočet koeficientu  $k$ , uvedeny hodnoty tohoto koeficientu pro určité rozestupy elektrod v hloubce měření do 3 metrů (viz tabulka 4).

**Tabulka 4** Hodnoty koeficientu  $k$  do hloubky 3m převzato z [3]

$\lambda$ [m]	$d$ [m]	$k$ [-]
1	0,25	5,9
2	0,5	11,8
3	0,5	27,5

Obecně se dává přednost Wennerově metodě před Schlumbergerovou a to z důvodu možnosti měření většího prostoru v podloží půdy díky regulaci vzdálenosti  $a$  mezi sondami zaraženými v zemi. [3, 12]

## 2.2 ZEMNÍ ODPOR

Zemní odpor zemniče  $R_A$  můžeme charakterizovat jako výsledný činný odpor mezi tělesem zemniče a půdou vzdálenou dostatečně od zemniče tak, aby jím nebyla nijak ovlivňována.

Před samotnou realizací uzemnění je potřeba změřit měrný odpor půdy v daném místě, který je základním předpokladem pro výpočet odporu zemniče. Způsoby měření měrného odporu půdy jsou uvedeny v předešlé kapitole. Výpočtem je získána teoretická hodnota odporu zemniče při navrhované délce zemnicího pásku či jiného ekvivalentního zemniče.

Odpor uzemnění musí být z bezpečnostních důvodů měřen v rámci revizí oprávněnými revizními technikami, jak před uvedením daného zemněného objektu do provozu, během jeho provozování, tak i po případných opravách a rekonstrukcích, během nichž může dojít ke změnám v zemnicí soustavě.

Při měření odporu zemniče je pak ověřována hodnota zemního odporu mezi zemničem a okolní půdou, která by se měla shodovat s hodnotou odporu vypočtenou a zároveň hodnotou uvedenou v normě. Výsledek měření může být značně ovlivněn v bezprostřední době po realizaci, kdy ještě zemnič, např. zemnicí pásek, není dostatečně propojen s okolní zeminou, která je navíc nedostatečně usazená a zvyšuje se tím její celková rezistivita.

Metody pro měření zemních odporů většinou vycházejí z aplikace Ohmova zákona, kdy je měřen proud procházející zemničem při určitém úbytku napětí.

Obecně lze pro měření zemních odporů zemniče využívat následující metody při použití základního příslušenství:

- **metoda založená na měření proudu a napětí pro měření zemních odporů**
  - generátor (měřicí přístroj) a soustava měřicích elektrod
- **měření zemních odporů klešťovou metodou**
  - generátor (měřicí přístroj), měřicí a vysílací kleště
- **selektivní metoda měření zemních odporů**
  - generátor (měřicí přístroj), soustava měřicích elektrod a měřicí kleště

### 2.2.1 MĚŘENÍ ODPORU ZEMNIČE

#### a) metoda založená na měření proudu a napětí

Jedná se o klasickou můstkovou metodu, vhodnou pro měření zemního odporu méně rozsáhlých soustav zemničů, při zemním odporu dosahujícím hodnot vyšších než  $0,5 \Omega$ .

Základem této metody je přístroj, který měří malým proudem o určitém kmitočtu, rozdílném od kmitočtu sítě 50 Hz.

Přesného měření lze dosáhnout redukcí různých činitelů, které mají na výslednou hodnotu zemního odporu podstatný vliv. Jedná se především o:

- **vzdálenost měřicích sond od zemniče**

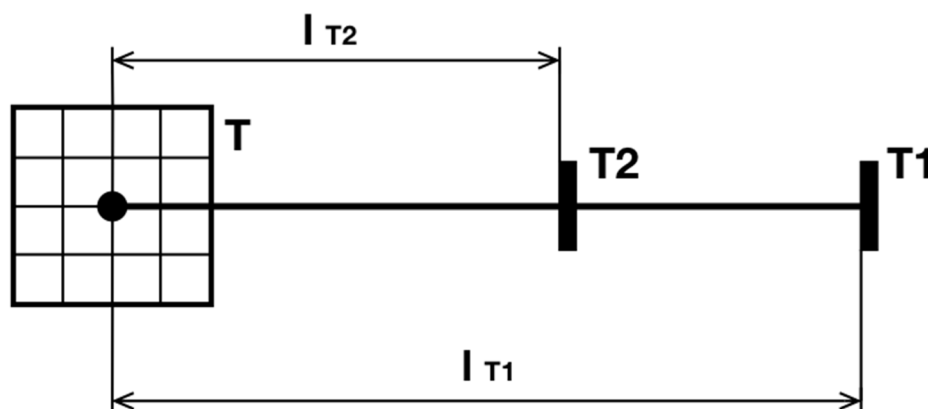
Vzdálenosti měřicích sond od zemniče jsou stanoveny normou. Konkrétně je vycházeno z podnikové normy PNE 33 0000-1. Vzdálenější elektroda (proudová) je umístěna ve vzdálenosti 40 m kolmo na delší rozměr zemniče.

- **prostorové uspořádání elektrod**

Výsledek měření může výrazně ovlivnit také vzájemná poloha měřicích elektrod vůči zemniči. Vzdálenější proudová elektroda T1 by měla být v jedné přímce s blíže umístěnou napěťovou sondou T2 a středem měřené zemničí soustavy T. Uspořádání elektrod vůči měřenému zemniči je znázorněno na obrázku 8. V souvislosti s tímto rozmístěním pak platí vztah:

$$l_{T2} = 0,62 \cdot l_{T1} \quad [m] \quad (5)$$

Jelikož již víme, že vzdálenost proudové elektrody  $l_{T1}$  je normou stanovena na 40 m, dosazením do vztahu dojdeme k výsledné vzdálenosti  $l_{T2}$ , která činí 25 m, což je také údaj v souladu se zmíněnou normou PNE.



**Obrázek 8** Poloha zemniče vůči měřicím elektrodám [9]

- **vlivy jiných zemničů**

Je důležité, aby měřicí sondy byly umístěny v dostatečné vzdálenosti od vlivu potenciálního pole cizích zemničů či jiných kovových zařízení, umístěných pod zemí v blízkosti místa měření. Pokud vznikne podezření, že by získaný výsledek mohl být ovlivněn, je vhodné provést měření v několika směrech, přičemž je uvažována nejvyšší naměřená hodnota. [3, 9, 12]

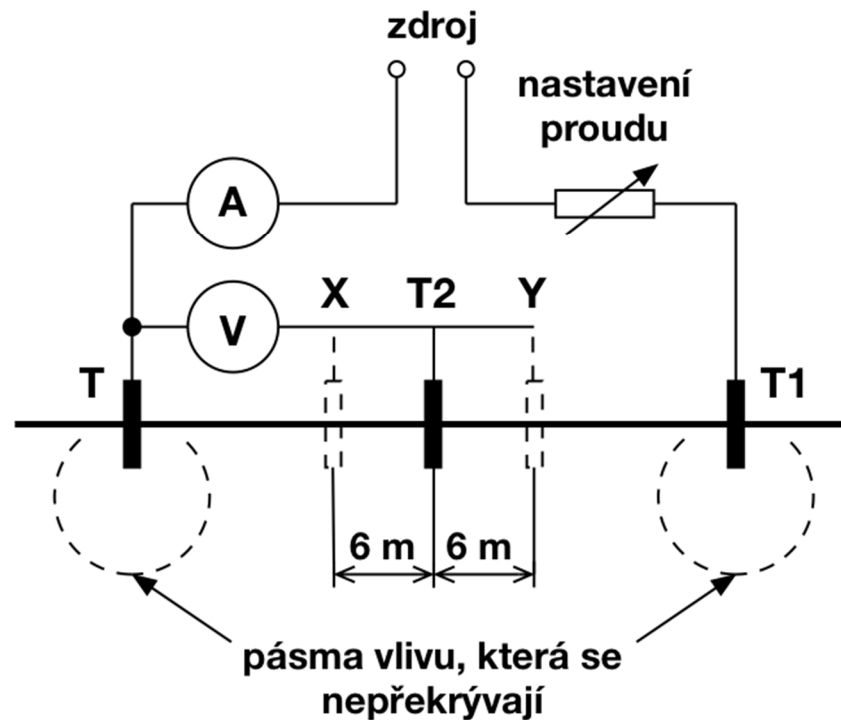
### **Princip metody**

Před samotným měřením je potřeba měřený zemnič odpojit v místě revizní svorky. Jak je znázorněno na obrázku 9, pomocné sondy T1 a T2 jsou připojeny k měřiči zemního odporu, který je zároveň zdrojem ustáleného střídavého proudu. Princip můstkové metody spočívá v odečtení proudu, který vznikne uzavřením proudového okruhu mezi zemničem T a vzdálenější sondou T1 a dále úbytku napětí mezi zemničem T a bližší sondou T2.

Výsledný zemní odpor  $R_A$  se určí z naměřené hodnoty napětí  $U$  mezi T a T2 a proudu  $I$  procházejícím mezi T a T1 pomocí Ohmova zákona:

$$R_A = \frac{U}{I} [\Omega] \quad (6)$$

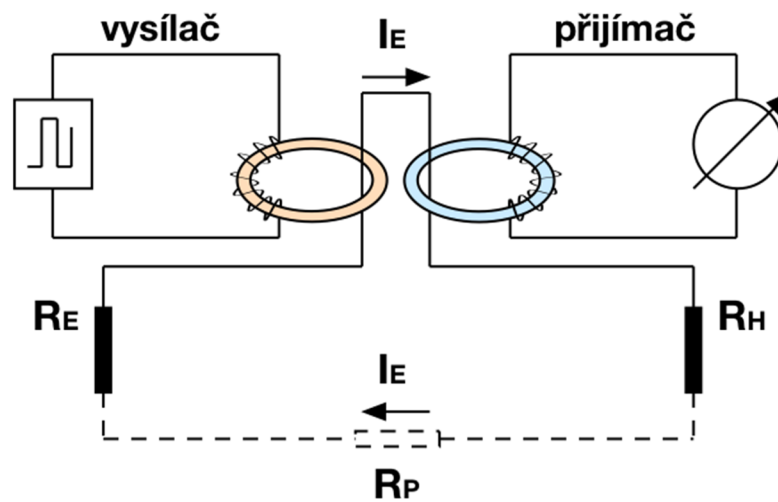
Pro ověření získaných hodnot se v normě doporučuje opakovat měření ještě dvakrát, kdy se sonda T2 umístí po přímce nejprve o 6 m blíže k zemniči do polohy X a následně o 6 m blíže k sondě T1 do polohy Y. Při nepřilíživých výchylnkách se uvažuje střední hodnota z výsledků měření. V opačném případě se měření opakuje při zvolené větší vzdálenosti proudových elektrod od měřeného zemniče. [3]



**Obrázek 9** Schéma zapojení měřicích přístrojů pro metodu proud – napětí [3]

### b) měření zemních odporů klešťovou metodou

Na rozdíl od předchozí metody, v rámci klešťové metody není nutné před měřením rozpojit revizní svorku. Při měření jednoduchého zemniče je potřeba zřídit pomocný zemnič H nebo využít náhodný zemnič v blízkosti měření. Zdrojem proudu u této metody jsou vysílací kleště, připojené do výstupu OUT měřicího přístroje. Proud prochází uzavřeným okruhem tvořeným zemničem E a pomocnou sondou H. Z výstupu IN měřicího přístroje jsou k tomuto okruhu dále připojeny přijímací (měřicí) kleště, na které se následně naindukuje napětí  $U_M$ , které je přímo úměrné protékajícímu proudu  $I_E$ .



Obrázek 10 Schéma principu klešťové metody [9]

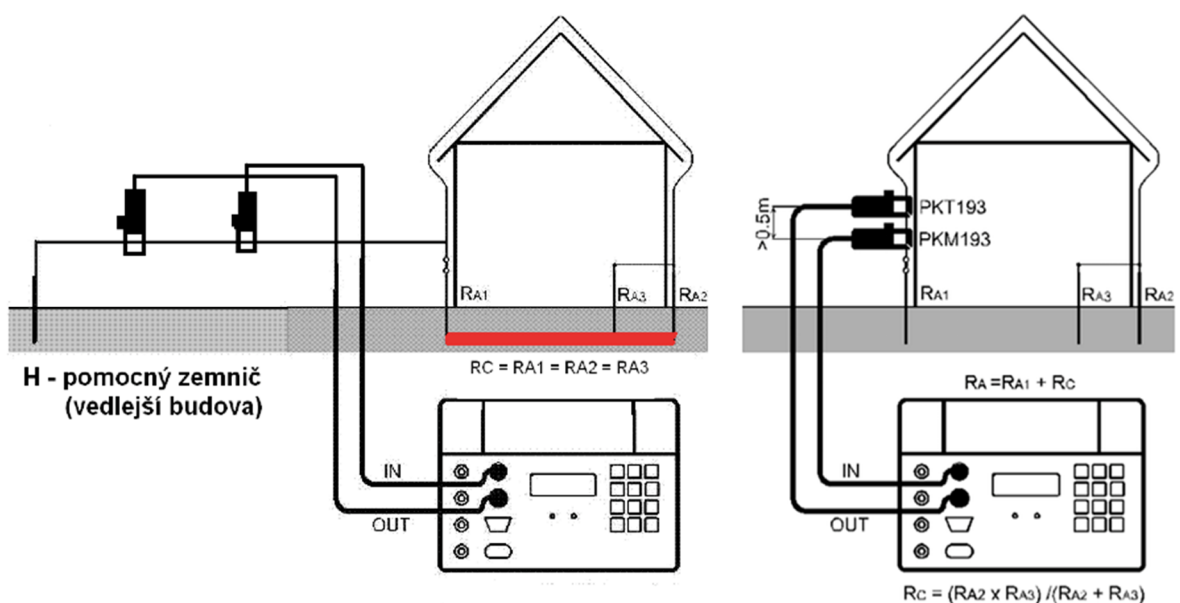
Výsledný naměřený zemní odpor  $R_A$  je dán součtem odporu měřeného zemniče  $R_E$ , odporu pomocného zemniče  $R_H$  a odporu půdy  $R_P$  mezi těmito zemniči. Pro výpočet zemního odporu platí vztah:

$$R_A = R_E + R_H + R_P \text{ [}\Omega\text{]} \quad (7)$$

přičemž vycházíme z aplikace Ohmova zákona:

$$I_E = \frac{U_M}{R_A} = \frac{U_M}{R_E + R_H + R_P} \text{ [A]} \quad (8)$$

Na obrázku 11 je znázorněno zapojení klešťové metody s přístrojem firmy Metra Blansko, PU 193, kde PKT193 jsou vysílací kleště a PKM193 přijímací (měřicí) kleště. [11, 13]

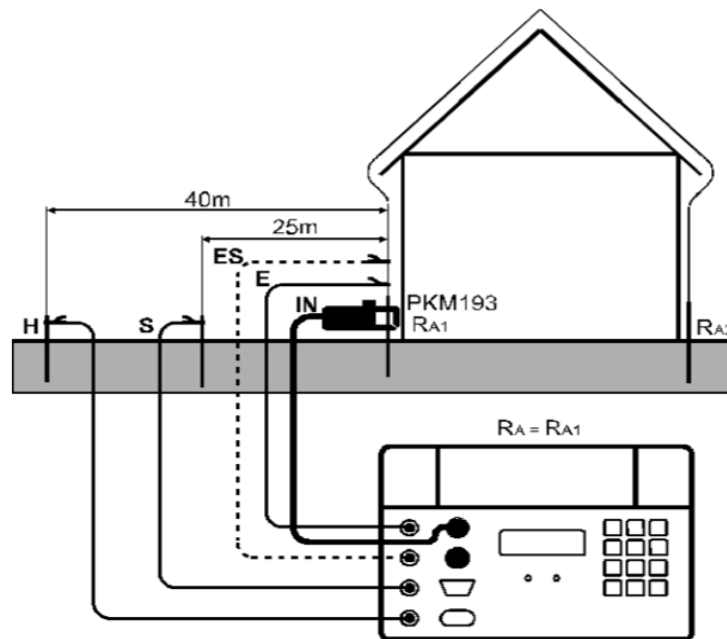


Obrázek 11 Zapojení klešťové metody s pomocnou sontou H (vlevo), bez sondy H (vpravo) převzato z [11]



### c) selektivní metoda měření zemních odporů

Selektivní metoda měření zemních odporů kombinuje obě předešlé metody popsané výše. Jsou zde zapotřebí kleště i pomocné měřicí sondy, přičemž revizní svorka se před měřením nemusí rozpojovat. Výsledný zemní odpor  $R_A$  je vypočítán pomocí úbytku napětí  $U$  mezi pomocnou napěťovou sondou  $S$  a zemničem a proudem  $I$  procházejícím proudovým okruhem a následně změřeným klešťovým přístrojem. Zapojení této metody pomocí přístroje PKM193 je popsáno na obrázku 12. [11, 13]



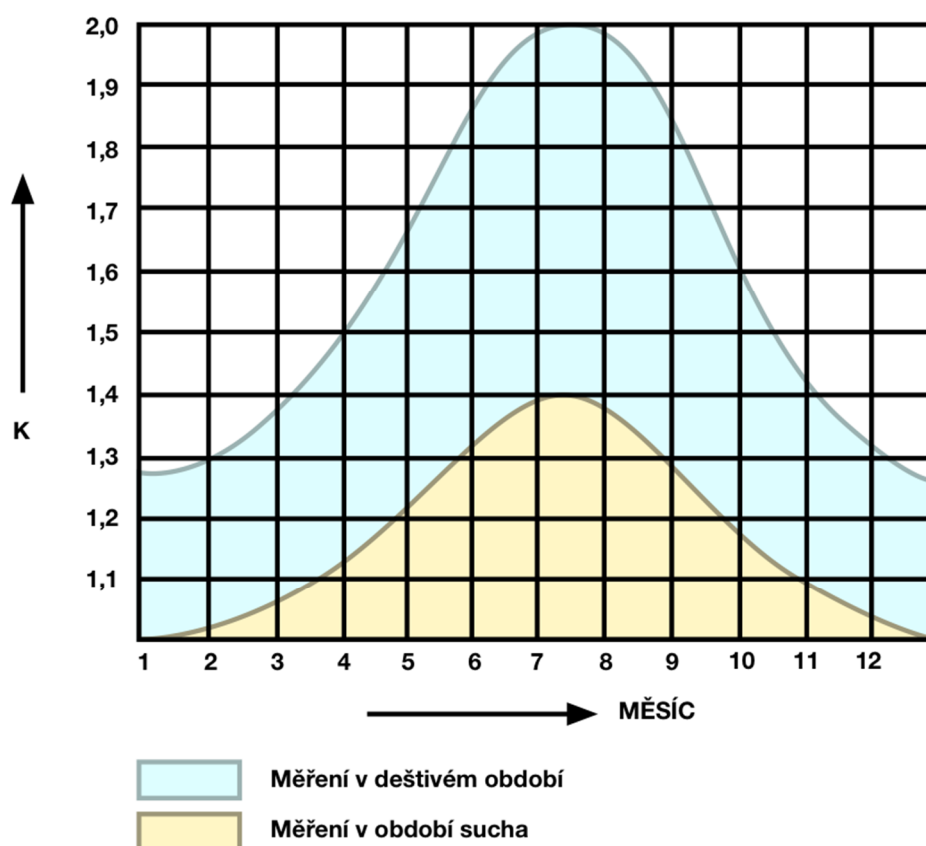
Obrázek 12 Zapojení selektivní metody převzato z [11]

- kde **H** je pomocná proudová sonda  
**S** je pomocná napěťová sonda  
**E (ES)** je zemnič  
**PKM193** je měřicí klešťový přístroj

### 3 MĚŘENÍ ODPORU V PRAXI

U nově zřízených uzemnění elektrického zařízení, např. pojistkové skříně na konci nové přípojky k danému objektu, je nutné provést měření zemního odporu uzemnění jako celku. Výsledek by měl vyhovovat podmínkám stanovených v kapitole 2. Před samotnou realizací je však nezbytné provést měření rezistivity půdy v místě, kde bude zemnič zhotoven. Půdní podmínky a současně s nimi také rezistivita půdy  $\rho_E$  se samozřejmě v různých místech liší. Hodnota měrného odporu půdy je závislá především na druhu půdy, její vlhkosti, povrchové struktuře a hustotě. Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím vodivost půdy je změna ročního období a v souvislosti s tím také klimatické změny vyvolávající déšť či sněžení.

Tyto změny počasí je třeba zohlednit při návrhu uzemnění. K tomu je určen činitel **K**, který je do výpočtu zahrnut. Jedná se o hodnotu získanou odečtem z křivek na obrázku 13, kde je znázorněna závislost kolísání rezistivity na změně ročního období. Maximum a minimum těchto křivek je určeno na základě několikaletého sledování půdních podmínek různými autory publikací a odbornými institucemi a odráží podmínky podobné těm, které jsou u nás [9].



Obrázek 13 Závislost činitele K na změně ročního období [3]

Naměřená hodnota rezistivity se následně tímto činitelem vynásobí, čímž mnohem lépe vypovídající údaj pro další výpočty odporu zemniče. Odečítání z křivek lze uplatnit pouze při měření v hloubce do 3 m.

### 3.1 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

Pro účely této práce byly k měření zemního odporu zemniče v první lokalitě (Kornatice) využity celkem dva přístroje, a to z důvodu zjištění případných výchylek a získání co nejpřesnějších výsledků. Konkrétně se jednalo o zařízení pro měření zemních odporů PU 193 a dále přístroj BENNING IT 120 B. Další měření měrného odporu půdy a odporu zemniče v ostatních lokalitách bylo provedeno pouze přístrojem PU 193.

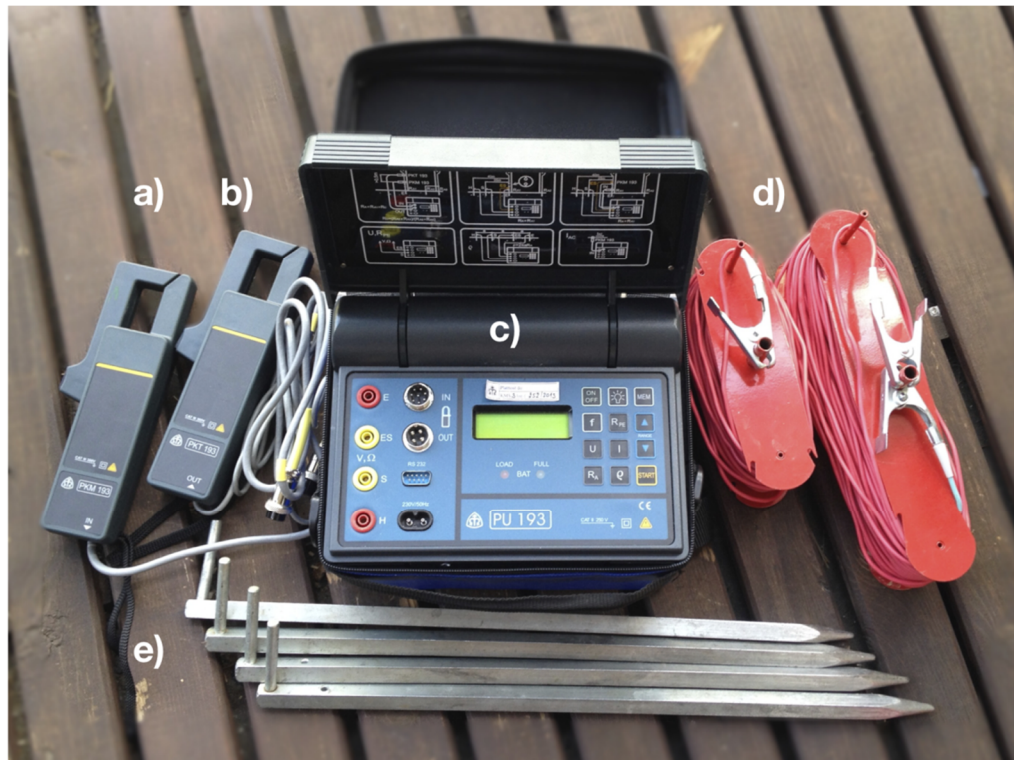
#### Přístroj PU 193

Jedná se o zařízení pro měření zemních odporů, zemničů a uzemňovacích soustav od firmy METRA BLANSKO a.s. Toto zařízení dokáže měřit **zemní odpor** do 20 k $\Omega$  klasickou třívodičovou (nebo čtyřvodičovou) metodou založenou na měření proudu a napětí, dále umožňuje měření zemních odporů klešťovou metodou s použitím vysílacích a měřících kleští a selektivní metodou pomocí sond a měřících kleští.

Dále lze měřit **rezistivitu půdy** do celkových 20 k $\Omega$ m Wennerovou metodou, s možností volby vzdáleností mezi elektrodami a volbou kmitočtu.

Přístroj zvládá také měření odporu ochranného vodiče, měření proudu zemničem pomocí proudových kleští a napětí na zemniči do 250 V. [11]

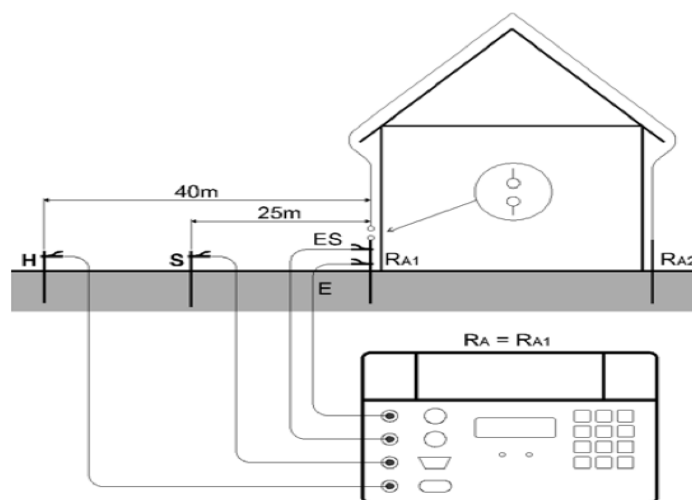
Na obrázku 14 je vyfocen měřicí přístroj s příslušenstvím, využívaným v průběhu měření konkrétními metodami. Měřený zemnič se připojuje ke svorce **E**. Při čtyřvodičové metodě měření se připojí také ke svorce **ES**. Svorka **S** je pro připojení napěťové pomocné elektrody, svorka **H** pro připojení vzdálenější proudové elektrody. Do konektoru **IN** se zapojují měřící kleště PKM193 a **OUT** slouží k připojení vysílacích kleští PKT193.



Obrázek 14 a) měřicí (přijímací) kleště PKM193, b) vysílací kleště PKT193, c) přístroj PU193, d) cívky s měřicími šňůrami a e) měřicí elektrody

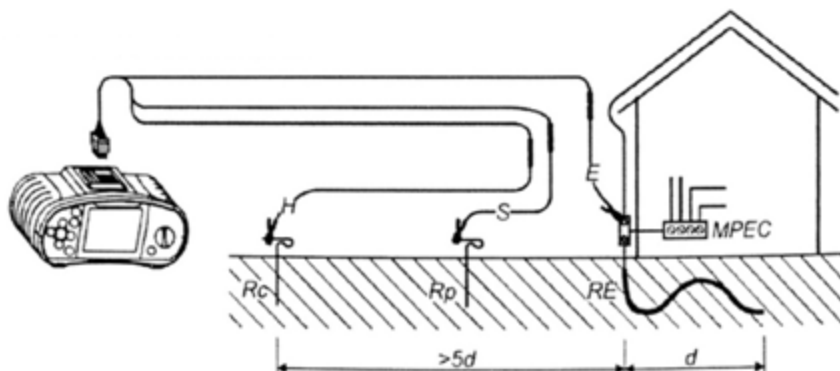
### 3.2 METODY MĚŘENÍ

- a) **Měření odporu zemniče** bylo prováděno metodou *můstkovou a selektivní*. Obě tyto metody jsou blíže popsány v kapitole 2.2.1. Pro účely měření byl využit přístroj PU 193, který při zapojení pomocných sond u můstkové metody respektuje normou stanovené vzdálenosti dle obrázku 8. Propojení sond s měřicím přístrojem bylo provedeno dle manuálu. Schéma zapojení je znázorněno na následujícím obrázku 15.



Obrázek 15 Schéma pro měření odporu zemniče přístrojem PU 193 [11]

Dále probíhalo měření přístrojem BENNING IT 120 B, u kterého se vychází při zapojení sond podle schématu na obrázku 16, přičemž přístroj dovoluje vzdálenosti pomocných sond pro účely měření regulovat. Jedná se opět o můstkovou metodu měření odporů.



**Obrázek 16** Schéma pro měření zemních odporů přístrojem BENNING IT 120 B

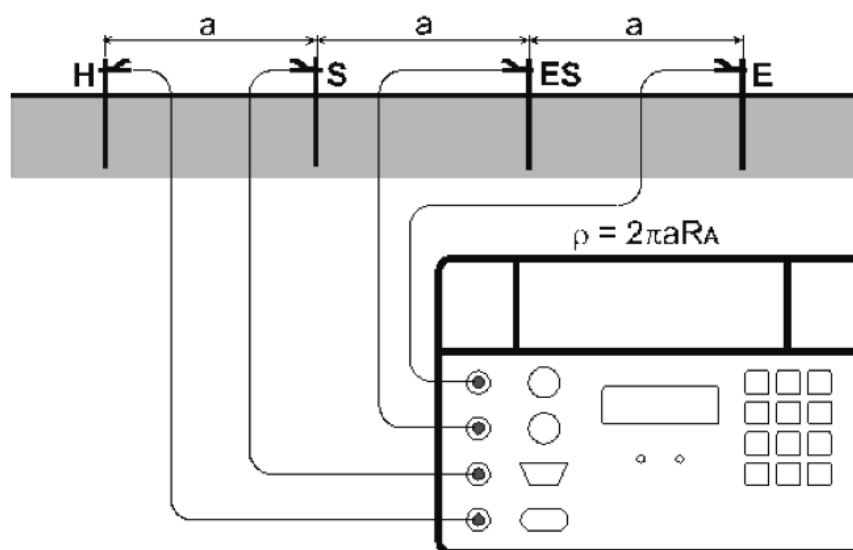
Zapojení vodičů: H = černý, S = zelený, E = modrý

kde  $R_c$  vyjadřuje pomocný zemní odpor elektrody [ $\Omega$ ]

$R_p$  odpor sondy [ $\Omega$ ]

$R_E$  výsledný odpor vůči zemi [ $\Omega$ ]

b) **Měření rezistivity půdy** bylo realizováno Wennerovou metodou, popsanou v kapitole 2.1. K tomuto účelu byl použit měřicí přístroj PU 193. Schéma zapojení dle manuálu přístroje vychází z Wennerovy metody a je znázorněno na obrázku 16.



**Obrázek 17** Schéma zapojení pro měření rezistivity [11]

kde  $a$  vyjadřuje vzdálenost mezi sondami [m]

### 3.3 MĚŘENÍ V 1. LOKALITĚ - KORNATICE

První měření odporu zemniče a rezistivity půdy proběhlo v obci Kornatice a to celkem ve dvou časových horizontech. Situační plánec tohoto projektu je uveden v příloze P1.

<b>Datum měření:</b>	1. měření – konec listopadu 2013 2. měření – konec března 2014
<b>Geografická poloha:</b>	okres Rokycany, Plzeňský kraj, 413 m n. m.
<b>Metrologické podmínky:</b>	1. měření: ranní hodiny – jasno, okolní teplota 3 °C, poslední 3 dny bylo sucho a mrzlo, zem byla vlhká a pokrytá sněhem 2. měření: ranní hodiny – jasno, okolní teplota 11 °C, poslední 3 dny bylo jasno a slunečno, půda byla suchá
<b>Charakteristika půdy:</b>	orná půda obsahující pouze malé procento kamenitých částí
<b>Stupeň realizace:</b>	přípojková skříň připravená na budoucí realizaci stavby obytného domu

Zemněná je zde pojistková skříň v plastovém pilíři, typu SS200/NKE1P-C, zemnicím páskem FeZn 30 × 4 mm o délce 50 m. Normou dovolený maximální odpor uzemnění je v tomto případě, kde je realizováno uzemnění na konci odbočky, jak bylo popsáno v kapitole 2, maximálně 5 Ω.

#### 3.3.1 NAMĚŘENÉ HODNOTY – 1. MĚŘENÍ

##### a) Výsledky měření odporu zemniče:

Měření bylo provedeno za pomoci přístroje BENNING IT 120 B, přičemž proudová elektroda byla umístěna ve vzdálenosti 17 m a napěťová v 10 m. Vzdálenosti sond od místa uzemnění byly v průběhu měření konstantní, měnila se postupně pouze jejich poloha vůči přípojkové skříni a výkopu se zemničem a přívodovým kabelem pod úhlem 90°.

- měřicí sondy umístěny rovnoběžně s výkopem:  $R_A = 8,55 \Omega$
- měřicí sondy umístěny kolmo na výkop a zemnič:  $R_A = 10,91 \Omega$
- měřicí sondy umístěny na druhou stranu od výkopu:  $R_A = 11,52 \Omega$

Střední hodnota naměřeného odporu zemniče  $R_A$  vychází **10,33 Ω**.

### b) Výsledky měření rezistivity půdy v okolí zemniče:

Vlivem nepříznivých půdních podmínek způsobených ranním mrazem, kdy vrchní vrstva zeminy byla ztuhlá a bylo tak obtížné zarážet sondy do země, nebylo provedeno několikačetné měření a jsou tedy zaznamenány pouze dvě hodnoty měrného odporu půdy.

- rozestupy měřicích sond po  $a = 1$  m:  $\rho = 90,5 \Omega\text{m}$
- rozestupy měřicích sond po  $a = 2$  m:  $\rho = 98,2 \Omega\text{m}$

## 3.3.2 NAMĚŘENÉ HODNOTY – 2. MĚŘENÍ

### a) Výsledky měření odporu zemniče

Pro účely měření odporu zemniče můstkovou metodou byl použit přístroj PU 193. Poloha sond vůči zemněné skříni se opět měnila postupně pod úhlem  $90^\circ$ . Při stejném rozmístění elektrod bylo současně měřeno selektivní metodou s využitím měřicích kleští.

- měření můstkovou metodou:
  - měřicí sondy umístěny rovnoběžně s výkopem:  $R_A = 10,26 \Omega$
  - měřicí sondy umístěny kolmo na výkop a zemnič:  $R_A = 10,19 \Omega$
  - měřicí sondy umístěny na druhou stranu od výkopu:  $R_A = 10,44 \Omega$
- měření selektivní metodou:
  - měřicí sondy umístěny nad výkopem:  $R_A = 10,12 \Omega$
  - měřicí sondy umístěny kolmo na výkop a zemnič:  $R_A = 10,21 \Omega$
  - měřicí sondy umístěny na druhou stranu od výkopu:  $R_A = 10,27 \Omega$

Střední hodnota naměřeného odporu zemniče  $R_A$  můstkovou metodou vychází  $10,3 \Omega$ , selektivní metodou  $10,2 \Omega$ .

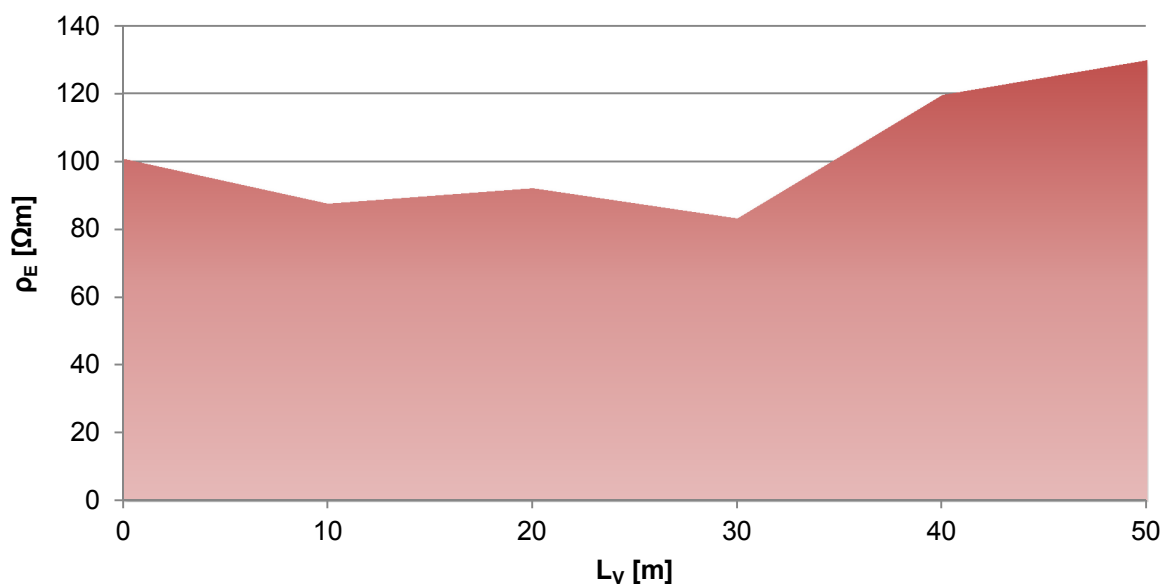
### b) Výsledky měření rezistivity půdy v okolí zemniče

Druhé měření proběhlo na stejném místě při rozestupech sond v 1 m intervalech a celkem v šesti různých vzdálenostech od uzemněné přípojkové skříni. Konkrétně v bezprostřední blízkosti u skříni a následně po deseti metrech v blízkosti výkopu se zemničem, až do vzdálenosti 50 m, tedy do celkové délky zemnicího pásu. Výsledné naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5. Grafické znázornění změny naměřené rezistivity, závislé na vzdálenosti od přípojkové skříni a změnách parametrů půdy v jednotlivých místech, je zobrazeno v grafu 1.

**Tabulka 5** Hodnoty rezistivity půdy naměřené v lokalitě Kornatice

Rezistivita půdy ve vzdálenosti od místa uzemnění					
$\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]					
0 m	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
100,9	87,7	92,2	83,3	119,6	129,8

Střední hodnota rezistivity  $\rho$  v 1. lokalitě je **102,3  $\Omega\text{m}$** .

**Graf 1** Závislost rezistivity půdy na vzdálenosti od místa uzemnění v lokalitě Kornatice

### 3.4 MĚŘENÍ V 2. LOKALITĚ – PLZEŇ, BOŽKOV

Měření odporu zemniče a rezistivity půdy v pořadí 2. lokalitě proběhlo v Božkově, části města Plzně. Situační plánec tohoto projektu je uveden v příloze P2.

<b>Datum měření:</b>	<i>přelom března – duben 2014</i>
<b>Geografická poloha:</b>	<i>okres Plzeň-město, Plzeňský kraj, 300 m n. m.</i>
<b>Metrologické podmínky:</b>	<i>dopolední hodiny – jasno, okolní teplota 15 °C, 2 dny po dešti, půda byla vlhká</i>
<b>Charakteristika půdy:</b>	<i>hlinitá, místy jílovitá půda obsahující pouze mizivé procento kamenitých částí</i>



**Stupeň realizace:** *tři nové přípojkové skříně připravené na budoucí realizaci stavby obytných domů, jedna skříně je uzemněna*

Zemněná je zde pojistková skříně v plastovém pilíři, typu SS100/NKE1P-C, která je umístěná na konci nově vybudované odbočky. Uzemnění je provedeno zemnicím páskem FeZn 30 × 4 mm o délce 50 m při normou dovoleném maximálním odporu uzemnění 5 Ω.

### 3.4.1 NAMĚŘENÉ HODNOTY

#### a) Výsledky měření odporu zemniče

Odpor zemniče byl měřen celkem dvěma metodami, můstkovou metodou, založenou na měření proudu a napětí, a selektivní metodou měření odporu s použitím měřicích kleští. Změřeny byly celkem tři hodnoty pro obě metody při rozdílné poloze pomocných sond vůči místu uzemnění. Kvůli stísněným místním podmínkám, které neumožnily zásadní změny v rozmístění elektrod, bylo měřeno celkem ve dvou různých polohách, pokaždé co nejdále od výkopu s přívodovým kabelem a zemničem. Při třetím měření byla posunuta pouze napěťová sonda o 6 m blíže k zemniči.

- měření můstkovou metodou:
  - měřicí sondy umístěny nalevo od výkopu:  $R_A = 10,69 \Omega$
  - měřicí sondy umístěny nalevo dále od výkopu:  $R_A = 10,66 \Omega$
  - měřicí U sonda umístěna o 6 m blíže k zemniči:  $R_A = 10,56 \Omega$
- měření selektivní metodou:
  - měřicí sondy umístěny nalevo od výkopu:  $R_A = 10,62 \Omega$
  - měřicí sondy umístěny nalevo dále od výkopu:  $R_A = 10,56 \Omega$
  - měřicí U sonda umístěna o 6 m blíže k zemniči:  $R_A = 9,11 \Omega$

Střední hodnota naměřeného odporu zemniče  $R_A$  můstkovou metodou vychází **10,63 Ω**, selektivní metodou **10,1 Ω**.

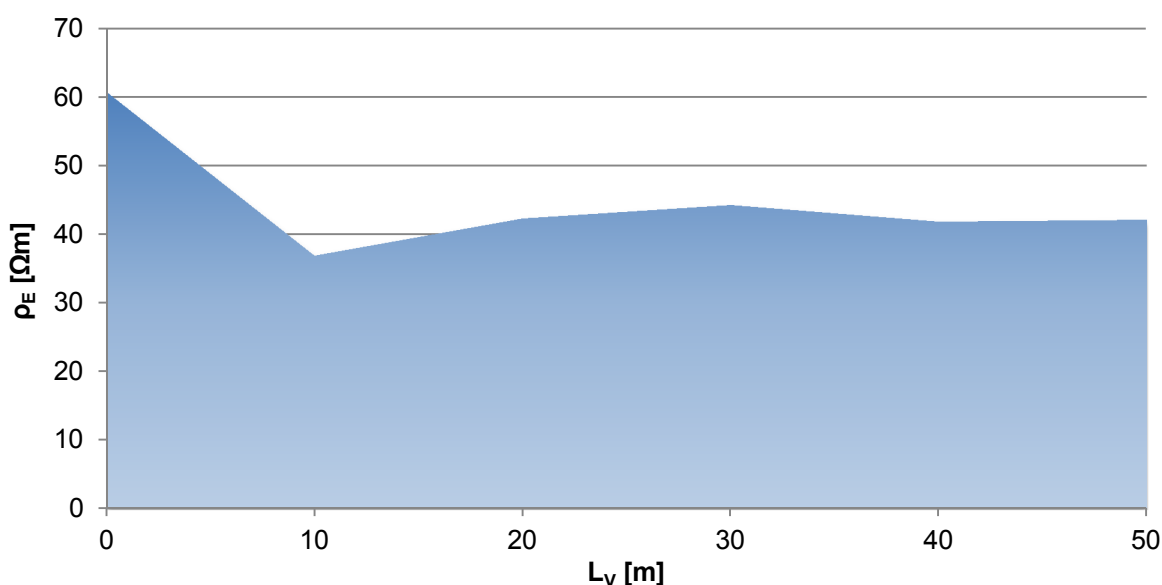
#### b) Výsledky měření rezistivity půdy v okolí zemniče

Měření rezistivity půdy bylo opět realizováno v blízkosti místa uložení zemnicí pásky po desetimetrových rozestupech od uzemněné pojistkové skříně. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6. Grafická závislost změny měrného odporu půdy na vzdálenosti od místa uzemnění je znázorněna v grafu 2.

**Tabulka 6** Hodnoty rezistivity půdy naměřené v lokalitě Božkov

Rezistivita půdy ve vzdálenosti od místa uzemnění					
$\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]					
0 m	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
60,7	36,9	42,3	44,3	41,9	42,1

Střední hodnota rezistivity  $\rho$  v 2. lokalitě je **45  $\Omega\text{m}$** .

**Graf 2** Závislost rezistivity půdy na vzdálenosti od místa uzemnění v lokalitě Plzeň – Božkov

### 3.5 MĚŘENÍ V 3. LOKALITĚ – VEJVANOV

V pořadí 3. měření odporu zemniče a rezistivity půdy proběhlo v obci Vejvanov. Situační plánec tohoto projektu je uveden v příloze P3.

<b>Datum měření:</b>	duben 2014
<b>Geografická poloha:</b>	okres Rokycany, Plzeňský kraj, 450 – 570 m n. m.
<b>Metrologické podmínky:</b>	odpolední hodiny – polojasno, okolní teplota 14 °C, poslední 2 dny deštivé počasí, půda byla velmi vlhká
<b>Charakteristika půdy:</b>	hlinitá půda s vysokým procentem kamenitých částí
<b>Stupeň realizace:</b>	na místě připravena nová přípojková skříň u probíhající realizace zatím nepřipojeného obytného domu

Zemněná je zde pojistková skříň v plastovém pilíři, typu SS100/NKE1P-C, vybudovaná na konci nově vzniklé odbočky k rozestavěnému objektu. Uzemnění je provedeno zemnicím drátem FeZn 10 mm o délce 50 m při normou dovoleném maximálním odporu uzemnění 5  $\Omega$ .

### 3.5.1 NAMĚŘENÉ HODNOTY

#### a) Výsledky měření odporu zemniče

Měření odporu probíhalo opět dvěma metodami, nejdříve můstkovou a poté i selektivní metodou s využitím měřicích kleští. Na místě nebyly ideální půdní podmínky, ani vhodný terén pro více variant rozmístění měřicích sond. Proto v rámci obou metod nebylo hýbáno s proudovou elektrodou, ale pouze napěťovou v jedné rovině. Postupováno bylo v souladu s normou PNE tak, že napěťová pomocná elektroda byla umístěna ve vzdálenosti 25 m, následně se posunula, dle obrázku 9, o 6 m blíže k zemniči (poloha X) a poté o 6 m blíže k proudové pomocné sondě (poloha Y).

- měření můstkovou metodou:
  - napěťová sonda umístěna v poloze X:  $R_A = 12,7 \Omega$
  - napěťová sonda umístěna v 25 m:  $R_A = 14,34 \Omega$
  - napěťová sonda umístěna v poloze Y:  $R_A = 14,51 \Omega$
- měření selektivní metodou:
  - napěťová sonda umístěna v poloze X:  $R_A = 11,88 \Omega$
  - napěťová sonda umístěna v 25 m:  $R_A = 14,13 \Omega$
  - napěťová sonda umístěna v poloze Y:  $R_A = 14,47 \Omega$

Střední hodnota naměřeného odporu zemniče  $R_A$  můstkovou metodou vychází **13,85  $\Omega$** , selektivní metodou **12,16  $\Omega$** .

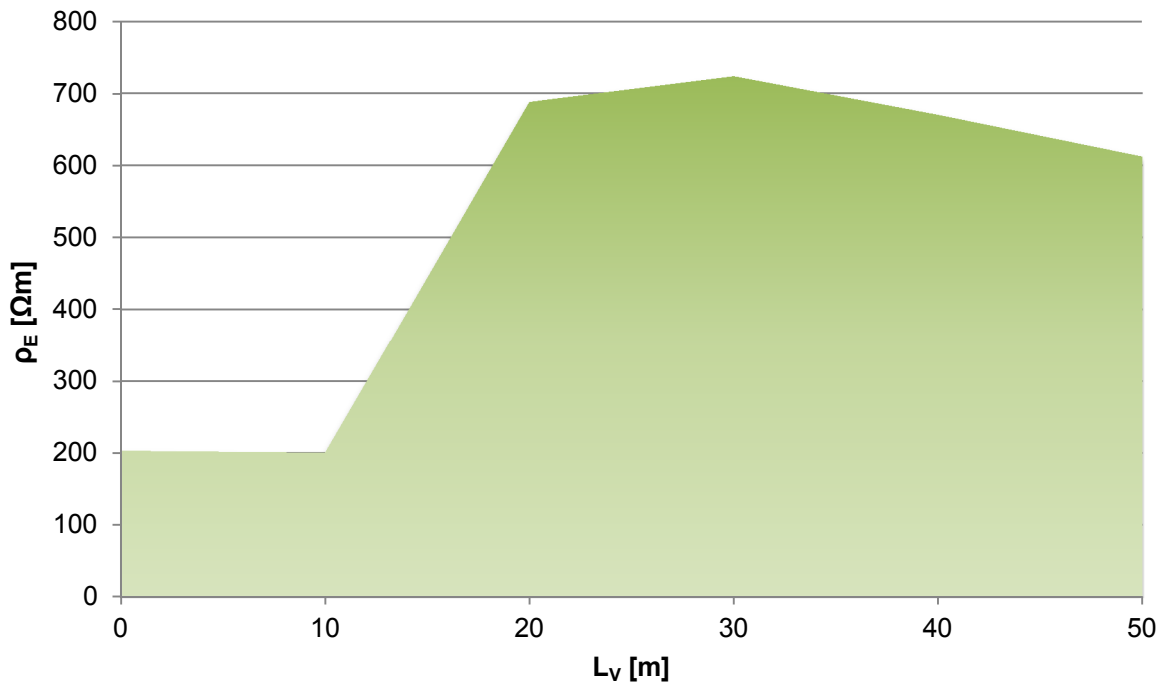
#### b) Výsledky měření rezistivity půdy v okolí zemniče

Podobně jako v předešlých dvou lokalitách, byla rezistivita půdy měřena v desetimetrových rozestupech od uzemněné přípojkové skříně do celkové vzdálenosti 50 m. Kromě prvních dvou měření v 0 m a v 10 m, nebylo možné měrný odpor půdy měřit v blízkosti výkopu se zemničem. Vhodnému umístění měřicích sond bránil svažující se terén a také z jedné strany již probíhající stavba rodinného domu a z druhé místní komunikace. Výsledné hodnoty rezistivity, uvedené v tabulce 7, tedy mohou podstatně ovlivnit budoucí výpočet odporu zemniče  $R_E$ . Změna rezistivity půdy v závislosti na vzdálenosti od místa uzemnění je znázorněna v grafu 3.

**Tabulka 7** Hodnoty rezistivity půdy naměřené v lokalitě Vejvanov

Rezistivita půdy ve vzdálenosti od místa uzemnění					
$\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]					
0 m	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
203	200	688	994	670	612

Střední hodnota rezistivity  $\rho$  ve 3. lokalitě je **516  $\Omega\text{m}$** .

**Graf 3** Závislost rezistivity půdy na vzdálenosti od místa uzemnění v lokalitě Vejvanov

## 4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V této části práce jsou uvedeny výsledky, získané měřeními v celkem třech různých lokalitách: Kornatice, Plzeň – Božkov a Vejvanov. V průběhu měření bylo postupováno dle metod popsaných v kapitole 3.2. Shrnutí výsledků je rozděleno do dvou základních částí. První část je zaměřena na rezistivitu půdy a její změnu, v důsledku lišících se parametrů půdy v různých místech měření. V další části jsou tabulkově a graficky shrnuty hodnoty změřeného odporu zemniče.

### 4.1 VÝSLEDNÉ REZISTIVITY PŮDY

Jak bylo zmíněno již dříve, měrný odpor půdy je důležitý parametr při návrhu uzemňovací soustavy. Důkladným proměřením této veličiny v místě budoucí pokládky zemniče lze předejít nevhodné volbě rozměrů a typu zemnicího zařízení. Tím se také zásadně zlepší uzemňovací podmínky a pomůže to celkové stabilizaci rozvodné elektrizační sítě. V následující tabulce 8 je uveden souhrn výsledků měření rezistivity půdy:

*Tabulka 8 Hodnoty rezistivity půdy naměřené v jednotlivých lokalitách*

<b>Naměřené rezistivity půdy a jejich výsledné střední hodnoty</b>			
<b><math>\rho</math> [<math>\Omega\text{m}</math>]</b>			
	<b>Kornatice</b>	<b>Plzeň – Božkov</b>	<b>Vejvanov</b>
	100,9	60,7	203
	87,7	36,9	200
	92,2	42,3	688
	83,3	44,3	723
	119,6	41,9	670
	129,8	42,1	612
	<b>102,3</b>	<b>45</b>	<b>516</b>

#### **Rezistivita půdy $\rho$ v Kornaticích při 1. měření v listopadu:**

- v hloubce do 1 m: **90,5  $\Omega\text{m}$**
- v hloubce do 2 m: **98,2  $\Omega\text{m}$**

Z výstupních hodnot lze vyzorovat, že jednotlivé proměřené lokality se vlivem rozdílných půdních podmínek výrazně liší. Vzhledem k tomu, že měření probíhalo ve stejném

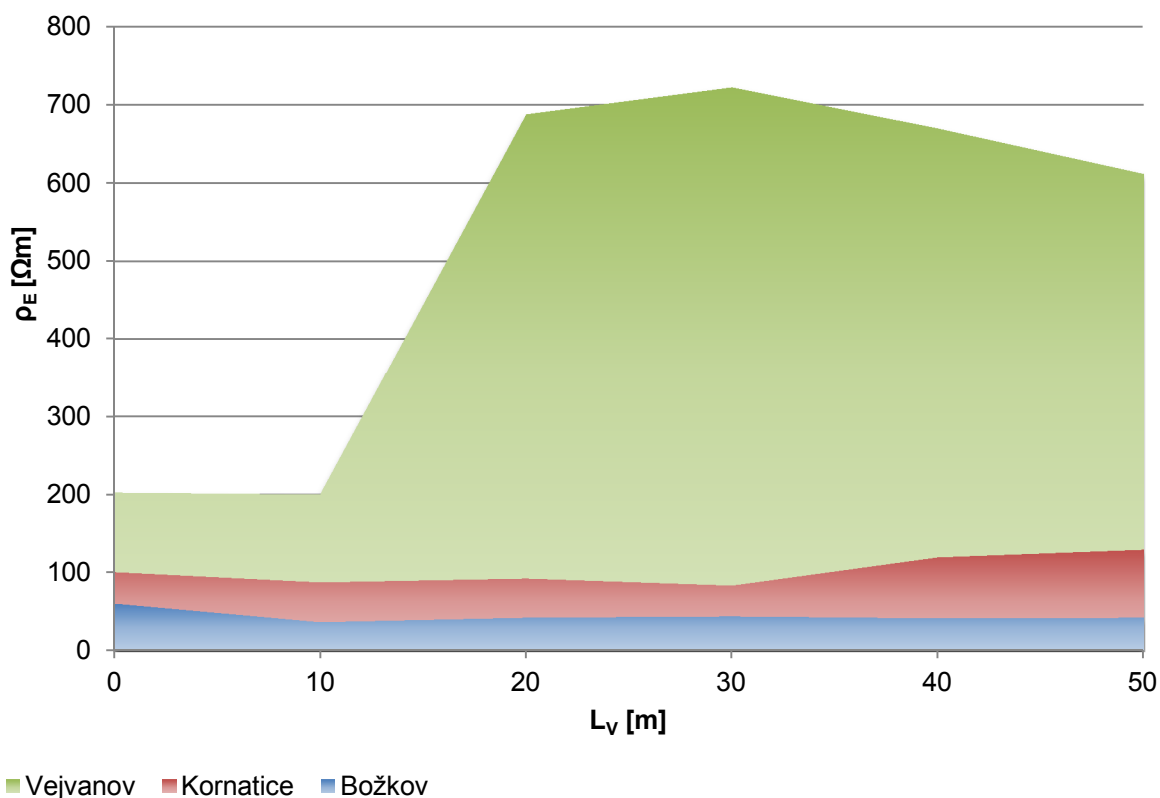
ročním období, výrazný vliv měničního se klimatu můžeme zanedbat. Kromě změn klimatických podmínek v průběhu roku, může mít určitý podíl na parametrech půdy také nadmořská výška.

V **Božkově**, který je z hlediska nadmořské výšky položen nejnižší z měřených lokalit, jsou nejlepší půdní podmínky a zároveň nejvýhodnější předpoklady pro návrh uzemňovací soustavy. Střední hodnota rezistivity zde vychází 45  $\Omega\text{m}$ , což je údaj vypovídající o velmi kvalitní zemině s dobrou vodivostí.

Naopak obec **Vejvanov**, jejíž okolí má převážně kopcovitý a lesnatý ráz, se vyskytuje v oblasti dosahujících výšek až 570 m n. m. Půda je zde hlinitá a ve vrchních vrstvách převážně kamenitá, což má značný vliv na kolísání naměřených hodnot rezistivity. Průměrný měrný odpor 516  $\Omega\text{m}$ , tak podstatně převyšuje výsledky z ostatních lokalit.

**Kornatice**, střední naměřenou rezistivitou z druhého měření 102,3  $\Omega\text{m}$ , spadají do kategorie, která je na pomezí ideálních půdních podmínek a podmínek méně vhodných pro realizaci uzemnění. Při prvním měření, kdy na konci listopadu začínalo mrznout, byla půda ještě mírně navlhla a snižovala tak výslednou hodnotu naměřené rezistivity. Měrný odpor půdy blíže k povrchu země tak dosahoval nižší hodnoty (90,5  $\Omega\text{m}$ ) než při druhém měření. V hlubších vrstvách půdy kolem 2 m, na které vlivy střídajícího se ročního období tolik nepůsobí, byla naměřena rezistivita 98,2  $\Omega\text{m}$ , což je hodnota blízká se výsledkům z 2. měření.

V následujícím grafu 4 je znázorněno, jaký vliv měla změna vzdáleností měření od místa uzemnění na kolísání výsledné rezistivity. Měrný odpor půdy byl měřen po 10m intervalech od přípojkové skříně, přičemž rozložení parametrů půdy a tedy i výsledné naměřené rezistivity byly nejrovnoměrnější v Božkově. K velkým výkyvům nedocházelo ani v Kornaticích, kde se v místě měření vyskytovala převážně orná půda. Naopak v obci Vejvanov rezistivita kolísala značně, což bylo způsobeno náhodně lokalizovanými většími nerosty v místech mezi měřicími sondami. V blízkém okolí skříně, kde půda mohla být více prokypřená důsledkem nedávné realizace výkopů pro přívodový kabel a zemnič, vycházel měrný odpor půdy lépe, než v netknuté půdě dál od skříně.



**Graf 4** Souhrnný graf závislosti rezistivity půdy na vzdálenosti od místa uzemnění

## 4.2 VÝSLEDNÉ ODPORY ZEMNIČŮ

Zemní odpor  $R_A$  zemniče umístěného v půdě je dán součtem odporu svorky, odporu svodu, odporu zemniče, přechodového odporu mezi zemničem a půdou a odporu půdy mezi zemničem a měřicí sondou umístěné v dostatečné vzdálenosti, při které se jejich potenciály vzájemně neovlivňují. Výsledný naměřený zemní odpor  $R_A$  nejzásadněji ovlivňuje právě odpor půdy, který je závislý na konkrétních parametrech v dané lokalitě. Souhrn těchto parametrů může být vyjádřen vodivostí půdy, resp. její převrácenou hodnotou – rezistivitou. V následující tabulce 8 jsou shrnuty výsledné hodnoty odporů zemničů ze všech tří měřených lokalit.

**Tabulka 9** Naměřené hodnoty odporů zemničů můstkovou M a selektivní S metodou

Naměřené odpory zemničů a jejich výsledné střední hodnoty						
R <sub>A</sub> [Ω]						
Kornatice			Plzeň – Božkov		Vejvanov	
M1*	M2*	S	M	S	M	S
8,55	10,26	10,12	10,69	10,62	12,7	11,88
10,91	10,19	10,21	10,66	10,56	14,34	14,13
11,52	10,44	10,27	10,56	9,11	14,51	14,47
<b>10,33</b>	<b>10,3</b>	<b>10,2</b>	<b>10,63</b>	<b>10,1</b>	<b>13,85</b>	<b>12,16</b>

\* M1 – 1. měření v listopadu; M2 – 2. měření koncem března

Z předešlé kapitoly věnující se výsledkům rezistivit již víme, že měrný odpor půdy vycházel nejlépe v Božkově. Z toho vyplývá, že v tomto místě by zemní odpor R<sub>A</sub>, při správné délce zemniče, měl vycházet ze všech měřených lokalit nejlépe. Z reálných výsledků je ovšem patrné, že při měření můstkovou metodou dosahuje nejnižšího odporu zemniče měřený v Kornaticích. Naopak nejvyšší hodnota byla získána ve Vejvanově, kde byly parametry půdy také nejnejpříznivější.

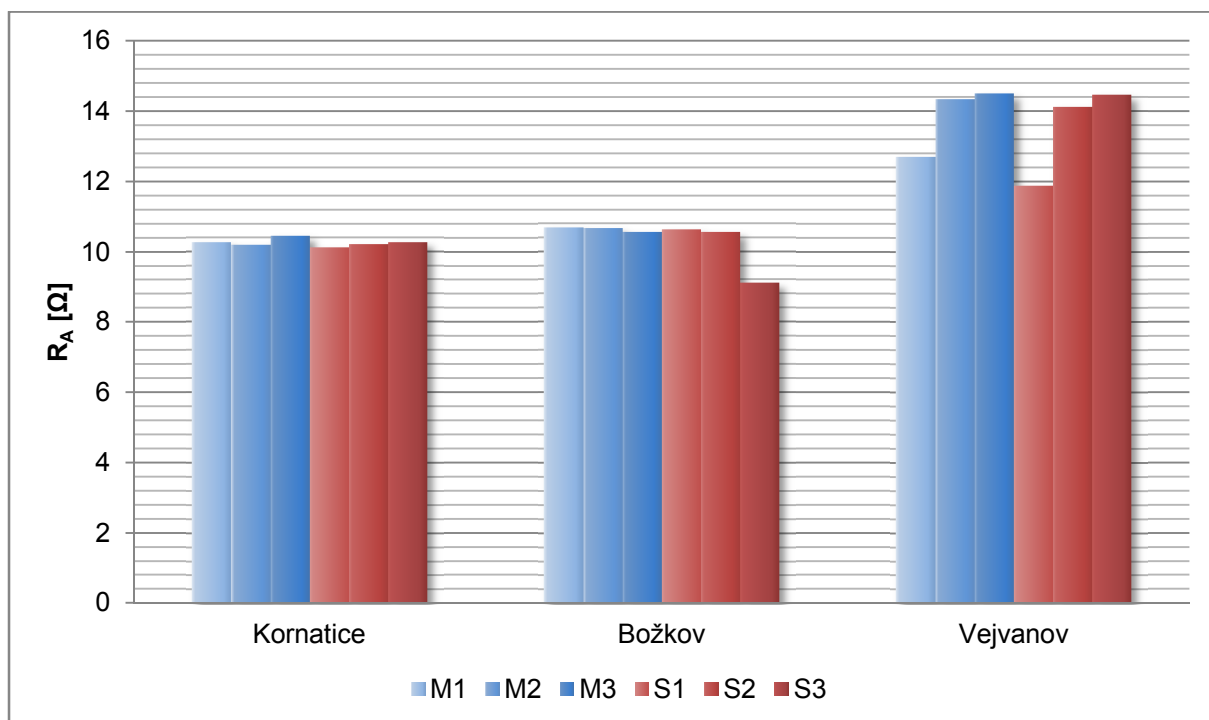
Při selektivním měření hodnoty odporů zemniče vycházely obecně o desetiny nižší. V Božkově tentokrát průměrný odpor vyšel nejlépe (10,1 Ω), nicméně i v tomto případě přesahuje normou stanovenou hranici maximálního odporu na konci elektrické odbočky 5 Ω. V Kornaticích byl selektivní metodou naměřen odpor zemniče 10,2 Ω. Ve Vejvanově pak díky špatným půdním podmínkám, byla hodnota odporu opět nejvyšší (12,16 Ω).

U selektivního měření odporů je však nutné brát konečné hodnoty s rezervou. V porovnání s můstkovou metodou se, díky nespolehlivému odečtu klešťovým přístrojem, jedná o méně přesný způsob měření.

Dále je třeba zmínit, že z měřených zemničů všechny převyšují normou stanovený zemní odpor 5 Ω pro odbočku kabelového vedení delší než 200 m, ale nepřesahují hodnotu 15 Ω, která je určena pro uzemnění na konci kabelových odboček kratších než 200 m.

V následujícím grafu 5 jsou porovnány všechny výsledky naměřených zemních odporů R<sub>A</sub> v rámci zkoumaných lokalit. V legendě písmena označují měřící metodu, kde M je můstková a S selektivní metoda a číslo určuje pořadí měření.





**Graf 5** Srovnání naměřených odporů zemničů  $R_A$  v jednotlivých lokalitách

## 5 VÝPOČTOVÁ ČÁST

V předešlé části této práce byly shrnuty výsledky z měření rezistivity půd a reálných odporů zemničů. Tyto hodnoty jsou pro další postup velmi důležité. Hlavním úkolem této kapitoly je výpočet ekvivalentních zemničů právě pomocí výsledných měrných odporů půd z jednotlivých lokalit. Při výpočtech se vychází z rovnic pro příslušné typy zemničů, které jsou v souladu s normami ČSN a PNE. Rozdělení základních druhů zemnicích zařízení je uvedeno v kapitole 1.2.3.

### 5.1 VZTAHY PRO VÝPOČET ODPORU ZEMNIČŮ

Pro nejjednodušší tvary jednotlivých typů zemničů lze při výpočtu zemního odporu vycházet z následujících vztahů. Tyto rovnice jsou stanoveny normami ČSN 33 2000-5-54, ČSN EN 50522 a PNE 33 0000-4, které jsou stěžejní z hlediska návrhu uzemňovacích soustav a další související problematiky.

- **paprskový zemnič**

$$R_{Ep} = \frac{\rho_E}{\pi L} \ln \frac{2L}{d} \quad (9)$$

- **tyčový zemnič**

$$R_{Et} = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d} \quad (10)$$

- **kruhový zemnič**

$$R_{Ek} = \frac{\rho_E}{\pi^2 D} \ln \frac{2\pi D}{d} \quad (11)$$

- **zemnicí mříž**

$$R_{Em} = \frac{\rho_E}{2D} = \frac{\rho_E}{4} \sqrt{\frac{\pi}{S_{zm}}} \quad (12)$$

kde **L** je délka paprskového/ tyčového zemniče [m]

**D** =  $\frac{L}{\pi} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{zm}}{\pi}}$  průměr kruhového zemniče o délce L nebo průměr kruhu o stejné ploše  $S_{zm}$  jakou zaujímá zemnicí mříž

**d** vyjadřuje průměr lanového, tyčového zemniče nebo polovinu šířky páskového zemniče [m]

**ρ** je rezistivita půdy [Ωm]

$S_{zm}$  plocha zemnicí mříže

Jak bylo zmíněno dříve, hodnotu zemního odporu příslušného hlavního strojeného zemniče lze snížit kombinací s různými typy doplňkových zemničů. To znamená, že v případě, kdy hlavní zemnič při určité délce nesplňuje podmínky pro zemní odpor, lze využít pro zlepšení odporu doplňkový zemnič. Tzv. **kombinované zemniče** se počítají dle následujících vztahů:

- **paprskové zemniče složené z  $n$  stejných paprsků**

$$R_{Epn} = \frac{R_{Ep}}{n} \frac{1}{\eta_{pn}} \quad (13)$$

kde  $R_{Ep}$  je zemní odpor jednoho paprsku (viz rovnice (9))

$\eta_{pn}$  je koeficient využití paprsků, jehož velikost se určuje dle tabulky 10

**Tabulka 10** Hodnoty koeficientu využití pro určitý počet paprsků převzato z [4]

počet paprsků $n$	koeficient využití $\eta_{pn}$	poznámka
1, 2	1	-
3	0,9	úhel mezi 1. a 2. paprskem je 135°, mezi 2. a 3. je 90°
4	0,836	úhel mezi paprsky je 90°

- **paprskový zemnič v kombinaci s tyčovým zemničem**

$$R_E = \frac{1}{\frac{0,9 \eta_1 n}{R_t} + \frac{1}{R_p}} \quad (14)$$

kde  $R_t$  je zemní odpor paprskového zemniče vypočtený podle rovnice (10) [ $\Omega$ ]

$n$  značí počet tyčí [-]

$\eta_1$  je koeficient využití tyčí, závislý na poměru vzdálenosti mezi tyčemi  $a$  a jejich délce  $L$ , který se určí odečtením z grafu v příloze P4 [-]<sup>1</sup>

$R_p$  je zemní odpor paprskového zemniče vypočtený podle rovnice (9) [ $\Omega$ ]

[1, 2, 4, 16]

<sup>1</sup> poznámka: při  $a/L \geq 5$  a  $n < 10$  je koeficient  $\eta_1 = 0,9$

## 5.2 VÝPOČET EKVIVALENTNÍCH ZEMNIČŮ

Tato část práce je zaměřena na výpočty ekvivalentních zemničů. Vychází se zde pouze z rovnic pro zemniče paprskové (páskové a drátové) a později i tyčové, přičemž tyčové zemniče jsou zde uvažovány pouze jako doplňkové uzemnění k zemničům hlavním. Postup výpočtu a vzorové dosazení do jednotlivých rovnic je provedeno především pro lokalitu Božkov. Pro výpočet zemního odporu zemniče  $R_E$  je nutné znát rezistivitu půdy z místa jeho uložení. Výsledky měření rezistivity jsou uvedeny v tabulce 8.

### 1. Přepočtení rezistivity pomocí činitele K

Zpřesnění hodnoty měrného odporu lze zajistit započtením činitele K, který zohledňuje změnu ročního období a aktuální klimatické podmínky z místa měření. Hodnota činitele K se odečte z křivek na obrázku 13 a následně se vynásobí s rezistivitou z jednotlivých lokalit.

**Tabulka 11** Výsledné rezistivity po započtení činitele K

Střední hodnoty naměřených rezistivit půdy a zvolené činitele K		
	$\rho_E$ [ $\Omega\text{m}$ ]	
Kornatice	Plzeň – Božkov	Vejvanov
102,3	45	516
K = 1,12	K = 1,5	K = 1,52
<b>114,58</b>	<b>67,5</b>	<b>784,32</b>

postup výpočtu:

$$\rho_{EK} = \rho_E \cdot K = 45 \cdot 1,5 = 67,5 \Omega\text{m}$$

### 2. Výpočet zemního odporu zemniče $R_E$

Pro určení konečného odporu zemniče je potřeba znát hodnoty následujících veličin, které se dále dosadí do rovnice (9) pro paprskový zemnič:

- naměřená rezistivita  $\rho_E$  a činitel K (viz tabulka 11)
- délka zemniče je pro všechny lokality stejná  $L = 50$  m
- polovina šířky páskového zemniče FeZn  $30 \times 4$  mm  $d_p = 0,015$  m
- průměr drátového zemniče FeZn 10 mm  $d_d = 0,010$  m

Výsledky vypočtených zemničů pro jednotlivé lokality včetně použitého typu uzemnění jsou uvedeny v následující tabulce 12.

**Tabulka 12** Vypočtené zemní odpory  $R_E$  ekvivalentních zemničů

Hodnoty vypočtených zemních odporů		
$R_E$ [ $\Omega$ m]		
Kornatice	Pízeň – Božkov	Vejvanov
zemnič	zemnič	zemnič
pásek FeZn 30×4 mm	pásek FeZn 30×4 mm	drát FeZn 10 mm
<b>6,42</b>	<b>3,78</b>	<b>46,00</b>

postup výpočtu:

- Božkov (páskový zemnič FeZn):

$$R_E = \frac{\rho_E \cdot K}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_p} = \frac{\rho_{EK}}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_p} = \frac{67,5}{\pi 50} \cdot \ln \frac{2 \cdot 50}{0,015} = 3,78 \Omega$$

- Vejvanov (drátový zemnič FeZn):

$$R_E = \frac{\rho_E \cdot K}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_d} = \frac{\rho_{EK}}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_d} = \frac{784,32}{\pi 50} \cdot \ln \frac{2 \cdot 50}{0,01} = 46 \Omega$$

## 5.3 POROVNÁNÍ REÁLNÝCH A VYPOČTENÝCH ZEMNIČŮ

Nyní máme k dispozici, jak výsledky z měření zemních odporů  $R_A$  reálných zemničů, tak teoretické odpory  $R_E$  vypočtené z naměřené rezistivity půd ze všech zmíněných lokalit. Základním předpokladem je, že tyto dva odpory by se měly shodovat.

Za účelem srovnání, byly z naměřených zemních odporů reálných zemničů vybrány pouze hodnoty získané můstkovou metodou, jelikož tato metoda dosahuje přesnějších výsledků. Z konečných hodnot v tabulce 13 je patrné, že se naměřené odpory celkem výrazně rozcházejí s odpory vypočtenými.

**Tabulka 13** Porovnání vypočtených a naměřených zemních odporů zemničů

Naměřené zemní odpory ( $R_A$ ) a vypočtené odpory ( $R_E$ ) při délce zemniče $L = 50$ m					
R [ $\Omega$ m]					
Kornatice		Plzeň – Božkov		Vejvanov	
$R_A$	$R_E$	$R_A$	$R_E$	$R_A$	$R_E$
10,30	6,42	10,63	3,78	13,85	46,00

Existují dvě pravděpodobná vysvětlení neshody výsledků naměřených odporů zemničů  $R_A$  a vypočtených  $R_E$ :

1. reálně v zemi není 50 m zemnicí pásky
2. dle normy PNE je při délce kabelové přípojky do 200 m dovolený zemní odpor 15  $\Omega$  a zemnicí páska nemusí být delší než 20 m

### ad. 1

Pokud není v půdě reálně uloženo 50 m zemnicí pásky, lze v tomto případě skutečnou délku  $L$  zjistit ze vztahu (9) pro paprskový zemnič. Do této rovnice dosadíme naměřenou hodnotu odporu  $R_A$  příslušného zemniče a následným vyjádřením  $L$  je možné určit předpokládanou reálnou délku zemniče (viz tabulka 14).

**Tabulka 14** Předpokládané reálné délky zemničů

Pro odpory platí $R_A = R_E$ při reálné délce zemniče $L$		
L [m]		
Kornatice	Plzeň – Božkov	Vejvanov
$R_A = R_E = 10,3 \Omega$	$R_A = R_E = 10,63 \Omega$	$R_A = R_E = 13,85 \Omega$
29,3	15,42	190,1

postup výpočtu:

- v lokalitě Plzeň – Božkov se vypočtený odpor  $R_E$  shoduje s naměřeným  $R_A$  při délce zemniče  $L = 15,42 \text{ m}$

$$R_A = \frac{\rho_E \cdot K}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_p} = \frac{\rho_{EK}}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_p} \Rightarrow L$$

$$R_A = 10,63 = \frac{\rho_E \cdot K}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_p} = \frac{\rho_{EK}}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_p} = \frac{67,5}{\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{0,015} \Rightarrow L = 15,42 \text{ m}$$

Pokud bychom se tedy drželi výše uvedené úvahy a považovali vypočtenou délku zemniče za reálnou, dojdeme ke zjištění, že skutečná délka zemniče uloženého v zemi je v lokalitě Kornatice o 20 m kratší než navrhovaných 50 m. V případě lokality Božkov je vypočtená délka zemniče pouze přibližně 16 m.

Pokud blíže prozkoumáme rozložení rezistivity naměřené v 10m rozestupech (viz graf 4), zjistíme, že výsledné rozložení měrného odporu v lokalitě Kornatice i Božkov má téměř konstantní charakter. Naměřené hodnoty mají tedy poměrně malý rozptyl. Tento fakt naznačuje, že v daných místech byly po celé délce měřené trasy téměř rovnoměrné půdní podmínky. Výsledné střední hodnoty rezistivit z těchto dvou lokalit mají tedy pro další výpočty velmi dobrou vypovídající hodnotu. Naopak v lokalitě Vejvanov bylo, vlivem nejednotného terénu a typu půdy, dosaženo vyrovnaných hodnot pouze v prvních deseti metrech měření, kde byla průměrná rezistivita půdy 200  $\Omega\text{m}$ . Ostatní výsledky již značně kolísaly a celkový rozptyl hodnot se pohyboval v rozpětí 600 až 700  $\Omega\text{m}$ .

Kdybychom tedy v lokalitě Vejvanov vycházeli z předpokladu, že průměrná rezistivita půdy v okolí zemniče je **200  $\Omega\text{m}$** , místo původních 516  $\Omega\text{m}$ , dojdeme, opět pomocí rovnice (9) s dosazenými vstupními parametry z předešlé kapitoly, k výslednému vypočtenému odporu  **$R_E = 17,82 \Omega$** . Srovnáme-li tento výsledek s nejvyšším reálně naměřeným oporem zemniče  **$R_A = 14,51 \Omega$** , není výchylka již tak výrazná. Tento rozdíl by mohl být způsoben zmíněnými nevyváženými půdními podmínkami v místě měření. Je také možné, že průměrná rezistivita by v trase okolo výkopu byla ještě o něco nižší než zvolených 200  $\Omega\text{m}$ , čímž by se vypočtený odpor opět přiblížil naměřenému.

## ad. 2

Podle normy PNE 33 0000-1, kde jsou stanoveny požadavky na návrh uzemnění (viz kapitola 2), je u přípojek o celkové délce menší než 200 m dovolený maximální zemní odpor 15  $\Omega$ , přičemž zemnicí pásy nemusí být delší než 20 m. Jelikož se v rámci zkoumaných lokalit nejednalo o rozsáhlé projekty, existuje zde možnost se tímto stanovením řídit. To znamená, že pokud bychom hodnoty zemních odporů  **$R_E$**  z tabulky 13 přepočítali, přičemž

bychom uvažovali délky zemniče  $L = 20$  m, získali bychom výstupní hodnoty dle následující tabulky 15.

**Tabulka 15** Porovnání vypočtených a naměřených zemních odporů zemničů

Naměřené zemní odpory ( $R_A$ ) a vypočtené odpory ( $R_E$ ) při délce zemniče $L = 20$ m			
R [ $\Omega$ m]			
Kornatice		Plzeň – Božkov	
$R_A$	$R_E$	$R_A$	$R_E$
10,3	14,39	10,63	8,47

*postup výpočtu:*

- Božkov (páskový zemnič FeZn):

$$R_E = \frac{\rho_E \cdot K}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_p} = \frac{\rho_{EK}}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_p} = \frac{67,5}{\pi 20} \cdot \ln \frac{2 \cdot 20}{0,015} = 8,47 \Omega$$

U lokality Vejvanov by nebylo vhodné, vzhledem ke ztíženým půdním podmínkám, klást zemnicí pásky kratší než 50 m. Z toho důvodu tato lokalita do výpočtu nebyla zahrnuta.

Z výsledků je patrné, že u přípojky do celkové délky 200 m, by se naměřené hodnoty zemních odporů  $R_A$  blížily vypočteným zemničům  $R_E$  a zároveň by byly splněny podmínky na dovolený zemní odpor 15  $\Omega$ .

## 5.4 NÁVRH VHODNÉHO UZEMNĚNÍ

Tato kapitola je zaměřena na návrh uzemnění, které by splňovalo požadavky na zemní odpor 5  $\Omega$ , při délce zemnicí pásky 50 m, u všech zkoumaných lokalit. Pokud hlavní uzemnění nesplní podmínky pro zmíněný zemní odpor, bude doplněno vhodným doplňkovým zemničem. Výpočty jsou provedeny pomocí vztahů pro jednoduché zemniče a kombinované zemniče ze začátku kapitoly 5.

### Vstupní hodnoty pro výpočet odporů $R_E$ :

- naměřená rezistivita  $\rho_E$  a činitel K (viz tabulka 11)
- délka zemniče  $L = 50$  m
- polovina šířky páskového zemniče FeZn 30 × 4 mm  $d_p = 0,015$  m
- průměr drátového zemniče FeZn 10 mm  $d_d = 0,010$  m
- rozměr tyče s T profilem  $d_t = 0,03$  m
- délka zemnicí tyče ZPT 20  $L_t = 2$  m



- koeficient využití tyčí  $\eta_1 = 0,9$

### A. Kornatice

V Kornaticích by při splnění výše zmíněných podmínek na zemní odpor a délku pásku, který by byl v kombinaci se dvěma 2m zemnicími tyčemi, vyšel vypočtený zemní odpor  $R_E = 5,33 \Omega$ . Pro snížení zemního odporu pod hranici  $5 \Omega$ , by musel být zemnicí pásek prodloužen ještě o 5 m, tedy na celkovou délku  $L = 55 \text{ m}$ .

*postup výpočtu:*

- zemnicí pásek o délce  $L_p = 50 \text{ m}$  a 2 zemnicí tyče o délce  $L_t = 2 \text{ m}$

$$R_E = \frac{1}{\frac{0,9 \cdot \eta_1 \cdot n}{R_t} + \frac{1}{R_p}} = \frac{1}{\frac{0,9 \cdot 0,9 \cdot 2}{57,25} + \frac{1}{6,42}} = 5,33 \Omega$$

- zemnicí pásek o délce  $L_p = 55 \text{ m}$  a 2 zemnicí tyče o délce  $L_t = 2 \text{ m}$

$$R_E = \frac{1}{\frac{0,9 \cdot \eta_1 \cdot n}{R_t} + \frac{1}{R_p}} = \frac{1}{\frac{0,9 \cdot 0,9 \cdot 2}{50,93} + \frac{1}{5,90}} = 4,97 \Omega$$

kde

$$R_t = \frac{\rho_E}{2\pi L} \cdot \ln \frac{4L}{d} = \frac{102,3}{2\pi \cdot 2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2}{0,03} = 50,93 \Omega$$

### B. Plzeň – Božkov

V Božkově by při délce zemnicího pásku 50 m nebyli zapotřebí další doplňkové zemniče, jelikož vypočtený zemní odpor zde vychází  $R_E = 3,78 \Omega$ . V tomto případě by naopak zemnič mohl být kratší než 50 m. Dosazením do rovnice (9) pak zjistíme, že pro dodržení zemního odporu  $5 \Omega$ , by délka pásku byla přibližně  $L = 40 \text{ m}$  při vypočteném zemním odporu  $R_E = 4,61 \Omega$ .

*postup výpočtu:*

$$R_E = \frac{\rho_E \cdot K}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_p} = \frac{\rho_{EK}}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_p} = \frac{67,5}{\pi \cdot 40} \cdot \ln \frac{2 \cdot 40}{0,015} = 4,61 \Omega$$

### C. Vejvanov

U této lokality nemá význam provádět návrh uzemnění pro průměrnou rezistivitu 516  $\Omega\text{m}$ . Dále bude tedy vycházeno ze střední hodnoty měrných odporů **200  $\Omega\text{m}$** . Výsledný vypočtený zemní odpor zkoumaného zemniče by v kombinaci s 50 m pásky a dvěma 2m tyčemi vyšel  **$R_E = 14,69 \Omega$** . Další prodlužování pásky by v tomto případě bylo neekonomické, jelikož k dosažení 5 $\Omega$  hranice by bylo zapotřebí zhruba 190 m zemnicí pásky.

*postup výpočtu:*

$$R_E = \frac{1}{\frac{0,9 \cdot \eta_1 \cdot n}{R_t} + \frac{1}{R_p}} = \frac{1}{\frac{0,9 \cdot 0,9 \cdot 2}{135,13} + \frac{1}{17,82}} = \mathbf{14,69 \Omega}$$

kde

$$R_p = \frac{\rho_E \cdot K}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_p} = \frac{\rho_{EK}}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d_p} = \frac{304}{\pi \cdot 50} \cdot \ln \frac{2 \cdot 50}{0,01} = \mathbf{17,82 \Omega}$$

$$R_t = \frac{\rho_E}{2\pi L} \cdot \ln \frac{4L}{d} = \frac{304}{2\pi \cdot 2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2}{0,03} = \mathbf{135,13 \Omega}$$

## ZÁVĚR

V rámci této diplomové práce bylo provedeno praktické měření měrného odporu půdy a zemního odporu reálného zemniče v těchto lokalitách: Kornatice, Plzeň – Božkov a Vejvanov. Ve všech případech se uzemněná přípojková skříň nachází na konci kabelové odbočky. Měření zmíněných veličin bylo realizováno pomocí přístroje PU 193 od firmy Metra Blansko.

Vyhodnocení **rezistivity půdy** bylo uskutečněno Wennerovou metodou. Měření probíhalo ve vzdálenosti 0 až 50 m od přípojkové skříňě v 10m rozestupech v blízkosti trasy zemniče. Výsledné střední hodnoty těchto rezistivit jsou následující:

- Kornatice:  $\rho = 102,3 \Omega\text{m}$
- Plzeň – Božkov:  $\rho = 45 \Omega\text{m}$
- Vejvanov:  $\rho = 516 \Omega\text{m}$

Nejlepší půdní podmínky byly zjištěny v Božkově, kde byla vesměs hlinitá půda. Naopak tomu bylo ve Vejvanově, vlivem zeminy s velkým podílem kamenitých částí a nejednotného terénu. U této lokality je třeba zmínit, že zdejší podmínky nedovolovaly měřit v blízkosti výkopu se zemničem, což je jeden z faktorů nepříznivě ovlivňující konečný výsledek. Zatímco všechny naměřené hodnoty u prvních dvou lokalit oscilují v blízkosti výsledné střední hodnoty, u Vejvanova bylo rozložení rezistivit značně nerovnoměrné. V prvních deseti metrech měření nejbliže ke skříni a výkopu se zemničem byla průměrná rezistivita půdy  $200 \Omega\text{m}$ , přičemž ostatní výsledky značně kolísaly v rozpětí 600 až  $700 \Omega\text{m}$ .

**Zemní odpory** všech zemničů byly měřeny můstkovou a selektivní metodou. V průběhu měření obou metod, byly použity pomocné sondy umístěné postupně ve třech různých polohách vůči místu uzemnění. Jejich průměrné hodnoty vyšly následovně:

- |                   | <i>Můstková m.</i>   | <i>Selektivní m.</i>    |
|-------------------|----------------------|-------------------------|
| • Kornatice:      | $R_A = 10,3 \Omega$  | $R_A = 10,2 \Omega$     |
| • Plzeň – Božkov: | $R_A = 10,63 \Omega$ | $R_A = 10,1 \Omega (S)$ |
| • Vejvanov:       | $R_A = 13,85 \Omega$ | $R_A = 12,16 \Omega$    |

U selektivního způsobu měření byl navíc oproti můstkové metodě použit klešťový přístroj, jehož funkce coby ampérmetru, mohla mít podíl na chybném odečtu měřicího proudu a tedy i na výchylných v konečných výsledcích. Obecně se jedná o méně přesnou měřicí metodu.

V závěrečné výpočtové části byly ze vstupních parametrů, zahrnujících mj. naměřené rezistivity, dosazených do rovnice pro paprskový zemnič a získány výsledné vypočtené hodnoty zemních odporů  $R_E$  pro délku zemniče 50 m.

- Kornatice:  $R_E = 6,42 \Omega$
- Plzeň – Božkov:  $R_E = 3,78 \Omega$
- Vejvanov:  $R_E = 46 \Omega$

Příčinou neshody vypočtených odporů  $R_E$  s předešlymi naměřenými  $R_A$ , mohou být patrně tyto eventuality:

### 1) reálně v zemi není uloženo 50 m zemnicí pásy

V případě této možnosti, bylo cílem zjistit reálnou délku zemniče. Dosazením naměřených odporů  $R_A$  do vzorce pro paprskový zemnič a následným vyjádřením délky  $L$ , byly zjištěny tyto výsledky:

- Kornatice:  $L = 29,3 \text{ m}$
- Plzeň – Božkov:  $L = 15,42 \text{ m}$
- Vejvanov:  $L = 190,1 \text{ m}$

V případě, že by u Vejvanova byly uvažovány pouze první dvě hodnoty naměřené rezistivity, které nejlépe vystihují půdní podmínky v okolí zemniče, tedy  $\rho = 200 \Omega\text{m}$ , vypočtený zemní odpor by, při délce zemniče 50 m, vyšel  $R_E = 17,82 \Omega$ . Tato hodnota se již přiblížila nejvyššímu reálně naměřenému odporu zemniče  $R_A = 14,51 \Omega$ , přičemž při možnosti proměření měrných odporů půdy v okolí zemniče, by mohla být střední hodnota ještě nižší a tím současně i vypočtený zemní odpor  $R_E$ .

### 2) podle jiného možného výkladu normy, kde při délce kabelové přípojky do 200 m, je dovolený zemní odpor $15 \Omega$ a délka pásu nemusí být delší než 20 m

Jelikož se v rámci zkoumaných lokalit nejedná o rozsáhlé projekty, lze uvažovat i tuto možnost, což znamenalo přepočítání předešlých zemních odporů  $R_E$ , při délce zemniče  $L = 20 \text{ m}$ . Lokalita Vejvanov nebyla do tohoto výpočtu zahrnuta, jelikož s ohledem na zdejší ztížené půdní podmínky, by kratší zemnič než 50 m nebyl vhodný a navíc předešlé zjištění víceméně ověřilo použitou délku zemniče 50 m.

- Kornatice:  $R_E = 14,39 \Omega$
- Plzeň – Božkov:  $R_E = 8,47 \Omega$

Srovnáním s výše uvedenými naměřenými odpory  $R_A$ , je zřejmé, že v případě úvahy přípojek do celkové délky 200 m se tyto hodnoty blíže shodují při současném splnění požadavku na dovolený zemní odpor  $15 \Omega$ .

Poslední bod práce byl zaměřen na výpočet vhodného uzemnění, v případné kombinaci s doplňkovým tyčovým zemničem, při splnění zemního odporu  $5 \Omega$  a délky zemnicího pásu 50 m. V Kornaticích by pro splnění  $5 \Omega$  hranice musel být zemnič dlouhý  $L = 55 \text{ m}$ , při současném využití dvou 2m zemnicích tyčí. Výsledný zemní odpor by vyšel  $R_E = 4,97 \Omega$ .

Plzeň – Božkov, díky výhodným půdním podmínkám, umožňuje použití pásku o délce pouze  $L = 40$  m, při výsledném zemním odporu  $R_E = 4,61 \Omega$ . Ve Vejvanově by při délce zemniče  $L = 50$  m vyšel zemní odpor  $R_E = 14,69 \Omega$ . Jeho další prodlužování by bylo neekonomické, jelikož k dosažení hranice  $5 \Omega$  by bylo zapotřebí 190 m zemniče.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN 33 2000-5-54. *Elektrické instalace nízkého napětí: Uzemnění, ochranné vodiče a vodiče ochranného pospojování*. ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [2] ČSN 33 2000-5-54. *Elektrické instalace nízkého napětí: Uzemnění a ochranné vodiče*. ed. 3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [3] PNE 33 0000-1. *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě*. páté vydání. Praha: ÚJV Řež, ČEZ Distribuce, ČENES, 2011.
- [4] PNE 33 0000-4. *Příklady výpočtů uzemňovacích soustav v distribuční a přenosové soustavě dodavatele elektřiny*. třetí vydání. Praha: ÚJV Řež, 2011.
- [5] Naše řemeslo. *KPRO: Klempířství - Pokrývačství Prokop Zlín* [online]. Zlín, 2010 [cit. 2014-01-14]. Dostupné z: <http://www.kpro.cz/nase-remeslo.html#galvanickyclanek>
- [6] KRÁL, Miloš. Výhody a nevýhody sítí TN-C a TN-S. *Elektro* [online]. 2002, roč. 2002, č. 01 [cit. 2014-01-14]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=24876](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=24876)
- [7] MEDUNA, Ing. Vladimír a Ing. Ctirad KOUDELKA. *DRUHY ROZVODNÝCH SÍTÍ* [online]. Ostrava, 2006 [cit. 2014-01-14]. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred\\_ZEP/siteF.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred_ZEP/siteF.pdf). Základní elektrotechnické předpisy. Vysoká škola báňská – TU Ostrava.
- [8] TYRBACH, Ing. Jaromír. *Druhy sítí NN* [online]. Ústí nad Labem, 2008 [cit. 2014-01-14]. Dostupné z: [http://web.telecom.cz/tyrbach/druhy\\_siti\\_nn.pdf](http://web.telecom.cz/tyrbach/druhy_siti_nn.pdf). Podklad výuky předmětu Elektroenergetika. SPŠ, Ústí nad Labem.
- [9] KOČVARA, Antonín. *Uzemňování elektrických zařízení*. 1. vyd. Praha: STRO.M, 1995, 94 s.
- [10] ČSN 34 1390. *Předpisy pro ochranu před bleskem*. Praha: Vydavatelství norem Praha, 1.4.1970.
- [11] METRA BLANSKO A.S. *PU193 - Měřič zemních odporů: Návod k používání* [online]. 2005 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://metrablansko.cz/mereni-zemniho-odporu/pu-193-pristroj-na-mereni-zemniho-odporu.html>
- [12] NOVOTNÝ, Václav. *Uzemnění a jeho měření*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1973, 236 s.

- [13] ŠEVČÍK, Ing. Antonín. METRA BLANSKO A.S. *Izolační a zemní odpor: praktická měření s přístroji METRA BLANSKO a.s.* [online]. 2008 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <a href="http://www.aos.sk/spe/seminare/archiv\_1993\_2008/www/Clanky/08/Sevcik08.pdf">http://www.aos.sk/spe/seminare/archiv\_1993\_2008/www/Clanky/08/Sevcik08.pdf</a>
- [14] OSOLSOBĚ, Jan. *Zemnění a bezpečnost*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství ČSAV, 1964, 790 s.
- [15] FLECKNOVÁ, Mgr. Renáta. Biologie: Půda. In: *Zelená laboratoř* [online]. Gymnázium Frýdlant, 2012 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: [http://www.zelenalaborator.cz/files/Biologie/GF\\_metodika23\\_BIOLOGIE\\_puda\\_korektura-final.pdf](http://www.zelenalaborator.cz/files/Biologie/GF_metodika23_BIOLOGIE_puda_korektura-final.pdf)
- [16] ČSN EN 50522. *Uzemňování elektrických instalací AC nad 1kV*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

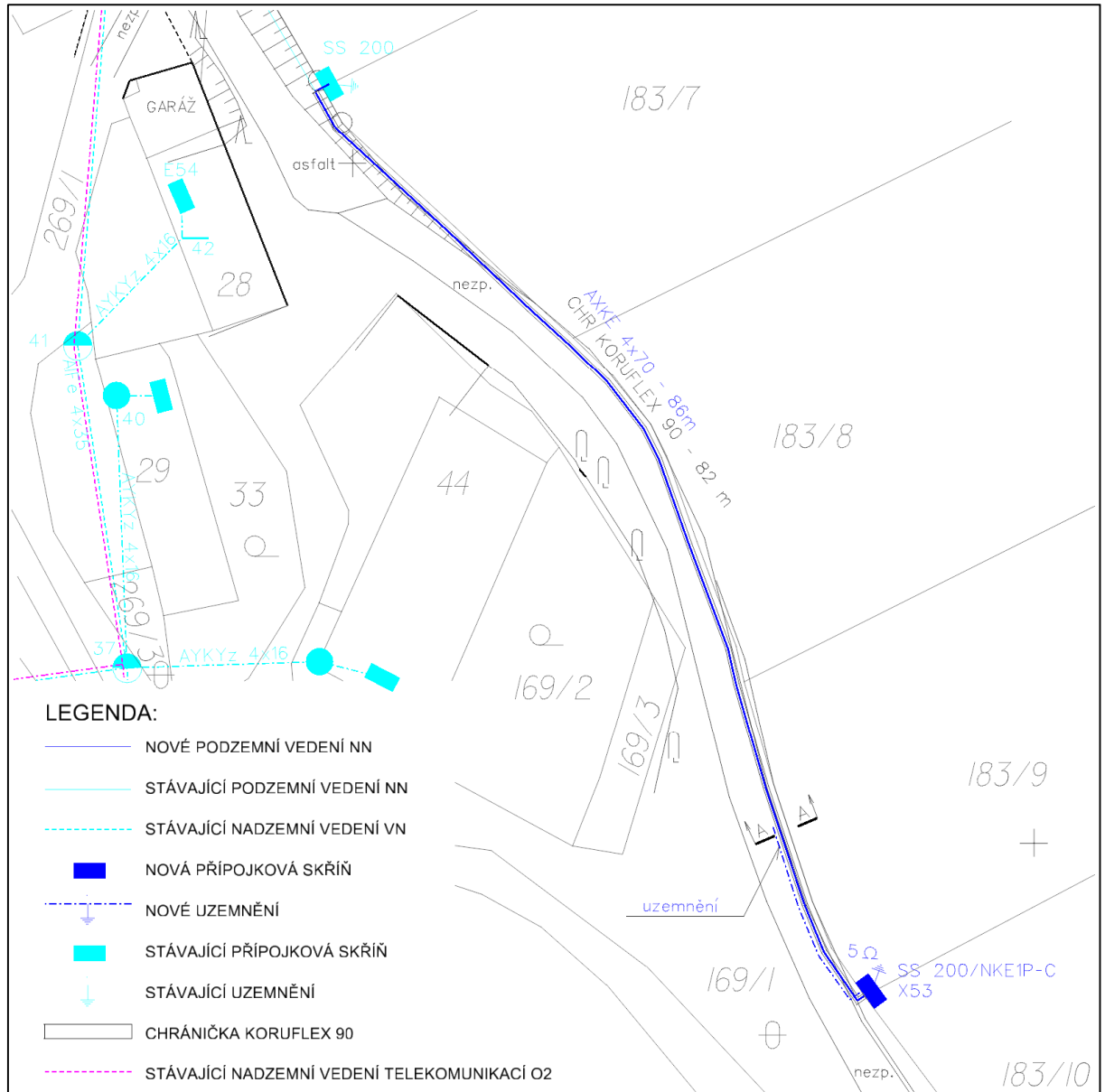
## **SEZNAM PŘÍLOH**

- P1: Situační plán projektu v lokalitě Kornatice**
- P2: Situační plán projektu v lokalitě Plzeň – Božkov**
- P3: Situační plán projektu v lokalitě Vejvanov**
- P4: Koeficient využití tyčových zemničů v závislosti na poměru vzdálenosti mezi tyčemi a jejich délky**
- P5: Elektronická příloha – excelovský program pro výpočet zemních odporů**



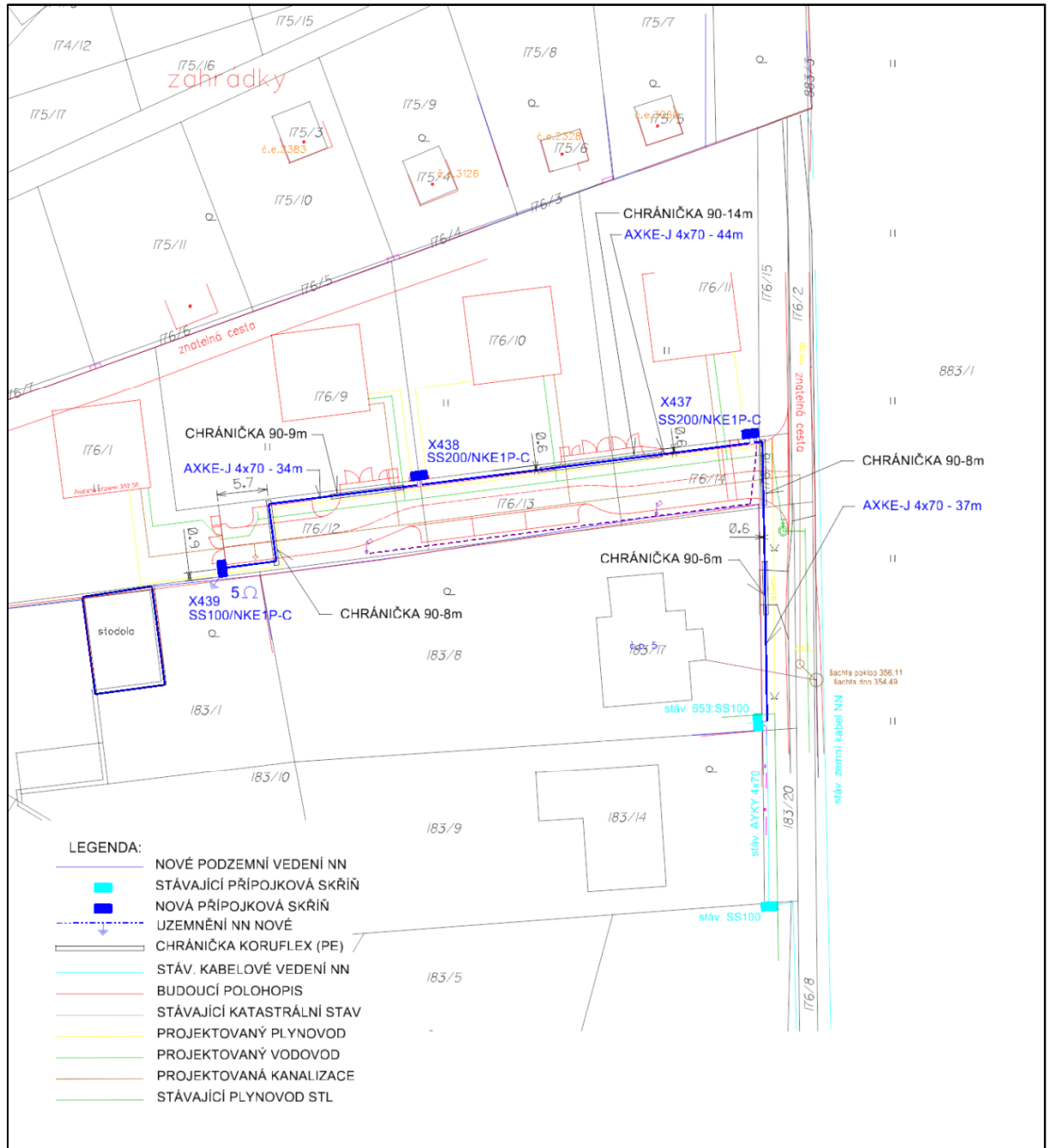
## PŘÍLOHA P1:

## SITUAČNÍ PLÁNEK PROJEKTU V LOKALITĚ KORNATICE



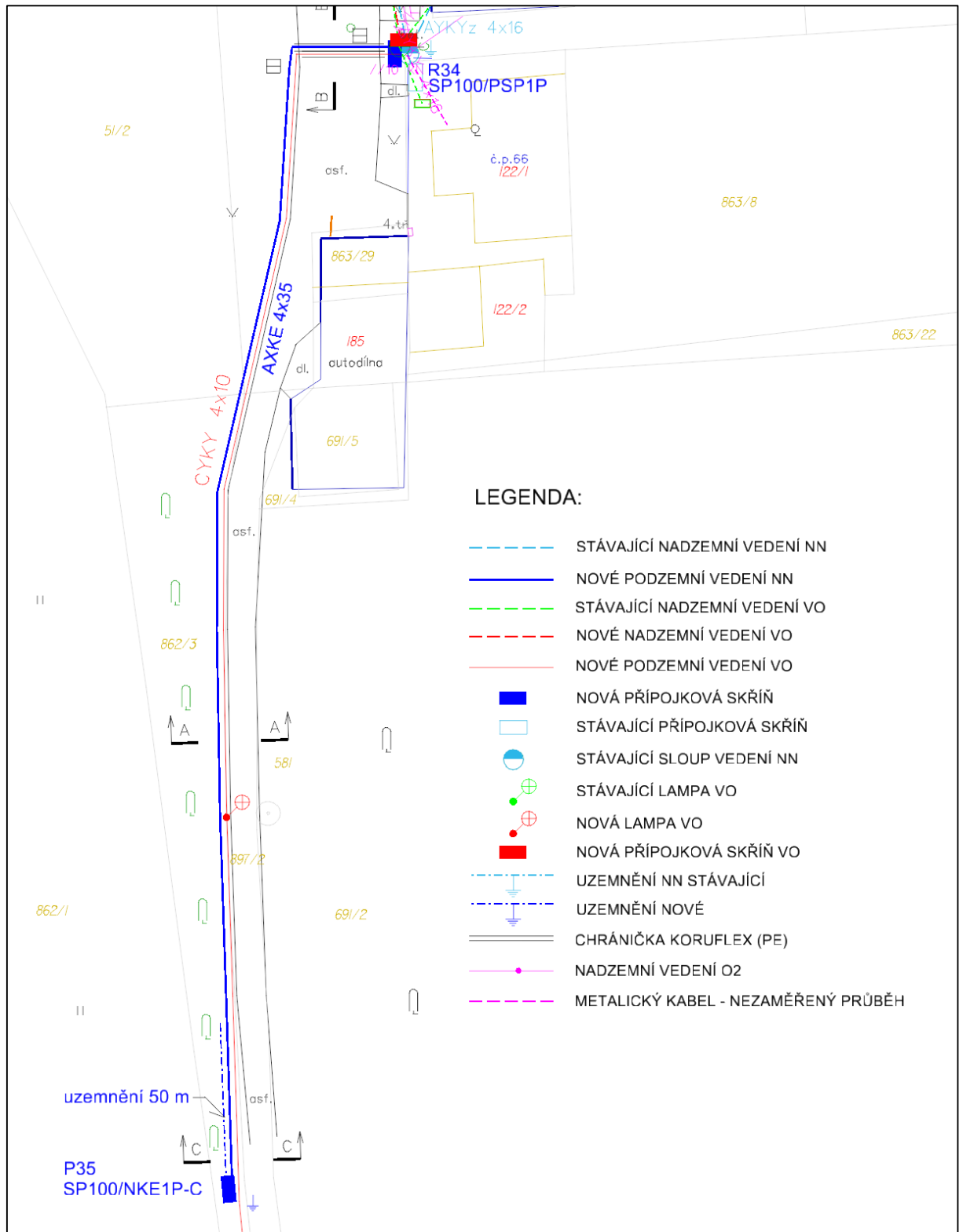
## PŘÍLOHA P2:

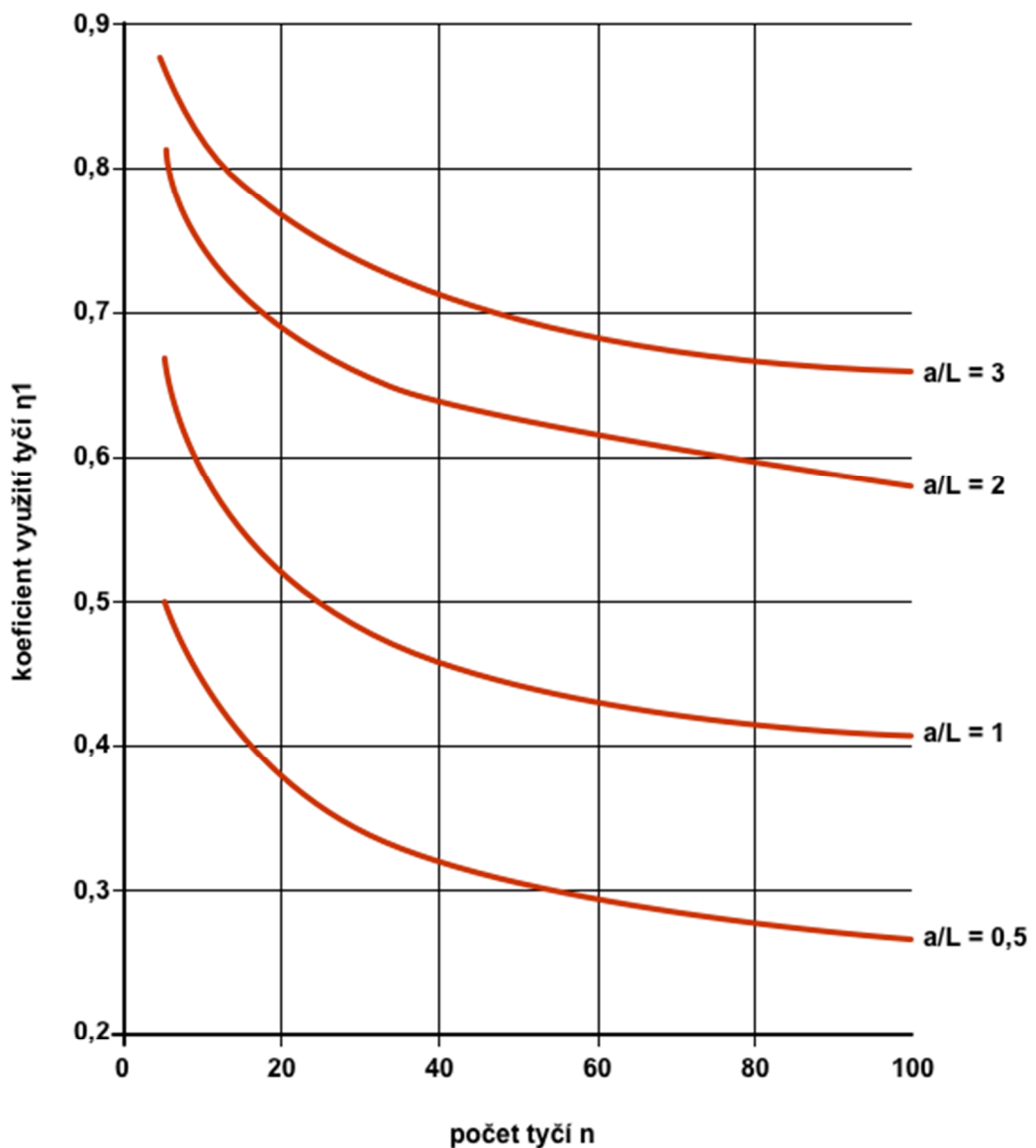
## SITUAČNÍ PLÁNEK PROJEKTU V LOKALITĚ PLZEŇ – BOŽKOV



## PŘÍLOHA P3:

## SITUAČNÍ PLÁNEK PROJEKTU V LOKALITĚ VEJVANOV



**PŘÍLOHA P4:****KOEFICIENT VYUŽITÍ TYČOVÝCH ZEMNIČŮ V ZÁVISLOSTI NA  
POMĚRU VZDÁLENOSTI MEZI TYČEMI A JEJICH DÉLKY**

kde  $a$  je vzdálenost mezi tyčemi  
 $L$  je délka tyče