



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

Uzemnění v distribuční soustavě v městském území

Grounding in the distribution system in urban areas

Diplomová práce

Jan Hrubín

Vedoucí práce: Vít Klein, Ph.D.

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vypracoval: Bc. Jan Hrubín

Praha 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hrubín** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **457221**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Uzemnění v distribuční soustavě v městském území.

Název diplomové práce anglicky:

Grounding in the distribution system in urban areas.

Pokyny pro vypracování:

- 1) Požadavky na uzemnění v distribuční sítích.
- 2) Metody měření zemních odporů a uzemňovací soustavy.
- 3) Vliv ostatních inženýrských sítí v městské aglomeraci na uzemnění.
- 4) Impedanční smyčka a vliv na uzemnění.
- 5) Návrh modelových případů uzemňování prvků v distribuční soustavě.

Seznam doporučené literatury:

- 1) KOČVARA, Antonín. Uzemňování elektrických zařízení. Praha: IN-EL, 1995. Knižnice Elektro.
- 2) NOVOTNÝ, Václav. Uzemnění a jeho měření. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1973. Praktické elektrotechnické příručky.
- 3) PNE 33 0000-1:2011 Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **10.02.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **14.08.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne

Bc. Jan Hrubín

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za vedení mé závěrečné práce, za jeho ochotu, rady, připomínky a vstřícnost při společných konzultacích. Dále nesmím opomenout poděkovat pracovníkům PREdistribuce, a.s. pod vedením Ing. Josefa Hrtuse za jejich vstřícnost, rady a připomínky při konzultacích. V neposlední řadě bych chtěl taktéž poděkovat pracovníkům Dopravního podniku hlavního města Prahy, a.s. oddělení Technického dozoru pod vedením Bc. Ladislava Nepejchala za jejich ochotu při technických konzultacích.

Děkuji taktéž celé své rodině za mentální i finanční podporu v průběhu celého mého studia.

Anotace

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku uzemnění distribučních elektrických sítí nízkého a vysokého napětí s návazností na ostatní inženýrské sítě a na trakční silniční a kolejovou dopravu. Práce se soustřeďuje na teoretické informace o měření zemních odporů a měření odporů zemničů. Následuje popis jednotlivých druhů využívaných zemničů, souhrn požadavků na bezpečné provozování distribuční sítě a s tím spojenou impedanci poruchové smyčky. Hlavní částí této práce jsou konkrétní technické návrhy uzemnění reálných úseků distribuční sítě a elektrických distribučních stanic.

Klíčová slova

Distribuční soustava, stanice, uzemnění, měření, návrh

Annotation

This diploma thesis is focused on the issue of grounding of low and high voltage electrical distribution networks in connection with other engineering networks and traction road and rail transport. The work focuses on theoretical information about measuring earth resistances and measuring earth resistances. The following is a description of the individual types of earthing conductors used, a summary of the requirements for the safe operation of the distribution network and the associated impedance of the fault loop. The main part of this work are specific technical proposals for grounding real sections of the distribution network and electrical distribution stations.

Keywords

Distribution system, station, grounding, measurement, design

Obsah

1 Požadavky na uzemnění v distribučních sítích	2
1.1 Definice uzemnění.....	2
1.2 Bezpečnost.....	2
1.2.1 Ochrana před úrazem elektrickým proudem	3
1.2.1.1 Ochrana před dotykem neživých částí u rozvodných zařízení do 1000 V	4
1.2.2 Prostory z hlediska úrazu elektrickým proudem	4
1.2.2.1 Členění prostor dle nebezpečí před úrazem elektrickým proudem	4
1.3. Uzemnění elektrických stanic.....	6
1.3.1 Vnější uzemnění distribučních stanic	8
1.3.2 Vnitřní uzemnění distribučních stanic.....	9
1.3.3 Oddělené uzemnění napájecích stanic městské elektrické trakce	10
2 Metody měření zemních odporů a uzemňovací soustavy.....	12
2.1 Měření měrného odporu půdy	12
2.1.1 Wennerova metoda.....	14
2.1.2 Schlumbergerova metoda	15
2.2 Měření zemního odporu uzemňovací soustavy	16
2.2.1 Metoda proud - napětí.....	16
2.2.2 Kompenzační metoda	18
2.3 Zemniče.....	19
2.3.1 Zemniče náhodné	20
2.3.2 Zemniče strojené.....	20
2.3.2.1 Typy strojených zemničů.....	22
3 Vliv ostatních inženýrských sítí v městské aglomeraci na uzemnění.....	25
3.1 Elektrické trakční soustavy	25
3.1.1 Bludné proudy	26
3.1.2 Napájení trakčních systémů	28
3.1.3 Ochrana před úrazem elektrickým proudem pro systémy nevyužívající kolejnic jako zpětného vodiče	28
3.1.4 Ochrana před nepřímým dotykem a nedovoleným potenciálem kolejnice	29
3.1.5 Speciální ochrany v trakčních soustavách	29
3.1.6 Připojení uzemňovacích vodičů a zpětného obvodu	30
3.2 Plynové a vodovodní sítě	32

3.2.1 Vodovodní síť	32
3.2.2 Plynové síť.....	32
4. Impedanční smyčka a její vliv na uzemnění	33
4.1 Značení vodičů a elektrických sítí.....	33
4.1.1 Značení vodičů.....	33
4.1.2 Druhy elektrických sítí	34
4.1.2.1 TN – C.....	34
4.1.2.2 TN – S.....	35
4.1.2.3 TN-C-S.....	36
4.1.2.4 TT	37
4.1.2.5 IT.....	37
4.2 Druhy dotyku s elektrickým zařízením pod napětím	38
4.3 Impedance poruchové smyčky	39
4.3 Ochrana před nebezpečným dotykem do 1 kV.....	40
4.3.1 Automatické odpojení poruchy v síti TN nadproudovými ochrannými přístroji	40
4.3.2 Automatické odpojení poruchy v síti TN proudovými chrániči	41
4.3.3 Automatické odpojení poruch v sítích TT	41
4.3.4 Uzemnění do 1000 V	42
4.4 Ochrana před nebezpečným dotykem nad 1kV.....	43
5. Návrh modelových případů uzemňování prvků v distribuční soustavě	46
5.1 Ctěnice	46
5.1.1 Transformační stanice TS 3915	46
5.1.1.1 Výzbroj stanice.....	47
5.1.1.2 Uzemnění stanice	47
5.1.2 VN distribuční síť.....	49
5.1.3 NN distribuční síť	49
5.1.3.1 Uložení zemničů	50
5.1.3.2 Uzemnění vodiče PEN.....	51
5.1.3.3 Popis uzemnění zemědělského areálu	51
5.1.3.4 Popis uzemnění rodinných domů.....	52
5.1.3.5 Popis uzemnění zámeckého areálu	53
5.1.3.6 Popis uzemnění zahrádkářské kolonie	54
5.2 Vozovna Hloubětín	55
5.2.1 Stavební část stanice TS 1440.....	56

5.2.2 VN část stanice TS 1440.....	57
5.2.2.1 Vedení VN.....	57
5.2.2.2 Výzbroj VN části stanice	57
5.2.2.3 Uzemnění VN části stanice	57
5.2.2.3.1 Potenciál vzdáleného uzemnění.....	57
5.2.2.3.2 Potenciál Dopravního podniku.....	58
5.2.3 NN část stanice TS 1440	59
5.2.3.1 Výzbroj NN části stanice	59
5.2.3.2 Uzemnění NN části stanice.....	59
5.2.4 Propojení uzemňovacích systémů	60
5.2.5 Vývod na vzdálené uzemnění	61
Závěr	62
Zdroje	65
Přílohy	67

Tabulky

<i>Tab. 1: Dovolené trvalé dotykové napětí dle prostoru u elektrického zařízení DS do 1000 V AC</i>	<i>4</i>
<i>Tab. 2: Meze bezpečných napětí dle prostor</i>	<i>5</i>
<i>Tab. 3: Měrný odpor různých druhů půdy</i>	<i>12</i>
<i>Tab. 4: Korekční tabulka výpočtu rezistivity pro různé poměry rozestupu měřících elektrod a jejich hloubkou uložení</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 5: Minimální průřezy pro mechanickou a korozní odolnost uzemňovacího přívodu Převzato z: [3]</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 6: Druhy soustav pro napájení netrakčních odběrů</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 7: Výňatek dovolených průřezů vodičů PE(PEN)</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 8: Dovolená dotyková napětí pro zařízení nad 1 kV</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 9: Značení NN skříní a jejich umístění</i>	<i>50</i>

Grafy

<i>Graf 1: Závislost činitele K na ročním období</i>	<i>16</i>
<i>Graf 2: Vliv délky pásku na zemní odpor</i>	<i>22</i>
<i>Graf 3: Dovolené dotykové napětí U_{Tp} pro zařízení nad 1000 V</i>	<i>45</i>

Obrázky

<i>Obr. 1: Antikoroziční ochrana zemniče Zdroj: Vlastní</i>	9
<i>Obr. 2: Rozložení elektrického pole v homogenní půdě</i>	13
<i>Obr. 3: Měření rezistivity půdy Wennerovou metodou - T1, T4 proudové (vnější) elektrody a potenciálové elektrody T2, T3 (vnitřní) dle: [3]</i>	14
<i>Obr. 4: Měření rezistivity půdy Schlumbergerovou metodou</i>	15
<i>Obr. 5: Zapojení při měření metody proud – napětí</i>	17
<i>Obr. 6: Uspořádání měřícího obvodu při měření zemního odporu elektrické stanice při velkém měřícím proudu</i>	18
<i>Obr. 7: Zapojení induktorového měřícího mostu</i>	19
<i>Obr. 8: Zemnič povrchový</i>	21
<i>Obr. 9: Zemnič hloubkový</i>	21
<i>Obr. 10: Zemnič kombinovaný</i>	21
<i>Obr. 11: Tvary uspořádání drátových zemničů</i>	24
<i>Obr. 12: a) kosá propojka b) stykový transformátor</i>	32
<i>Obr. 13: Značení druhů sítí</i>	34
<i>Obr. 14: Principiální schéma sítě TN – C</i>	35
<i>Obr. 15: Principiální schéma sítě TN – S</i>	36
<i>Obr. 16: Principiální schéma sítě TN – C – S</i>	37
<i>Obr. 17: Principiální schéma sítě TT</i>	37
<i>Obr. 18: Principiální schéma sítě IT</i>	38
<i>Obr. 19: Druhy dotyku s elektrickým zařízením</i>	39
<i>Obr. 20: Příklad impedanční smyčky poruchového proudu v síti TN – C</i>	40
<i>Obr. 21: Fotografie zemědělského areálu ve Ctěnicích</i>	52
<i>Obr. 22: Fotografie rodinných domů ve Ctěnicích</i>	53
<i>Obr. 23: Fotografie vstupu do zámeckého areálu ve Ctěnicích</i>	53
<i>Obr. 24: Fotografie pohled do areálu vozovny Hloubětín</i>	55

Přehled použitých termínů a definic

AC – *alternating current* střídavý proud

ČSN – **České státní normy**

DC – *direct current* stejnosměrný proud

Doplňková ochrana – doplňující opatření k základní ochraně za určitých podmínek vnějších vlivů, na určitých zvláštních místech a objektech

(dovolené) dotykové napětí (U_{te}) ((*effective*) *touch voltage*) – napětí mezi vodivými částmi, které jsou přístupné člověku (zvířeti)

DP– **Dopravní podnik**

DPMB – **Dopravní podnik města Brna, a.s.**

DPP – **Dopravní podnik hlavního města Prahy, a.s.**

DS – **distribuční soustava** (elektrické energie) – propojená technologie zajišťující rozvod elektrické energie z nadřazené přenosové soustavy k odběrným místům

DTS – **distribuční transformační stanice** (elektrické energie)

HOP – **hlavní ochranná přípojnice**– elektrická přípojnice na kterou jsou napojeny vodiče pro vyrovnání potenciálu

Neživá část – vodivá část elektrického zařízení, která je při běžném provozu bez napětí, ale v případě poruchy se z ní může stát živá část (povede proud)

Ochrana při poruše – ochrana před nepřímým dotykem (před dotykem neživých částí)

PE – **Ochranný vodič** – vodič, zajišťující ochranu před úrazem elektrickým proudem, je připojován k neživým částem, cizím živým částem, hlavní uzemňovací přípojnici, zemniči, uzemněnému bodu nebo umělému středu zdroje

PEN – vodič spojený se zemí slučující funkci ochranného vodiče (PE) a nulového (středního) vodiče (N)

PNE – **Podnikové normy energetiky** – nižší stupeň technických norem doplňující normy ČSN

PREdi – **PREdistribuce, a.s.**

RCD (*residual current device*) **proudový chránič** – elektrický přístroj s ochrannou funkcí, jímž v bezporuchovém režimu protéká proud a vyvolá rozepnutí obvodu v případě detekce příslušné hodnoty reziduálního proudu

TT – **tramvajová trať**

VLD (*voltage limiting device*) – zařízení omezující napětí - bezpečnostní zařízení zamezující přítomnosti nedovoleného dotykového napětí

VOTS – Velkoodběratelská transformační stanice

Základní ochrana (před úrazem elektrickým proudem) –ochrana za normálních podmínek před přímým dotykem s živými částmi

Živá část –vodič, včetně vodiče nulového (N), nebo vodivá část určená k tomu, aby byla při obvyklém užívání pod napětím

Úvod

Elektrická energie je jedním z nejdůležitějších pomocníků lidstva moderní doby. Přístup k využívání této fyzikální síly však vyžaduje potřebný respekt. Je nutné mít na zřeteli hospodárné a zejména bezpečné zacházení s ní.

Komerční využívání elektrické energie má více než stoletou historii a jako každá oblast lidské činnosti prochází celou řadou vývojových změn v souladu s novými objevy vědy a technologickým pokrokem.

Jedním z hlavních vývojových směrů je samozřejmě i zajišťování bezpečnosti provozu elektrických sítí a zařízení. Dochází k inovaci a zpřísňování legislativních požadavků na ekologické, hospodárné a bezpečné využívání elektrické energie.

První část mé práce se zabývá legislativními požadavky týkajícími se uzemnění elektrických zařízení a vodivých předmětů.

Druhá část se zaměřuje na metodiku měření a vyhodnocování návrhu uzemňovacích soustav.

Dále zpracovává vliv ostatních distribučních a liniových staveb na uzemnění s důrazem na vliv městské elektrické trakce.

Čtvrtá stať je věnována vlivu poruchové impedanční smyčky na uzemnění.

Poslední částí je praktický návrh uzemňovací soustavy zadaných reálných úseků sítě nízkého napětí v okrajové části Prahy a návrh uzemňovací soustavy v Tramvajové měničce v městské části Praha – Hloubětín.

1 Požadavky na uzemnění v distribučních sítích

1.1 Definice uzemnění

Definice uzemnění dle ČSN IEC 33 60050-614 (Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 614: Výroba a rozvod elektrické energie - Provoz) je uzemnění elektrických zařízení a provedení nutných spojení, aby určené místo přístroje, zařízení nebo sítě bylo udržováno, pokud možno, na potenciálu země [1]. Účelem uzemnění v elektrotechnice je udržovat na potenciálu země danou část elektrického obvodu, umožnit správnou funkci elektrických strojů, přístrojů a zařízení, chránit tyto části elektrických obvodů před účinky nadproudů a přepětí, umožnit svést atmosférické výboje a především docílit ochrany lidí a zvířat před úrazem elektrickým proudem při dotyku neživých částí, které mohou být v případě poruch pod napětím, pomocí odpojení od zdroje snížením dotykového a krokového napětí na bezpečnou míru [2].

1.2 Bezpečnost

Při provozování přenosu a rozvodu elektrické energie je nutná v první řadě bezpečnost provozu. Této problematice se také věnuje první část PNE 33 0000. „Rozvodná elektrická zařízení musí být trvale vybavena prostředky ochrany před úrazem elektrickým proudem při respektování nepříznivého působení předpokládaných vnějších vlivů při jejich provozu“ [3]. Je možné neřídit se touto normou, ale poté je nutné prokazatelně doložit, že prostředky ochrany před úrazem elektrickým proudem dosahují minimálně stejné úrovně bezpečnosti. Prostředky pro ochranu před úrazem elektrickým proudem musí zajistit jednu z uvedených podmínek:

- Trvale zamezit přístupu k živým a neživým částem s napětím vyšším než maximálně dovolená hodnota bezpečného napětí, pokud je zařízení v provozu.
- Při dotyku s neživými částmi elektrických zařízení omezit protékající proud lidským tělem na úroveň, která není nebezpečná.
- Při dotyku s neživými částmi elektrických zařízení omezit dobu průchodu elektrického proudu tak, aby nenastaly patofyziologické účinky u postižených osob.

1.2.1 Ochrana před úrazem elektrickým proudem

Nebezpečí a míra rizika vzniku úrazu elektrickým proudem záleží na parametrech elektrické sítě (napětí, proudu, frekvenci a dalších) a také na podmínkách okolního prostředí elektrických zařízení. Při přímém dotyku s živou částí pod napětím může protékat tělem elektrický proud, který způsobuje patofyziologické účinky. Proto je nutné chránit osoby a zvěř (hospodářskou a volně žijící) před těmito nežádoucími účinky zamezením přístupu a dotyku:

- 1) k živým částem různé polaritě nebo rozdílných potenciálů,
- 2) k živým částem a napětí proti zemi,
- 3) k neživým částem, které se mohou při poruše stát živými.

Pro ochranu před úrazem elektrickým proudem je možné využít jak základní ochranu s vhodnou nezávislou ochranou při poruše nebo využít zvýšenou ochranu, která obsahuje základní ochranu, tak i ochranu při poruše.

Živé části je nutné chránit proti přímému dotyku. Živou částí není vodič PEN, jelikož kombinuje funkci ochranného vodiče (PE) a nulového vodiče (N) a dle [4] je považován taktéž vodič PEN za neživou část.

Neživé části je nutné chránit před nepřímým dotykem. Za neživé části v zařízení do 1000 V se považují kostry elektrických strojů, kostry a kryty elektrických přístrojů, kovové nosné konstrukce (stožáry, vzpěry atd.), kovové trubky elektrického vedení, pláště a pancíře kabelů, koncovky, spojky a vodivé odnímatelné zábrany, pokud nejsou ve vodivém spojení s chráněnými částmi [3].

U zařízení nad 1000 V jsou neživými částmi elektrického zařízení všechny vodivé části strojů, zařízení a přístrojů, které při poruše (izolace) nebo vlivem elektrického oblouku mohou přijít do styku s živými částmi elektrické instalace. Zde se jedná o kovové části budov uložené ve zdivu, dřevu nebo narmovaném betonu, které jsou volně přístupné vně budovy a lze se jich dotknout. Jedná se zejména o rámy oken a dveří, žebříky a podobná vybavení. Dále jsou jako nevodivé části uvažovány podpěrné konstrukce elektrických vedení a vybavení ze železobetonu a taktéž rámy a kotvy ve zdivu k upevnění izolátorových závěsů [3].

Rozvodná elektrická zařízení přístupná laikům musí být vybavena standardní ochranou neživých částí, a navíc doplněna o ochrany zamezující přiblížení k živým částem. Ochrana živých částí může být zajištěna izolací, ochranou polohou (umístění mimo dosah), zábranou, přepážkami, nebo kryty.

1.2.1.1 Ochrana před dotykem neživých částí u rozvodných zařízení do 1000 V

Podniková norma PNE 33 0000-1 udává maximální povolené trvalé hodnoty dotykového napětí v distribučních rozvodech NN (do 1000 V) v závislosti na prostředí:

Prostory	Dovolené trvalé dotykové napětí
	U_{dL} [V]
Normální a nebezpečné	50
Zvlášť nebezpečné*	12

* Ve zvlášť nebezpečných prostorech se obvykle výstavba a povoz distribuční soustavy neprovádí.

Tab. 1: Dovolené trvalé dotykové napětí dle prostoru u elektrického zařízení DS do 1000 V AC Zdroj: [3]

1.2.2 Prostory z hlediska úrazu elektrickým proudem

Způsob a velikost opatření pro zabezpečení ochrany před úrazem elektrickým proudem je závislý na parametrech prostředí ve kterém je zařízení provozováno, s přihlédnutím na možné nepříznivé působení předpokládaných vnějších vlivů.

1.2.2.1 Členění prostor dle nebezpečí před úrazem elektrickým proudem

Pro stanovení úrovně ochrany se prostory člení dle PNE 33 0000-1:

- 1) Prostory normální – prostory, ve kterých je provozování elektrických zařízení považováno za bezpečné (působením vnějších vlivů nedochází ke zvýšení nebezpečí úrazu elektrickým proudem, pokud elektrická zařízení odpovídají ustanovením, která se jich týkají a jsou provozována obvyklým stanoveným způsobem)
- 2) Prostory nebezpečné – prostory, kde působením vnějších vlivů je buď přechodné nebo stálé nebezpečí úrazu elektrickým proudem
- 3) Prostory zvlášť nebezpečné – prostory, ve kterých působením zvláštních okolností vnějších vlivů (případně jejich kombinací) dochází ke zvýšení nebezpečí úrazu elektrickým proudem

Pro určení vhodných prostředků pro ochranu před úrazem elektrickým proudem je rozhodující velikost provozního napětí zařízení, proto se napětí dělí na:

- Napětí bezpečná – napětí která v daném prostoru neohrožují bezpečnost osob, hospodářských a volně žijících zvířat.
- Napětí nebezpečná.

Velikost dovolených napětí je určena typem prostoru a elektrické částí, které se obsluha dotýká.

Prostory	při dotyku částí (při obsluze)	Bezpečná napětí [V]
Normální a nebezpečné	Živých	25
	Neživých	50
Zvlášt' nebezpečné	Živých	-
	Neživých	12

Tab. 2: Meze bezpečných napětí dle prostor Převzato z: [3]

Elektrická zařízení jsou ukládána do různých druhů okolních prostorů. Z tohoto důvodu se rozdělují tyto prostory do šesti kategorií:

Prostor I: vnitřní prostory – plně klimatizovaná místa – malý rozdíl kolísání teploty omezení vlhkosti vzduchu.

Prostor II: vnitřní prostory s trvalou regulací teploty – pro zabránění extrémně suchých podmínek lze využít zvlhčování a naopak, při vlhkém prostředí vysoušení.

Prostor III: vnitřní prostory s regulovanou teplotou – topení (chlazení) není nutné kontinuální, slouží k zabránění extrémních podmínek (sucho, vlhko).

Prostor IV: vnitřní prostory bez regulace teploty – omezuje kolísání vnitřní teploty během dne.

Prostor V: prostory pod přístřeškem – minimální ochrana proti vnějším vlivům.

Prostor VI: venkovní prostory – plně vystavené vnějším vlivům klimatu.

Rozvodná zařízení musí být zvolena s ohledem na bezpečnost, funkci a odolnost vůči vnějším vlivům. Pro určení vhodného způsobu zajištění ochrany před úrazem elektrickým proudem je nutné určit podmínky prostoru ve kterých se nachází jednotlivé elektrické rozvodné zařízení. K tomuto účelu slouží PNE 33 0000-2. Pro určení daného prostředí byl vytvořen třímístný kód obsahující na prvních dvou pozicích písmena a na třetí číslici. První písmeno určuje všeobecnou kategorii vnějšího vlivu, druhé písmeno určuje povahu vnějšího vlivu a poslední číslice určuje třídu vnějšího vlivu [5]. Kód začíná vždy pouze třemi možnostmi, kdy první písmeno určuje obecnou kategorii vlivu:

- A – vnější činitel prostředí,
- B – využití,
- C – konstrukce budovy.

Vnější činitel prostředí A – posouzení vlastností okolí, které může být ovlivněno samotným zařízením nebo ostatními okolnostmi. V této kategorii se uvažuje velké spektrum vnějších vlivů, které jsou uvedeny v již zmíněné PNE 33 0000-2, proto zde zmíním pouze několik těchto vlivů, mezi něž patří např.: teplota okolí (AA), atmosférické podmínky okolí (AB), výskyt vody (AD), mechanické namáhání (AG), výskyt živočichů (AL), výskyt rostlinstva a plísní (AK), bouřková činnost (AQ) atd. [5].

Vnější činitel využití B – popisuje vlastnosti osob, které mohou přijít do styku s rozvodným zařízením a vlastnostmi látek, které se mohou nacházet v objektu.

- Schopnosti osob BA – určuje jaké osoby mají přístup do rozvodného zařízení
 - BA1 – zařízení přístupná laikům (zejména venkovní stožáry, rozvaděče venkovních DTS)
 - BA2 – přístup osob poučených (odečty hodnot z měřících přístrojů)
 - BA3 – přístupné pouze pro osoby znalé (pro všechna další rozvodná zařízení a jejich prostory)
- Elektrický odpor lidského těla BB – se řadí do tří kategorií dle podmínek
 - BB1 – vysoký odpor, suché podmínky (prostory I a II)
 - BB2 – normální odpor, normální podmínky (prostory III, IV, V, VI)
 - BB3 – nízký odpor, vlhké podmínky (dle místních podmínek v prostoru V a VI)
- Dotyk osob s potenciálem země BC – popisuje pravděpodobnost dotyku s neživých částí (BC1 není v PNE 33 0000-2 uvažováno)
 - BC2 – výjimečný dotyk pro rozvodná zařízení přístupná laikům, kde se nepředpokládá úmyslný dotyk s neživými částmi a ani stání osob na vodivém podkladu (např.: stožáry venkovního vedení, rozvaděče venkovních DTS)
 - BC3 – častý dotyk standardně uvažovaná třída pro prostory, kde se vyskytují pouze osoby znalé
- Podmínky úniku v případě nebezpečí BD – pro rozvodná zařízení distribuční a přenosové soustavy je pro bezpečnost osob povolena pouze jediná třída popisující možnost snadného úniku v případě nebezpečí
- Povaha zpracovaných nebo skladovaných látek BE – popisuje úroveň nebezpečí požáru (BE1) bez významného nebezpečí, (BE2N3) nebezpečí požáru hořlavých kapalin (prostory olejových transformátorů a tlumivek) a (BE3N2) nebezpečí výbuchu hořlavých plynů a par (prostory tlakovzdušného zařízení nebo zařízení využívající SF 6)

Vnější činitel konstrukce budov C – tento činitel je souhrnný a popisuje vlastnosti objektu, ve kterém je zařízení umístěno. Pro energetické stavby je povolena pouze výstavba z nehořlavých materiálů popsána kódem CA1 (konstrukce budovy – nehořlavé materiály). Konstrukce budovy pro energetické stavby je kategorie CB1 – zanedbatelné nebezpečí.

1.3. Uzemnění elektrických stanic

„Uzemnění se zřizuje na ochranu před úrazem elektrickým proudem, pro ochranu před bleskem a přepětím nebo pro správnou činnost elektrických zařízení.“ [3] Uzemnění elektrické instalace je navrhováno, zkoušeno a revidováno s ohledem na dodržení bezpečnosti osob ve všech místech, kde je možné očekávat výskyt osob. Navrhované instalace a zařízení musejí být dále navrhovány s ohledem na předpokládané mechanické, elektrické a povětrnostní namáhání. Dále PNE 33 0000-1 uvádí nezbytné

aspekty návrhu, jako jsou účel instalace, požadavky zákazníka (spolehlivost, schopnost odolat přechodným podmínkám a další) a bezpečnost obsluhy a veřejnosti.

Způsob uzemnění uzlu je závislý na mnoha aspektech, mezi něž patří volba návrhu zemnicí soustavy, volba ochrany a charakteristiky přepěťových prvků (svodiče přepětí, jiskřiště). Pokud je instalace provedena galvanicky propojenými soustavami, musí mít tyto soustavy totožný způsob uzemnění uzlu. Pokud nejsou soustavy galvanicky propojeny, mohou mít rozdílné způsoby uzemnění uzlu [3].

V distribuční síti se mohou tvořit přepětí provozní i atmosférická. Provozní přepětí nejčastěji způsobují spínání kapacitní zátěže (dlouhé kabelové úseky), nebo výkonové vypínače. Spínání těchto zařízení způsobuje nárůst proudů i napětí o různých kmitočtech. Pro omezení vlivu je nutné tyto přechodné jevy utlumit za pomoci vhodně zvolené hustoty a umístění uzemňovacích bodů pro zamezení šíření proudů o vysoké i nízké frekvenci [3]. Atmosférické výboje mohou vytvářet rozdílné potenciály uzemňovacích soustav. Pro omezení vlivu rozdílných potenciálů budov ve vzájemné blízkosti (průmyslovými areály, sídliště), se jednotlivé uzemňovací soustavy propojují do jednoho galvanicky spojeného celku [3].

Stínění, kovové pláště a pancíře se pomocí vodičů připojují na zemnění příslušné soustavy. V distribuční síti je nutné zajistit propojení stínění v celé délce kabelového úseku přes spojky (koncovky) kabelů, alespoň na jedné straně se zemnicí soustavou. Jestliže se však uzemní jen jedna strana kabelů, je nutné dodržet při poruše (zemní spojení, zkrat) na neuzemněném konci kabelu povolené dotykové napětí. Pokud to není možné, musí se toto stínění chránit před dotykem, například zábranou nebo využít uzemnění přes průrazku. V případě, kdy mají jednožilové VN kabely kovové opancéřování, musí se toto pancéřování všech tří fází navzájem na konci úseku propojit vodičem [3]. Snahou při uzemňování elektrických stanic je zajištění co možná nejmenšího možného odporu uzemnění.

Zemnění distribučních stanic VN/NN je nejčastěji společné (pracovní a ochranné), ale může být i rozděleno [3]. Pražská energetika v případě napájení velkoodběratelských stanic vždy využívá společného uzemnění s výjimkou napájení VOTS pro metro a měnirny [6]. Pro tato místa hrozí výskyt bludných proudů, které by mohly způsobit elektrokorozí degradaci zejména armatur v železobetonových základech přilehlých budov.

Uzemnění uzlu zdroje NN v DTS musí být přivedeno bez přerušení na hlavní ochrannou přípojnicí (HOP) pro společné uzemnění VN/NN. Pokud je DTS napájena kabelovým přívodem v hustě zabydlených oblastech, kde je souvislá síť ostatních kabelových DTS a tyto kabely mají oboustranně uzemněné pláště o celkové délce 1 km a maximální proud jednofázového zkratu nebo zemního spojení do hodnoty 1,5 kA, nepředpokládá se, že velikost dotykového napětí nepřekročí povolené VN hodnoty, a proto se nemusí tato uzemnění měřit [3]. Pro takovéto případy kabelových sítí VN je vždy nutné propojit oba konce kabelu s ochrannou soustavou sítě. Pro speciální případy je ale možné vytvořit pouze jednostranné propojení, které se provádí zejména pro omezení bludných proudů u soustav s rozdílnou napěťovou soustavou (AC/DC) [3].

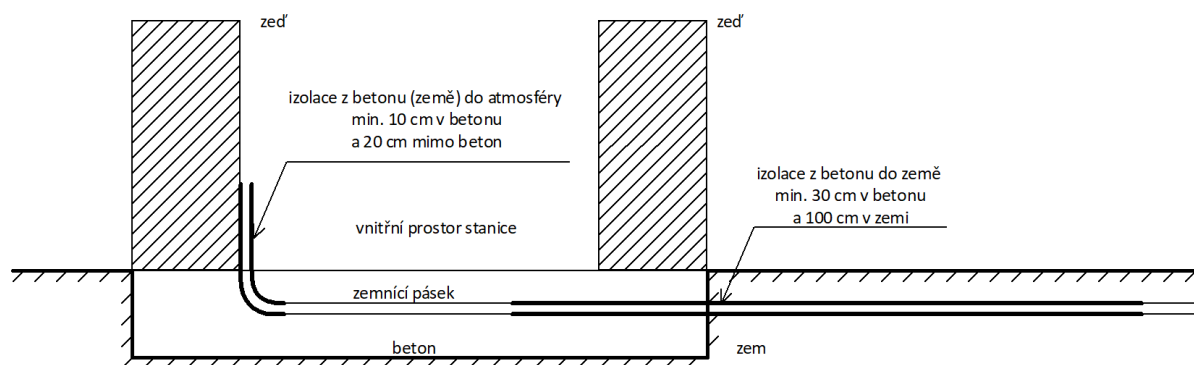
Uzemnění elektrické stanice se skládá ze zemniče, jeho přívodu, zkušební svorky (ZS) a (hlavní) ochranné přípojnice. Ochrana před bleskem není, dle podnikové normy PREDi KA 203, součástí návrhu uzemňovací soustavy a je řešena stavebním projektem budovy.

1.3.1 Vnější uzemnění distribučních stanic

K uzemnění stanic se využívají zejména vodorovné zemniče (páskové a drátové). Dále lze využít zemniče tyčové a základové. Deskové zemniče nejsou využívány. Pokud u výstavby uzemňovací stanice jsou přítomny náhodné zemniče, které vyhovují normám a zároveň jejich vlastníci povolí tyto části využít k uzemnění, je nutné tyto zemniče využít. Pražská energetika uzemňuje své stanice, u kterých zodpovídá i za stavební část (např.: samostatně stojící DTS na sídlištích), pomocí základového zemniče, který je zakomponován do základů stanice. Bez porušení izolace budovy proti vlhkosti se podlaha vytvoří ze železobetonu. Podlahu tak tvoří zemnič z Kari sítě provedené ze železného drátu o průřezu minimálně 10 mm² s maximální šíří ok 15 cm. Tato síť se musí zalít minimálně 5 cm silnou vrstvou betonu. Na síť se připojí uzemňovací přívody, které se spojí přes hlavní uzemňovací přípojnice s vodorovnými zemniči vedenými v trasách kabelu na obě strany do minimální délky 25 m (celkem tedy 50 m) [6]. Stanice mohou být i vícepodlažní. Pokud není v horních (nadzemních) podlažích možné vybudovat základový zemnič, je nutné využít zemničů vodorovných nebo tyčových. Pokud se jedná o vestavěné DTS (centrum města), kde nejsou možné stavební úpravy, provádí se uzemnění kladením FeZn zemničího pásku, který se klade v trase kabelu v minimální vzdálenosti 50 m [6].

Vodorovné zemniče jsou vyrobeny z žárově pozinkované oceli. Zemničí páska má specifické rozměry dle ČSN 33 2000-5-54 ed. 3 30 x 4 mm a v případě drátu \varnothing 10 mm (má menší odpor při stejné délce cca 8 %). Zemničí páska (drát) se ukládá na dno výkopu na zeminu a je přikryta vrstvou písku, na které je uložen kabel. Vzdálenost zemničího pásku od kabelu má být minimálně 10 cm. Pásek se klade naplocho a při změnách směru výkopu musí být ohyb proveden s ohledem k tomu, aby nedošlo k narušení izolace silového kabelu. Kladení více paralelních vodorovných zemničů do jednoho výkopu nemá vliv na velikost zemního odporu, a proto se nepoužívá [6]. Uzemňovací přívody jsou totožného materiálu jako vodorovné zemniče. Pokud stanice má vnější zemnič, vstupuje do objektu stanice přes průchodku, která musí být vodotěsná, aby do budovy nevnikala vlhkost z okolí. Zároveň, pokud dochází k vyvedení zemniče ze země (betonu) na povrch, je nutné zajistit antikorozi vrstvu minimálně 10 cm v betonu a 20 cm na vzduchu. V případě že, uzemňovací přívod prochází z betonu do země, je nutné zajistit antikorozi vrstvu silnou minimálně 30 cm v betonu a 100 cm v zemi [6] obr. 1. Antikorozi vrstva je nejčastěji tvořena odolným asfaltovým nátěrem, který zabraňuje přístupu vlhkosti.

Přívod musí být chráněn proti mechanickému poškození v kritických místech, jako je například vnitřní průchod mezi zdmi, vhodným způsobem. To lze provést například použitím chráničky.



Obr. 1: Antikorozi ochrana zemniče Zdroj: Vlastní

1.3.2 Vnitřní uzemnění distribučních stanic

Vnitřní uzemnění budovy je taktéž provedeno zemnicím páskem FeZn 30 x 4 mm po vnitřním obvodu stanice ve výšce cca 50 cm. HOP nebo zkušební svorka se zřizuje v místě, kde přechází uzemňovací přívod (přívod ze zdi nebo betonu) na obvodový ochranný (vnitřní) vodič. Zkušební svorka je vyrobena u FeZn pásku s otvory pro šrouby 2 x 2 x M10 [6]. Díky zkušební svorce je možné rozdělit vnitřní uzemnění (obvodové, přívody k technologii) od přívodního uzemnění stanice včetně zemniče. Rozdělení obvodu se využívá při měření odporu uzemňovací soustavy. Umožňuje proměřit jednotlivé části celkové uzemňovací soustavy a ověřit, zda součet vyhovuje povolené hodnotě odporu dle podnikové normy KA 203. Hlavní ochranná přípojnice je tvořena větším průřezem a může být z pozinkované oceli o minimálním průřezu 120 mm², mědi nebo hliníku [6]. Na vnitřní uzemnění se napojují jednotlivé neživé části výzbroje stanice opět pomocí totožného pásku nebo slaněného drátu o minimálním průřezu 35 mm² (s teplotní odolností při zkratu 160 °C) [6].

Pro správnou a bezporuchovou funkci zemnicí soustavy je nutné při napojování jednotlivých komponent uzemňovací soustavy zajistit co nejdokonalejší spoje, které budou mechanicky a elektricky kvalitní. Přívody uzemnění strojů se připojují přes šroubové spoje. Aby bylo zajištěno galvanické spojení, je pod maticí vkládána vějířová nebo pérová podložka. Propojení uzemňovacího přívodu se zemnicím může být provedeno několika způsoby: svářením, lisováním i šroubovým spojem. Pro nízkou mechanickou pevnost je zakázáno pájení spojů. Všechny spoje musí být opatřeny antikorozi úpravou neovlivňující galvanický kontakt spoje. Životnost soustavy je závislá na kvalitě spojení a jejího antikoroziho chránění. Nejčastěji je využíváno šroubových spojů pro jejich jednoduchost a odolnost. Pro jejich provozní spolehlivost je doporučen minimální překryv (pásků) 8 cm a spojení dvěma šrouby pro rovnoměrný tlak spoje [7]. V některých případech se využívá také sváření elektrickým obloukem. I přes snahu nepoškodit tenkou vrchní zinkovou vrstvu je nutné jak šroubové, tak svařovací spoje opatřit další antikorozi vrstvou. Nad povrchem se využívá antikoroziho nátěru, který ale není dostatečně odolný při využití v podzemním spoji. Proto se pro podpovrchové spoje využívá zalití spoje kabelovou hmotou nebo asfaltem. Snahou je všechny spoje provádět nad povrchem pro snadnější kontrolu jejich stavu.

Vodiče uzemňovacího přívodu a vnitřního uzemnění se musí označit jako ochranný vodič zelenožlutou barvou. Pásky se označují v místech ohybů a na ukončeních vodiče. Vodiče s izolací se využívají se zelenožlutou bužírkou, pokud je však izolace černá, označí (přeznačí) se vodič smršťovací zelenožlutou bužírkou na koncích vodiče. Navíc barevné značení je doplněno o písmenné kódy na hlavní ochranné přípojnicí a zkušební svorce, popřípadě za písmenným kódem následuje číslice popisující pořadí daného prvku.

1.3.3 Oddělené uzemnění napájecích stanic městské elektrické trakce

Jak již bylo naznačeno v úvodu této podkapitoly (1.3), elektrické stanice pro napájení stejnosměrné trakce jsou specifické svojí uzemňovací soustavou. Dříve byly měnirny zemněny jako klasické stanice se společným uzemněním. Z důvodu průtoku bludných a vyrovnávacích proudů a tím vzniku možné elektrokorozí železobetonových výztuh budov bylo však rozhodnuto toto uspořádání opustit.

Soustava metra má rozsáhlou uzemňovací soustavu. Pro omezení vlivu bludných proudů lze využít dvou metod. Teoreticky je možné přes izolační vložky odizolovat okolní budovy metra tak, aby bludné proudy neunikaly do okolí. Tato metoda je velice technicky náročná a prozatím nebyla nikde v pražském metru provedena do provozuschopného stavu. Druhou možností je propojení výzbroje elektrických stanic metra se zemí. Pro napájení tramvajových tratí (TT) je pro omezení bludných proudů vytvořeno oddělené uzemnění distribuční a trakční soustavy v napájecí stanici (měnirně).

Tramvajové tratě využívají jako zpětného vodiče jízdnic kolejí (stejně jako metro), každá trať je rozdělena do úseků, jejichž délka se liší v závislosti na vytíženosti daného úseku. Každý úsek trati je napájen přívodním napájecím vodičem z měnirny a zpětný proud je na konci úseku odváděn zpětným vodičem, napojeným na kolejnice, zpět do měnirny. Zpětný vodič často vede do měnirny v souběhu s distribučním kabelovým vedením. Každá soustava má jiný elektrický potenciál. Vzdálenost obou sítí je nízká, oddělená jen malou vrstvou půdy. Uzemnění distribuční sítě splňuje podmínky globálního uzemnění a má tedy malý odpor. Zpětný proud má tendenci se uzavírat cestou nejmenšího odporu, tedy část zpětného proudu by tak tekla stíněním kabelu zpět do měnirny a obě sítě by se vzájemně ovlivňovaly. Zpětný proud by mohl zanést do distribuční soustavy nedovolené dotykové napětí. Proto je nutné vytvořit tzv. vzdálené uzemnění distribuční soustavy. Jinými slovy se vytvoří dvě soustavy, které jsou od sebe dostatečně vzdáleny tak, aby se navzájem neovlivňovaly. Vzdálenost těchto sítí má být minimálně 20 m, kde je předpokládáno, že odpor zemní vrstvy bude dostatečně velký, aby zpětný trakční proud tekla zpětným vodičem elektrické trakce.

Oddělené uzemnění by mělo být konstruováno u všech tramvajových měniren a velkoodběratelských stanic (VOTS) galvanicky spojených s tělesem metra [6]. Ne vždy je možné z historických důvodů rozdělit zemnicí soustavy. Příkladem jsou rozsáhlé podzemní stavby, které jsou spojeny s metrem (kolektory v centru Prahy). Distribuční uzemňovací soustava není napojena na soustavu uzemnění budovy, jedná se o

pracovní uzemnění, které nezastává ochrannou funkci. Z tohoto důvodu není značena zelenožlutou kombinací příslušící ochranné soustavě. Ochranná soustava je společné uzemnění budovy a elektrické trakce (část DP).

Kovové stínění silových kabelů VN PREDi a sdělovacích metalických kabelů PREDi je připojeno na vzdálené uzemnění [6]. Ostatní části distribuce (kryt VN rozvaděče, neživá část oddělovacího transformátoru a dělicí pletivo) jsou připojeny k ochrannému uzemnění budovy, a tedy nejsou propojeny s globální uzemňovací sítí PREDi. Stínění kabelů a metalických sdělovacích kabelů jsou připojena vždy přes izolované přípojnice ve VN rozvaděči na izolovaný vodič, který nejkratší možnou cestou odchází pryč ze stanice přes průchodku do země na vzdálené uzemnění. Izolovaný vodič je v zemi chráněn chráničkou ideálně ve spodku trasy VN napájecího kabelu a v minimální vzdálenosti 20 m od uzemnění stanice je vodič přiveden do zemní šachty se svorkou [6]. Jedná se o pozemní pochozí box, v němž se izolovaný vodič pomocí svorky propojí s uzemňovacím přívodem nejčastěji ve formě pásku. Vytvoří se tedy vzdálené uzemnění distribuční soustavy dostatečně vzdálené od uzemnění trakce a nehrozí jejich vzájemné ovlivňování. Zemní pásek je od zemní šachty opět veden ve standardní délce 50 m pro jeden vodič a v případě dvou směrů pokládky do minimální vzdálenosti 25 m.

Rozdíl potenciálů obou soustav může být až několik stovek voltů. K omezení tohoto rozdílu jsou obě soustavy propojeny přes průrazku. Průrazka slouží k vyrovnání (udržení) rozdílů potenciálů na bezpečné hodnotě dotykového napětí. Používané průrazky se zapálí při napětí vyšším než 70 V (dovolené dotykové napětí pro zařízení nad 1 kV dle tab. 8 a neumožní tak další nárůst rozdílů potenciálu. Při poklesu napětí jsou průrazky samoregenerační a obnoví svou elektrickou pevnost. VN distribuční kabely nejsou uzemněny s uzemněním stanice, z toho důvodu hrozí při manipulaci s jejich stíněním vznik nedovolených dotykových napětí. Proto před manipulací s VN kabely je nutné překlenout průrazku paralelně zapojeným pojistkovým odpínačem, který po dobu manipulace galvanicky propojí pracovní uzemnění PREDi s ochranným uzemněním a nedovolí tak vznik nebezpečných dotykových napětí.

Napájecí stanice pro stejnosměrnou trakci nejsou obvykle doplněny o funkci distribuční stanice nízkého napětí. V případě, že by z objektu měnirny byla ještě napájena distribuční síť, musely by všechny vývody NN být izolovány od uzemnění budovy, stejně jako stínění VN distribučních kabelů a zemnění vyvedeno ze stanice na vzdálené uzemnění. Z toho důvodu, pokud je to technicky možné, jsou DTS samostatně stojící stanice bez návaznosti na napájecí stanice metra a TT.

Pro napájení úseků tratě je využíváno distribuční sítě typu TN – C. Síť IT ani TT nejsou využívány. Ve výzbroji měnirny jsou instalovány ochrany, které při detekci chodu na dvě fáze automaticky odpojí měnirnu od napájení, neboť je u kabelových sítí pravděpodobné, že tato porucha by mohla vyvíjet další závažnější poruchy. Síť metra má vlastní kabelovou síť 22 kV propojující distribuční stanice s měnirnami [8].

Trakční měnirny (TM) jsou navrženy jako rozpínací stanice, které je možné manipulovat ze vzdáleného pracoviště dispečinku. Komunikace je dnes nejčastěji zprostředkována optickým sdělovacím vedením, které není nutné vyvádět na vzdálené uzemnění.

2 Metody měření zemních odporů a uzemňovací soustavy

K bezpečnému provozování energetické sítě je nutné docílit optimálního návrhu uzemňovací soustavy tak, aby vyhověl předpokládané životnosti, byl ekonomicky rentabilní a zároveň splnil nejdůležitější kritérium ochrany osob a zvířat před úrazem elektrickým proudem. Pro takový návrh je však nejprve nutné seznámit se s metodikou měření odporů příslušného podloží v místě instalace zemniče, metody měření zemního odporu a druhů a materiálů samotných zemničů.

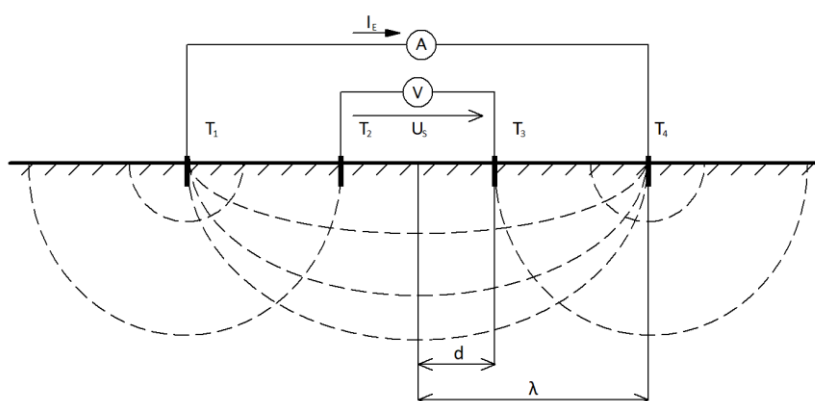
2.1 Měření měrného odporu půdy

Pro správný návrh zemniče je nezbytné znát reálnou rezistivitu půdního podloží, neboť odpor zemniče závisí lineárně na rezistivitě půdy, ve které je uložen [7]. Dříve se pro návrh uzemňovací soustavy používaly experimentálně zjištěné hodnoty rezistivity půdy pro jednotlivé druhy podloží zaznamenané do tabulek, typická tabulka je uvedena v tab. 3. Tyto tabulkové hodnoty však mohou mít velký rozptyl a není tedy možné učinit přesný návrh. Proto je žádoucí v místě výstavby zemniče provádět geoelektrická měření. Měrný odpor půdy se udává v Ωm a popisuje odpor krychle o straně 1 m, který je měřen za pomoci elektrod na protilehlých stranách této krychle [7]. Velikost odporu udává počet a velikost zemních elektrod. Odpor půdy se mění vlivem rozdílného materiálu podloží. Obecně platí, že starší horniny mají vyšší rezistivitu. Některé horniny jsou izolátory (žula, pískovec, rula, čedič a další). Pro dobrou vodivost je nutné, aby zemina mohla zadržovat vlhkost. Z tohoto důvodu není dobrým podložím písek, naopak dobré vlastnosti vlivem velké vlhkosti má hlinitá půda, humus a vápenaté jíly. Vápenecové půdy jsou dobře vodivé, jelikož vznikají rozložením vápence a obsahují velký podíl uhličitánů, které s vodou tvoří dobře vodivé roztoky [7].

Druh zeminy	Měrný odpor půdy [Ωm]
Prst' (humus)	30 až 40
Hlína	14 až 30
Jíl	30 až 50
Písek pod hladinou spodní vody	60 až 130
Štěrk pod hladinou spodní vody	130 až 240
Štěrk bez spodní vody (méně jak 5% vody v pórech)	900 až 3000
Štěrk smíšený s jílem	200 až 320
Slín (sedimentární hornina směr jílu a uhličitánů)	60 až 90
Pískovec	120 až 180
Vápenec	200 až 3600
Vyvřeliny	6000 až 70 000

Tab. 3: Měrný odpor různých druhů půdy [7]

Pro měření rezistivity půdy je možno použít několik druhů měření. Nejpoužívanější a schválenou metodou pro měření rezistivity půdy dle PNE 33 0000-1 je Wennerova metoda [3], kterou si popíšeme podrobněji. Další možností je Schlumbergerova metoda. Obě tyto metody využívají shodného základního principu, který je velice jednoduchý. Využívá se čtyřvodičové metody (měření malých odporů) obr. 2, kde vnější elektrody jsou proudové a vnitřní sondy napěťové. Proudovými elektrodami T_1 a T_4 necháme protékat střídavý nebo stejnosměrný proud, které způsobí v podzemní vrstvě tvorbu proudového pole. Pro homogenní (jedna vrstva půdy se shodnou hustotou) půdní podloží se utvoří symetricky rozložené proudnicové pole ve tvaru polokoule v okolí elektrody, jak lze vidět na ilustrativním nákresu obr. 2.



Obr. 2: Rozložení elektrického pole v homogenní půdě dle: [7]

Díky vnitřním napěťovým sondám T_2 a T_3 je pak možné určit úbytek (rozdíl) napětí mezi sondami a za pomoci známého proudu určit dle Ohmova zákona rezistivitu půdy mezi těmito sondami, jak popisuje následný vztah [7].

$$R = \frac{U_S}{I_E} [\Omega; V, A] \quad (1)$$

Měrný odpor půdy se následně pro homogenní vrstvu určí ze změřeného odporu a koeficientu závislého na vzdálenosti proudových a napěťových elektrod [7].

$$q_s = R * k [\Omega m; \Omega, m] \quad (2)$$

R.....naměřený odpor

k.....konfigurační konstanta, závisí na polovičním rozestupu sond d a elektrod λ

$$k = \frac{\pi}{2} \left(\frac{\lambda^2}{d} - d \right) [m; m, m] \quad (3)$$

Díky tvorbě polokulového proudového pole je patrné, že hloubka vniku siločár pole přibližně odpovídá poloviční vzdálenosti proudových elektrod od sebe. Této skutečnosti se využívá a pomocí vzdálenosti elektrod je možné proměřovat rezistivitu půdy pro různé hloubky, limitem pro maximální poloviční vzdálenost (hloubku vniku proudu) je pouze výkon proudového zdroje měřícího přístroje.

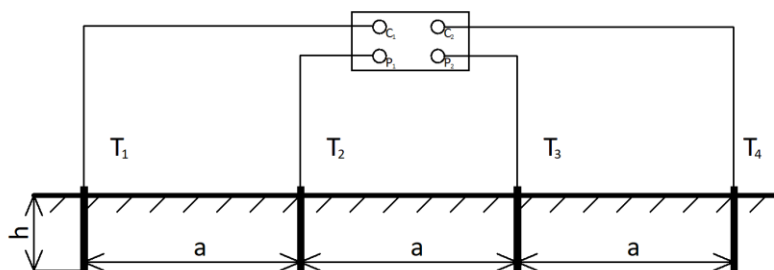
Pro nehomogenní vrstvy se tvar proudového pole deformuje na hranici různých materiálových vrstev půdy. Jejich přesné měření je obtížné, proto se používá měření

zdánlivého měrného odporu, které je totožné s měřením měrného odporu homogenní vrstvy.

Měření čtyřvodičovou metodou je možné používat ve dvou různých zapojeních.

2.1.1 Wennerova metoda

Proudové elektrody a napěťové sondy jsou umístěny v řadě tvořící jednu přímku, přičemž jednotlivé vzdálenosti sond jsou totožné ($T_1=T_2$; $T_2=T_3$; $T_3=T_4$). Sondy jsou nejčastěji tyče o průměru mezi 15 až 20 mm zaražené do podloží do hloubky 20 cm [3]. Při této metodě se při každém dalším měření zvyšuje rozestup elektrod a současně se i zvyšuje vzdálenost sond, čímž je zajištěn průzkum většího prostoru podloží [7]. S každým dalším měřením se zvyšuje i rozestup napěťových sond, a tedy se zvyšuje rozdíl potenciálů, který se lépe měří především v prostředích s vyšší rezistivitou, kde by Schlumbergerova metoda nemusela dávat validní výsledky, jelikož využívá napěťových sond blízko sebe a velikost rozdílu potenciálu by mohla být tak nízká, že měřicí přístroj by ji nezaznamenal. Z tohoto důvodu se preferuje tento způsob měření dle PNE 33 0000-1. Nevýhodou tohoto měření je nutnost měření rozteče napěťových sond.



Obr. 3: Měření rezistivity půdy Wennerovou metodou - T_1, T_4 proudové (vnější) elektrody a potenciálové elektrody T_2, T_3 (vnitřní) dle: [3]

Rezistivita na jednotku délky [Ωm] se určí ze vzorce citace [3]:

$$\rho = 2\pi * a * R [\Omega m; m, \Omega] \quad (4)$$

a.....vzdálenost elektrod

R.....naměřený odpor

Tohoto vzorce lze využít v případě, pokud hloubka elektrod h je mnohem menší než rozestup elektrod a [9]. Není-li možné tomuto požadavku vyhovět, například pokud je nutné elektrody zarazit hlouběji do podloží, jelikož horní vrstvy jsou špatně vodivé, je nutné výpočet korigovat pomocí vynásobení výsledku konfigurační konstantou k dle následující tabulky.

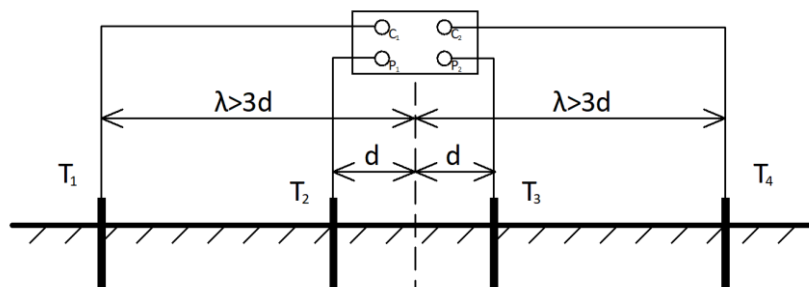
a/h	1/4	1/2	1	2	4	6	8	10	20	>20
k	2	1,9	1,7	1,3	1,1	1,05	1,03	1,02	1,01	1

Tab. 4: Korekční tabulka výpočtu rezistivity pro různé poměry rozestupu měřících elektrod a jejich hloubkou uložení [9]

Takto změřená hodnota rezistivity odpovídá průměrné hodnotě rezistivity půdy mezi elektrodami do hloubky srovnatelné s rozstupem elektrod a. Naměřená hodnota platí přesně pouze pro homogenní půdy.

2.1.2 Schlumbergerova metoda

„Časově méně náročná je Schlumbergerova metoda“ [3]. U Schlumbergerova zapojení musí být poloviční vzdálenost napěťových sond minimálně třikrát menší než poloviční vzdálenost proudových elektrod [7]. Elektrody jsou shodně s Wennerovou metodou uspořádány do jedné přímkové řady. Schlumbergerova metoda umožňuje díky konstantní vzdálenosti napěťových sond a proměnné vzdálenosti proudových elektrod přesněji stanovit místní hodnotu rezistivity a také přesně určit hloubku měření.



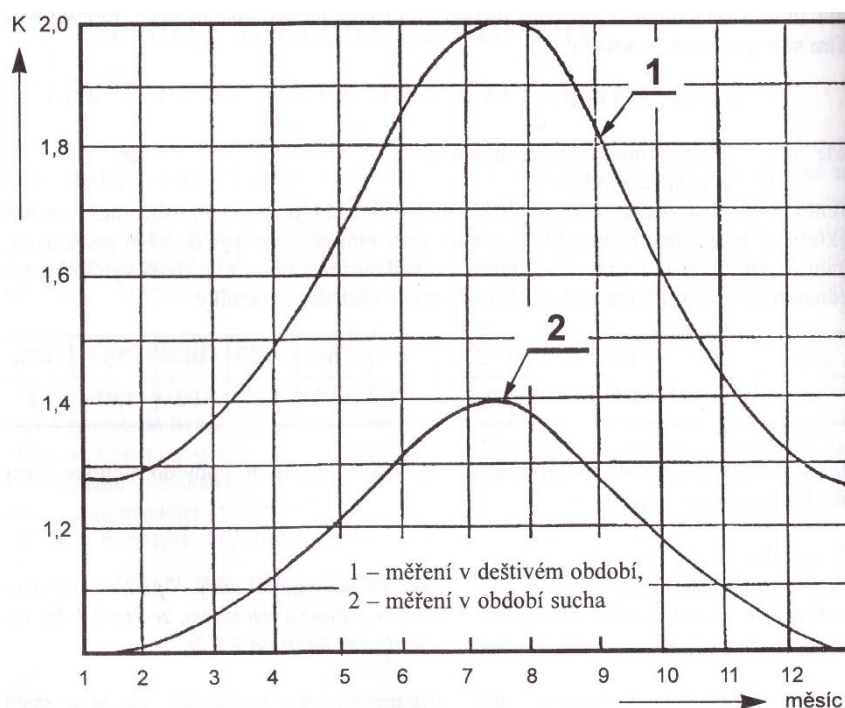
Obr. 4: Měření rezistivity půdy Schlumbergerovou metodou dle: [7]

Při dodržení požadavku $\lambda \geq 3d$ zvětšujeme vzdálenosti elektrod i sond, lze tak zkoumat stále vyšší rozsah podloží. Protože není nutné stále dodržovat konstantní rozestupy, je tato metoda rychlejší.

Nelze určit, která metoda je vhodnější, vždy záleží na konkrétním případě. Problém při měření pro obě metody nastává při měření extrémně nevodivých půdních prostředí, typicky písku, kde je těžké změřit úbytek napětí nebo naopak v extrémně dobře vodivých prostředích, kde je úbytek na sondách nízký.

Podloží je často tvořeno mnoha vrstvami půdy rozličných materiálů. Je běžné, že se hodnoty odporů skokově mění již při malé změně hloubky měření. Proto je nutné geoelektrickým měřením určit odpor a tloušťku každé vrstvy podloží a určit tak nejpříznivější hloubku zemniče. Rezistivita půdy kolísá v závislosti na ročním období,

proto se chyba eliminuje vynásobením experimentálně určeným koeficientem K , jehož velikost je určena v následujícím grafu 1.



Graf 1: Závislost činitele K na ročním období [9]

2.2 Měření zemního odporu uzemňovací soustavy

Pro měření odporu zemničů je obdobně jako u měření rezistivity půdy možné měření provádět různými metodami k tomu vyvinutými. Existuje mnoho metod, které poskytují rozdílně přesné výsledky, jsou také odlišně finančně i technologicky náročné. V praxi se využívají nejčastěji dvě metody, které jsou levné, časově nenáročné, nezávislé na odporu zemnicích sond, spolehlivé a v neposlední řadě odolné vůči vnějšímu rušení.

První z možností je metoda proud – napětí. Tato metoda je doporučena v PNE 33 0000-1, kde je popsán i přesný postup měření této metody krok za krokem.

Další možností je kompenzační metoda.

Méně využívanou metodou je metoda proud – výkon, která se využívá v případě malé hodnoty zemního odporu nebo možností rušení cizím proudem. Zde se pomocí wattmetru měří výkon a proud, ze kterých se dopočítá zemní odpor.

2.2.1 Metoda proud - napětí

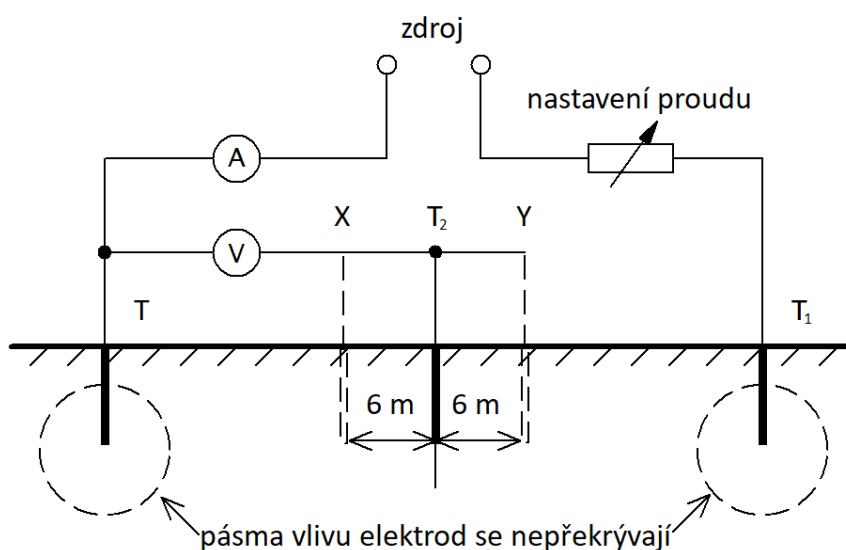
Tato metoda je popsána v PNE 33 0000-1 i s postupem měření.

Měřeným zemničem je zde zemnič T , kterým protéká ustálený zemní střídavý proud, který se uzavírá přes pomocný zemnič T_1 , přičemž vzdálenost těchto zemničů musí být dostatečně velká, aby se navzájem neovlivňovaly. Dále je nutné využít i druhého

pomocného zemniče T_2 (dostačuje i hrot zaražený do země), který se umístí zhruba doprostřed mezi zemniče T a T_1 . T_2 může být hrotový zemnič. Běžné rozestupy zemničů jsou pro rozstup T od T_1 40 m a pro T od T_2 25 m [3]. Proudový zdroj je galvanicky oddělen od sítě, a pokud pracuje se síťovou frekvencí měření napětí, musí zajišťovat voltmetr s velkou vnitřní impedancí alespoň 200 Ω/V [3].

Odpor zemniče je určen z napětí mezi měřeným zemničem T a pomocnou elektrodou T_2 a proudem protékajícím mezi elektrodami T a T_1 . Výsledný odpor je dle typu možné odečíst přímo z přístroje nebo dopočítat pomocí Ohmova zákona z údajů voltmetru a ampérmetru zapojených dle obr. 5.

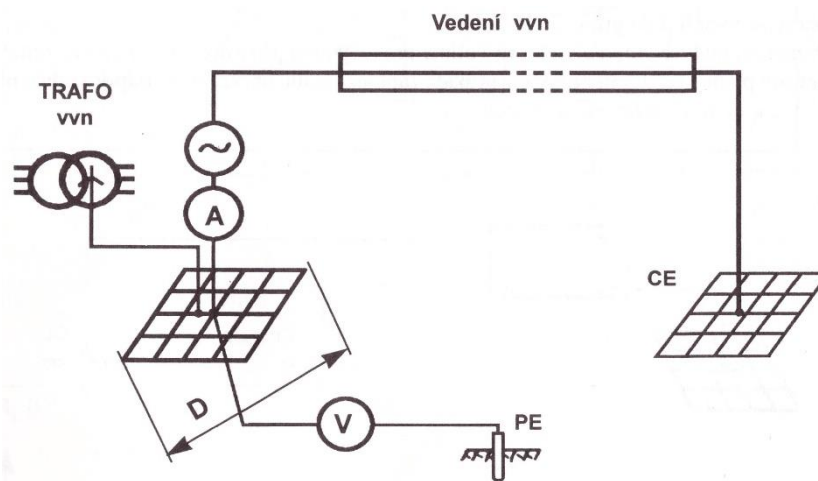
Pro ověření správnosti výsledků se měření provádí celkem třikrát, a to vždy s posunutou prostřední elektrodou. V případě podobných výsledků všech tří měření jsou tyto výsledky zprůměrovány a výsledná hodnota je považována za skutečný změřený zemní odpor. Pokud se tyto výsledky od sebe liší, musí následovat další měření. Proto se pro potlačení vzájemného ovlivňování elektrod T a T_1 musí zvýšit jejich vzdálenost, aby se navzájem neovlivňovaly. Při prvním měření je elektroda umístěna dle požadavků popsaných výše, při druhém měření je posunuta elektroda T_2 o 6 m blíže k měřené elektrodě T (pozice X) a při třetím měření se T_2 posune od své výchozí polohy 6 m na druhou stranu k elektrodě E_1 (pozice Y).



Obr. 5: Zapojení při měření metody proud – napětí dle: [3]

Metody proud - napětí se nejčastěji využívá při měření rozlehlých elektrických stanic. Pro toto měření se využívá upraveného postupu měření a schématu zapojení dle obr. 5. Napájecí zdroj se připojí k měřenému uzemnění v blízkosti uzemnění uzlu transformátoru. Pro druhou proudovou elektrodu CE se využívá uzemnění sousední elektrické stanice. V případě, že je tato sousední stanice blíže než 5 km, musí se v měřené stanici odpojit zemničí lano. Pro rozsáhlé stanice je nutno měřit velkými proudy. Velikost proudu se nastaví dle příslušné rozlohy elektrické stanice a rušivého signálu v okolí, přičemž běžný měřicí rozsah se pohybuje v rozmezí 10 - 20 A nebo je možné využít zdroje s frekvencí blízké síťové (50 Hz), avšak ne stejné hodnoty frekvence. Umístění napěťové sondy je nutné zvolit umístit minimálně do pětinasobku

větší vzdálenosti, než je rozloha uzemnění ve stanici ($5 \times D$) tak, aby nejlépe byla kolmo na směr vedení mezi proudovými elektrodami.



Obr. 6: Uspořádání měřicího obvodu při měření zemního odporu elektrické stanice při velkém měřícím proudu [9]

Zemní odpor R_Z se stanoví ze vztahu:

$$R_Z = \frac{U_m}{r \times I_m} \quad [\Omega; V, -, A] \quad (5)$$

U_m naměřené napětí [V]

I_m měřící proud [A]

r redukční činitel vedení použitého k elektrodě CE dle materiálu a typu vedení (pohybuje se v rozmezí od 0,42 do 0,93 [9]) [-]

2.2.2 Kompenzační metoda

K měření je využíváno speciálních přístrojů. Tyto přístroje měří malým proudem s nízkou frekvencí, která je rozdílná od síťové frekvence 50 Hz. Zdroj proudu je implementován přímo do přístroje. Dle typu (stáří) přístroje je ke generování využíván induktor poháněný ručně, kde rychlost otáčení klíčky určuje frekvenci nebo u novějších typů je zdrojem energie baterie s měničem. Tato metoda je vhodná pro méně rozlehlé zemniče s vyšším zemním odporem než asi $0,5 \Omega$ [9].

Pro názorný popis principu metody je dostatečné vysvětlení popisu funkce starých analogových přístrojů využívajících nulový indikátor. Tento princip je popsán v publikaci Václava Novotného „Uzemnění a jeho měření“. Proud generovaný zdrojem proudu teče přes zvolenou odbočku do primárního vinutí transformátoru proudu. Tento proud následně proudí do země přes měřený zemnič E_1 a proud se vrací přes pomocný zemnič E_2 zpět ke generátoru. Přístroj obsahuje nulový indikátor, který se ladí pomocí potenciometru, tak aby v prostoru sond S_1 a S_2 neprocházel proud. V takovém případě platí:

$$I_1 R_A = I_2 a R \quad (6)$$

Vzorec pro kompenzační metodu

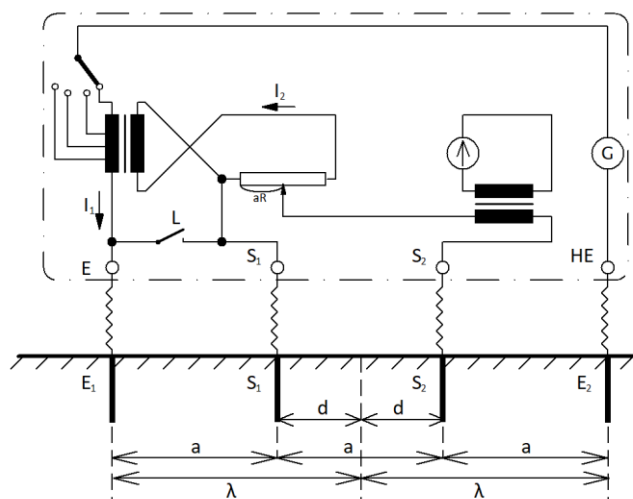
I_1proud generátoru (tekoucí primárním vinutím transformátoru proudy) [A]

I_2proud sekundárního vinutí transformátoru proudy [A]

R_Ahledaný zemní odpor [Ω]

aRnastavená hodnota odporu na jezdcí potenciometru [Ω]

Jak z výše uvedené rovnice vyplývá, nastavený podíl odporu aR je přímo úměrný odporu R_A v závislosti na převodu proudového transformátoru $p = I_1/I_2$. Díky této úměře je možné bez přepočtů přímo z přístroje zjistit hledaný zemní odpor. Další výhodou je necitlivost vůči velkým zemním odporům sond a pomocných zemničů [7]. Pro geoelektrická měření měrného odporu půdy jsou vždy nutné čtyřbodové metody, pro měření zemních odporů dostačují 3 svorky. Pro měření větších zemních odporů nad 1 Ω se propojí pomocí spínače L svorky E a S_1 (zkratovací můstek). U přesných měření nebo v případě malých zemních odporů pod 1 Ω již měření ovlivňuje odpor zkratovací svorky, který dosahuje přibližně desetiny Ω . V takovém případě je k měřenému zemniči přivedeno napětí ze dvou přívodů ze svorek E a S_1 [7].



Obr. 7: Zapojení induktorového měřicího mostu dle: [7]

2.3 Zemniče

Zemniče zajišťují vodivé propojení uzemňovací soustavy pomocí spojení zemních elektrod s velkou masou podloží. Proto je na materiál kladen speciální důraz na trvanlivost a odolnost. Tyto požadavky definují minimální rozměry zemničů. „Zemniče, které jsou v přímém kontaktu se zemí, mají být z materiálu odolného proti korozi (chemickému nebo biologickému napadení, oxidaci, tvorbě elektrolytických článků, elektrolýze atd.).“ [3]

Materiál	Minimální povolený průřez
měď	16 mm ²
hliník	35 mm ²
ocel	50 mm ²

Tab. 5: Minimální průřezy pro mechanickou a korozní odolnost uzemňovacího přívodu Převzato z: [3]

Pokud zemničem neprochází proud, má zemnič potenciál země, který je definován jako součin proudu a rezistivity půdy. S rostoucím proudem tedy roste rozdíl potenciálů mezi zemničem a zemí (zvyšuje se napětí zemniče proti zemi). „Ze zemniče se proud rozptyluje do okolní země, prochází větší a větší hmotou půdy, a proto napětí proti zemi klesá“ [7].

Pro správný návrh je nutné docílit nízkého odporu zemniče. Celkový odpor uzemnění je definován tvarem a velikostí zemniče a elektrickými vlastnostmi půdy v okolí. Pro vhodné rozdělení napětí v podloží tak, aby nedocházelo k ohrožení živočichů na zemském povrchu vlivem rozdílných potenciálů, je nutné navrhnout dostatečně rozměrný a vhodně uspořádaný uzemňovací systém.

Zemniče je možné rozdělit do dvou základních skupin:

- zemniče náhodné (přirozené)
- zemniče strojené

2.3.1 Zemniče náhodné

Jedná se o vodivé (kovové) předměty, které se užívají primárně z jiného důvodu nežli k uzemnění. K uzemnění se využívají, jsou-li náhodou k dispozici v místech, kde by se jich dalo využít i k tomuto účelu a majitel příslušného zařízení dovolí jejich použití pro tyto účely. Nejčastěji se k tomuto využívají železobetonové konstrukce budov. Z důvodu nesouhlasu vodárenských společností a nově instalovaných nevodivých potrubí není možné využívat starší vodivé typy potrubí. Taktéž není možné využívat potrubí pro hořlaviny (zemní plyn) [9].

Jestliže je možné využít náhodných zemničů pro uzemnění, je to potřeba provést tak, aby byly splněny nároky na uzemnění v souladu s normou. To obnáší dostatečně malý zemní odpor, jistotu, že spojení se zemničem nebude přerušeno a ekonomickou efektivnost. Je žádoucí primárně využívat tento způsob zemnění [9].

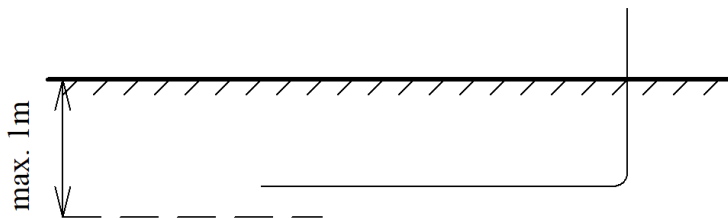
Náhodný základový zemnič u železobetonové konstrukce se tvoří svařením armovacího prutu ležícího co nejbližší vnějšímu povrchu po obvodu základů tak, aby vznikla mřížová síť nebo obvodový kruh. Je nutné uvážit minimální průřezy materiálu s ohledem na korozivní účinky.

2.3.2 Zemniče strojené

Zemniče strojené na rozdíl od náhodných zemničů jsou vytvořeny pouze pro účel uzemnění. Pro přivedení elektrického proudu do země se využívají různé druhy

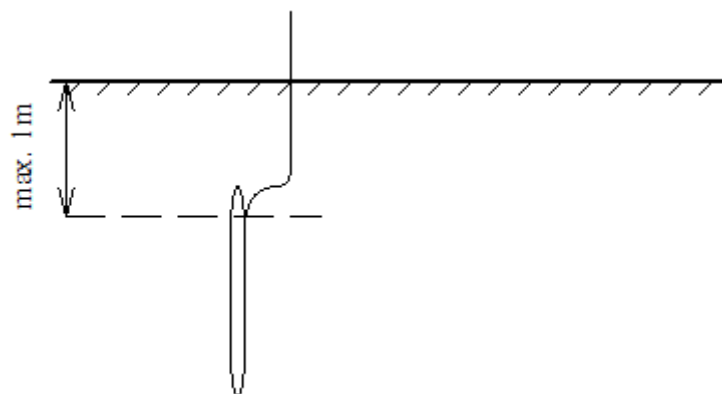
elektricky vodivých materiálů a tvarů. Patří sem desky, tyče, trubky, pásy, drátky a další tvary. Zemniče je dále možné rozdělit dle jejich hloubky zapuštění pod povrch na:

- 1) povrchové - vodorovné (horizontální) uspořádání, tyto vodiče jsou uloženy do maximální hloubky 1 m pod povrch, nejčastěji se využívá pásků a drátů



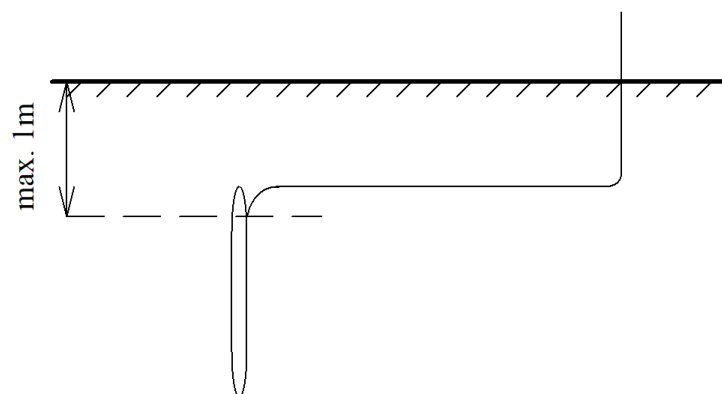
Obr. 8: Zemnič povrchový dle: [7]

- 2) hloubkové – svislé (vertikální) hlubší uložení pod 1 m pod povrch, nejčastěji se využívá tyčových zemničů



Obr. 9: Zemnič hloubkový dle: [7]

- 3) kombinované – kombinují oba druhy zemničů nebo se jedná o více elektrod jednoho druhu



Obr. 10: Zemnič kombinovaný dle: [7]

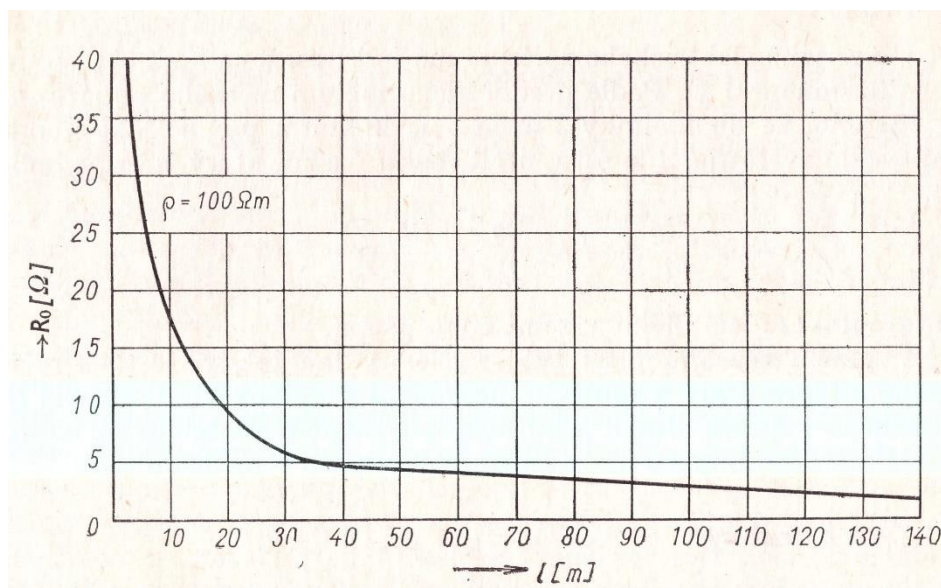
2.3.2.1 Typy strojených zemničů

Pásy a dráty

Využívají se nejčastěji jako horizontální zemniče v případě, že bylo měřením zjištěno, že vrchní vrstva půdy do 1 m pod povrchem je nejvíce vodivá. Je nutná mechanická i korozní odolnost, proto se jako materiál využívá nejčastěji pozinkovaná ocel ve formě pásků nebo drátů. Pokud je zvýšená agresivita podloží, je s výhodou využívána chemicky odolnější měď.

Pásy mají oproti drátům menší odpor, ale také mají větší plochu vystavenou korozivním účinkům. Výhodou drátků je taktéž jednodušší instalace, což se projeví i na příznivější ceně [7]. Hloubka uložení vodičů má být v rozmezí od 60 do 80 cm. Pokud se kladou zemniče společně s kabely, ukládají se na dno výkopu minimálně 10 cm od kabelů [9].

Se zvyšující délkou zemniče klesá zemní odpor, jak znázorňuje graf. 2. Z průběhu je patrný prudký pokles odporu s rostoucí délkou zemniče přibližně do 30 m délky, ale strmost postupně klesá a pro délky delší než 50 m se již téměř nemění. Z tohoto důvodu se předepisuje zemnič o délce 50 m nebo dva zemniče každý o délce 25 m. Zemní odpor je pak pod úrovní 5 Ω , čímž se splní maximální možná velikost zemního odporu R_A (max. 5 Ω) dle požadavků PNE 33 0000-1.



Graf 2: Vliv délky pásku na zemní odpor [7]

Zemní odpor lze určit dle vzorců níže za předpokladu, že platí, že průměr drátu d je podstatně menší než hloubka uložení h , a ta je zároveň podstatně menší než délka vodiče uloženého v zemi.

- Zemní odpor pásku

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{4l}{a} + \ln \frac{l}{2h} \right) [\Omega; \Omega m, m, m, m] \quad (7)$$

a.....šířka páskového vodiče [m]

l.....délka vodiče uloženého v zemi [m]

h.....hloubka uložení v zemi [m]

ρ měrný odpor půdy [Ωm]

- Zemní odpor drátu

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2h} \right) [\Omega; \Omega m, m, mm] \quad (8)$$

d.....průměr drátu [m]

- Zjednodušený zemní odpor drátu

Vzorce je možné zjednodušit při dosazení běžných hodnot průměr $d=10$ mm, průměrná délka uložení $l = 20$ m s hloubce uložení $0,5$ m do tvaru:

$$R_0 = \frac{2\rho}{l} [\Omega; \Omega m, m] \quad (9)$$

Tyče a trubky

Tyčí a trubek se nejčastěji využívá pro hloubkové zemniče, a to v případech, kdy nižší vrstvy půdy mají větší vodivost než vrstvy blízko u povrchu. Jako materiál zemničů se opět nejčastěji využívá pozinkovaná ocel. Pro dlouhé zemniče (cca 10 m), které se zatloukají do země se využívá nepozinkovaných tyčí, které musí mít velký průměr, aby vyhověly životnosti pro vyšší korozi. V tomto případě nemůže být využito pozinkované oceli, jelikož by se při zatloutání do země narušila slabá vrstva zinku, která by neplnila již svůj účel.

Zemní odpor tyče, stejně jako odpor trubkového zemniče, je definován:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} [\Omega; \Omega m, m, m] \quad (10)$$

d.....vnější průměr trubky, průměr tyče [m]

Pokud opět zjednodušíme tvar na parametry běžných zemničů, dostáváme tvar:

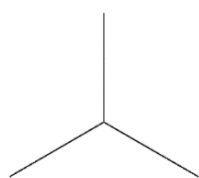
$$R_1 = 0,8 \text{ až } 0,9 \frac{\rho}{l} [\Omega; \Omega m, m] \quad (11)$$

Z porovnání odporů povrchového a hloubkového uzemnění, jak lze vidět ze zjednodušených vzorců (9 a 11), je možné dosáhnout totožného zemního odporu s hloubkovým zemničem o poloviční délce oproti horizontálnímu zemniči. Spodní vrstvy půdy jsou většinou více vodivé, což také napomůže ke zkrácení délky vertikálního zemniče. Vlivem menších rozměrů se uspoří finanční náklady za materiál a instalace zařízení je i jednodušší a rychlejší. Další výhodou hloubkových zemničů je jejich konzistentní chování v průběhu celého roku, neboť nejsou ovlivňovány

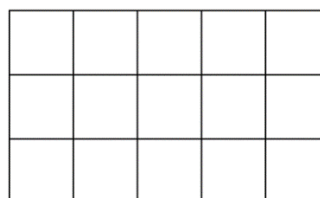
venkovním počasím. Hloubkové zemniče kladou menší nároky na zábor prostranství a jejich instalace je vhodnější v městských aglomeracích nebo v místech, kde by mohlo dojít k narušení povrchového zemniče (pole, louky) [7].

Sdružené zemniče

Pro dosažení požadovaného zemního odporu často nepostačuje využití jedné elektrody, proto je nutné spojit několik elektrod paralelně. Pro dodržení parametrů uzemnění je nutné, aby se vzájemně elektrody neovlivňovaly, proto se u horizontální sítě pásky (drátky) kladou minimálně 1 m od sebe. Protože se elektrody stále vzájemně ovlivňují, odpor uzemnění je vyšší než odpor jednotlivých zemničů. Proto není ekonomicky únosné přidávat další materiál při menších rozestupech elektrod, neboť pokles hodnoty odporu by nebyl markantní. Pouze v případě velkých distancí mezi elektrodami, kdy se navzájem neovlivňují, by byl odpor složen z odporů jednotlivých elektrod [7]. Aby se dostatečně zamezilo vzájemnému ovlivňování horizontálních zemničů, je vhodné zajistit minimální vzdálenost rovnou dvojnásobku jejich délky. Páskové (drátové) vodiče se nejčastěji spojují do hvězdicového nebo do mřížového tvaru.



Hvězdicové uspořádání



Mřížové uspořádání

Obr. 11: Tvary uspořádání drátových zemničů dle: [7]

3 Vliv ostatních inženýrských sítí v městské aglomeraci na uzemnění

Uzemnění veřejné distribuční sítě může být ovlivněno různými dalšími konstrukcemi uloženými do půdy. Z důvodu velké integrace těchto zařízení do městských oblastí je nutné jejich vliv na tomto území ještě více uvážit. Tato práce se soustřeďuje na vliv dalších inženýrských sítí a liniových staveb a zejména se zaměřuje na problematiku trakce kolejové i nekolejové, která je ve velkých městech velice rozšířená.

3.1 Elektrické trakční soustavy

V městské aglomeraci se vyskytují mnohé druhy trakčních zařízení, mezi něž obecně patří vlaky, metro, tramvaje a trolejbusy. Každý z výše uvedených druhů má svá specifika bezpečného provozu, rozdílné napěťové systémy a v neposlední řadě rozličné způsoby napojení na napájecí síť. Z důvodů těchto specifických odlišností se také liší metodiky způsobu uzemnění.

Železnice

V poslední letech se začíná zvyšovat počet přepravených osob po železnici. Železniční síť je součástí téměř každého města, avšak elektrifikované tratě mají i své požadavky na napájení z veřejné distribuční sítě. V ČR jsou celkem provozovány tři napěťové soustavy. Stejnoseměrná trakce o napětí 1,5 kV je již historicky provozována pouze na trati 202 Tábor – Bechyně. O napájení oblasti severních Čech se stará stejnosměrný 3 kV systém a na většině naší republiky převládá střídavá elektrifikace o napětí 25 kV a frekvenci 50 Hz. Opět je i ve střídavé trakci jedna specifická trať 248 napájena 15 kV o frekvenci 16,7 Hz z důvodu napojení na Rakouské železnice. Železniční trakční měničky (TM) jsou napájeny pro svou velkou spotřebu z distribuční sítě 110 kV. Hustota napájecí sítě je závislá na volbě napájecího napětí a hustotě provozu. Stejnoseměrné sítě 3 kV jsou provozovány na nižší napěťové úrovni, která je tak zatížena vysokými trakčními proudy a tím souvisejícím vysokými ztrátami [8]. Z tohoto důvodu je nutné budovat hustší napájecí síť oproti střídavé síti 25 kV. Střídavé trakční soustavy jsou dnes preferovány, i když mají i některé nevýhody (nerovnoměrné zatížení DS, složitější výzbroj lokomotiv atd.).

Metro

Tento druh kolejových vozidel je v ČR provozován výhradně na území hlavního města Prahy. K přívodu elektrické energie je využito trakční kolejnice, ze které se pomocí sběračů na nápravách jednotlivých segmentů odebírá proud. Trakční kolejnice je umístěna pod hranou nástupiště v bezpečné vzdálenosti a je překryta z vrchu a ze stran v oblasti stanic krytem dle požadavků ČSN EN 50122 - 1 (Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Elektrická bezpečnost, uzemňování a zpětná obvod - Část 1. Ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem). Jestliže není možné v dílnách kolejových vozidel zajistit krytí přívodní kolejnice, je zakázáno užívat tento systém a musí se nahradit jiným způsobem například trolejovým vedením. Napájecí systém je stejnosměrný 750 V, na napájecí kolejnici je přiveden kladný pól a jízdni kolejnice jsou

využity jako zpětný vodič záporné polarity. Síť metra a železniční sítě se provozují jako oboustranně napájené [8].

Tramvaje

Tramvajová přeprava je dnes již rozšířenou městskou dopravou větších měst. Celkem je v ČR osm měst s touto kolejovou dopravou, mezi nejrozsáhlejší patří pražská, ostravská, brněnská a plzeňská síť. O napájení se stará shodně trakční 600 V stejnosměrná síť. Jednotlivé dopravní podniky se však liší v polaritě. Časté uspořádání, které využívá například DPMB je záporný pól na troleji a kladný pól na kolejích, avšak je taktéž možné provozovat trakci v opačném uspořádání po vzoru DPP. Uspořádání se záporným pólem na troleji minimalizuje účinky bludných proudů [8]. Tramvajové a trolejbusové sítě jsou řešeny jako paprskové napájené z jedné strany [8].

Trolejbusy

Jedná se o nejrozsáhlejší typ elektrifikované městské dopravy v ČR. Celkem 13 měst provozuje trolejovou dopravu. Od roku 2017 se přidává do výčtu opětovně i pražský Dopravní podnik, který se rozhodl testovat tento způsob dopravy ve zkušebním režimu. DPP provozoval již dříve (do roku 1972) trolejbusovou dopravu, kterou nahradil zejména dopravou tramvajovou z důvodu úspory energie a větší přepravní kapacity. Další nevýhodou je složitější systém trolejového vedení. Trolejbusová doprava se jeví jako perspektivní „bezemisní“ alternativa k autobusové dopravě ve městech napříč Evropou. Je napájena dvojitou trolejí o shodném napětí 600 V jako u tramvajů. Trolejbusová síť využívá dvojici trolejí, jedna trolej je napájecí a druhá plní funkci zpětného vodiče, pomocí kterého se uzavírá obvod zpět do měničny elektrické energie.

3.1.1 Bludné proudy

Jedním z největších problémů stejnosměrné trakce je problematika bludných proudů. Bludné proudy jsou elektrické proudy procházející vodivým prostředím (voda, půda), které pocházejí z nedostatečně izolovaného elektrického zařízení od tohoto prostředí nebo využívají země jako zpětného vodiče. Bludné proudy způsobují korozi kovových částí staveb vlivem průchodu elektrického proudu stavbou, která je umístěna do prostředí s přítomností elektrických polí. Rychlost koroze je dána velikostí protékajícího elektrického proudu, elektrochemickými a mechanickými vlastnostmi postiženého objektu. Koroze je dále často podporována dalšími vlivy způsobující rychlejší degradaci (rozložení) materiálu (přítomnost chloridů, porušení celistvosti materiálu stavby atp.) [10].

Bludné proudy lze rozdělit dle původu na:

- bludné proudy stejnosměrné,
- bludné proudy střídavé.

Zdrojem bludných proudů jsou nejčastěji [10]:

- železniční, tramvajové a speciální dráhy (metro),
- elektrizované důlní dráhy se stejnosměrnou proudovou soustavou,

- jednofázové trakční soustavy využívající kolejnic jako zpětného vodiče pro trakční proud,
- katodické stanice aktivních ochran,
- stejnosměrné rozvody ve výrobních provozech (galvanovny, výroba chloru, hliníku atd.),
- střídavé trojfázové systémy s uzemněným pracovním vodičem.

V případě nedostatečného odizolování od země mohou kovové i betonové části staveb vést značnou část proudu, který může dosahovat až desítek A [10].

Vlivem průchodu proudu dochází k elektrolyze. Půda či voda (elektrolyt) obsahuje díky disociaci (štěpení molekul na ionty a radikály) směs kationtů a iontů. Vlivem průchodu stejnosměrného proudu nastává pohyb záporných iontů ke kladné elektrodě a kladných iontů k elektrodě záporné. Ze záporné elektrody (katody) se při elektrolyze uvolňuje kov. V tomto případě se rozpouští železná konstrukce do okolní půdní struktury. Hmotnostní úbytek elektrody lze určit z prvního Faradayova zákona elektrolyzy s využitím druhého Faradayova zákona elektrolyzy [11].

$$m = A * Q = A * I * t \text{ [kg; kg} \cdot \text{C}^{-1}, \text{C, A, s]} \quad (12)$$

m.....hmotnost vyloučené látky

A.....elektrochemický ekvivalent látky

Q.....elektrický náboj

I.....elektrický proud

t.....doba průchodu proudu

Elektrochemický ekvivalent látky je dán druhým Faradayovým zákonem elektrolyzy.

$$A = \frac{M_m}{F * v} \text{ [kg} \cdot \text{C}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}, \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}, -] \quad (13)$$

M_m.....molární hmotnost látky (Fe=0,055845 kg.mol⁻¹)

F.....Faradayova konstanta (F=9,65*10⁴ C.mol⁻¹)

v.....počet elektronů, které jsou nutné k vyloučení jedné molekuly (kolikavazný je prvek)

Pro teoretický příklad korozivního úbytku vlivem bludného proudu pro železný materiál (v=2 => dvouvalný.), na který působí bludný proud o velikosti 1 A po dobu jednoho roku lze vypočítat:

$$A = \frac{M_m}{F * v} = \frac{0,055845}{9,65 * 10^4 * 2} = 2,8936 * 10^{-7} \text{ [kg} \cdot \text{C}^{-1}] \quad (14)$$

$$m = A * I * t = 2,8936 * 10^{-7} * 1 * 31536000 = \mathbf{9,12} \text{ [kg} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (15)$$

3.1.2 Napájení trakčních systémů

V distribuci elektrické energie se dělí sítě dle způsobu uzemnění. Pro drážní zařízení se využívá především sítí TN a TT, dále lze využít i IT soustavy [12].

V oblasti trakční instalace se taktéž může nacházet netrakční instalace, která je spojena se zpětným obvodem. Takovými obvody jsou například veřejné distribuční vedení, osvětlovací soustavy, drážní zabezpečovací systémy. Opět je nutné chránit zařízení před nepřímým dotykem samočinným odpojením od zdroje a neživé vodivé části připojit na vodič PE [12]. To neplatí u elektrických zařízení třídy ochrany II. Netrakční odběry jsou napájeny nejčastěji z distribuční sítě nízkého a vysokého napětí nebo z trakčního vedení. Je nutné oddělení uzemňovacích soustav distribuční sítě a drážní sítě.

Strana distribuce		Strana dráhy	
Druh napájení	Vlastnosti	Použitá soustava	Podmínky
Distribuční síť nízkého napětí	Nulový nebo střední vodič není spojen s drážní zemnicí soustavou	TT soustava	RCD
		TN soustava	Oddělovací transformátor
Vysoké napětí	Nulový nebo střední vodič není spojen s drážní zemnicí soustavou	TN soustava	Samostatný vysokonapěťový transformátor připojený na drážní zemnicí soustavu
		TT soustava	Samostatný vysokonapěťový transformátor nepřipojený na drážní zemnicí soustavu a RCD
Napájení z trakčního vedení	Střední vodič je spojen se zpětným obvodem nebo s drážní zemnicí soustavou	TN soustava	Samostatný transformátor připojený na drážní zemnicí soustavu nebo DC/AC měnič

Tab. 6: Druhy soustav pro napájení netrakčních odběrů dle ČSN EN 50122 - 1 ed.2

3.1.3 Ochrana před úrazem elektrickým proudem pro systémy nevyužívající kolejnic jako zpětného vodiče

Jedná se o systémy, které nevyužívají jízdních kolejnic jako zpětného vodiče. V bezporuchovém provozu jízdní kolejnicí neprotéká proud. Pro vedení zpětného proudu využívají izolované vodiče (např.: trolejbusy) [12]. Pokud může dojít při poruše výzbroje vozidla k propojení živé části s jízdní kolejnicí, musí se dát toto zemní spojení v případě, že není odpojeno drážním vozidlem, samočinně odpojit v napájecí stanici. Včasné odpojení zemního spojení je nutné k omezení rozšiřování počtu zemních

spojení a zvyšování nedovoleného dotykového napětí, taktéž pro omezení nadměrného tepelného namáhání uzemňovacích vodičů.

Trolejbusové napájení lze provozovat dvěma způsoby. Prvním způsobem je využití neuzemněné soustavy. V takovém případě je nutné mít zařízení pro měření izolačního stavu mezi trolejovými vodiči a trolejí a zemí. Druhou možností je provozování uzemněného systému. Pokud je na uzemněném vodiči zařazen vypínač, je v takovém případě nezbytné pro bezpečnost vybavit vypínačem i druhý (napájecí) trolejový vodič tak, aby pomocí blokace nemohlo dojít k vypnutí vypínače na uzemněném vodiči dříve, než dojde k rozepnutí napájecího vodiče. Uzemnění tohoto systému musí být vytvořeno pouze na jednom místě daného napájecího úseku a od dalších úseků musí být izolováno [12].

3.1.4 Ochrana před nepřímým dotykem a nedovoleným potenciálem kolejnice

Pro dodržení elektrické bezpečnosti trakční soustavy je preferována ochrana propojením se zpětným obvodem, který v případě závady odvede poruchový proud a zajistí samočinné odpojení napájení.

Neživé části trakčního i netrakčního rozvodu instalované v oblasti trolejového vedení musí být přímo připojeny ke zpětnému obvodu ve střídavých trakčních soustavách. Naopak tyto rozvody ve stejnosměrné trakci nesmí být z důvodu rozšiřování bludných proudů (zvýšení koroze prvků) přímo spojeny se zpětným obvodem, ale je nutné využít zařízení omezující napětí (VLD), které vyhodnocuje velikost dovoleného dotykového napětí a v případě překročení dotykového napětí propojí neživé části se zpětným obvodem. Vodiče PE musí být dostatečného průřezu, aby se nepřehřívaly jejich izolace průchodem zpětného proudu. Pokud se v oblasti nachází zařízení s třídou ochrany II, musí vydržet přepětí rovné napětí trakční sítě a zároveň se toto zařízení nesmí uzemnit. [12]

Stožáry pro trakční vedení jsou uzemněny, avšak je možné pro nízké napětí stejnosměrné trakce s dvojitou nebo zesílenou izolací stožáry neuzemňovat.

Pro omezení potenciálu koleje je nutné dostatečné uzemnění zpětného obvodu tak, aby nebyly překročeny maximální dovolené hodnoty dotykového napětí. Pro stejnosměrnou trakci v místech s častým výskytem osob (např.: nástupiště) musí být navíc instalováno zařízení omezující napětí. Speciálním prostředím jsou taktéž dílny a depa s DC soustavou. Zde je přípustné i přes vyšší výskyt bludných proudů pouze přímo uzemnit zpětný obvod pro omezení dotykových napětí [12].

3.1.5 Speciální ochrany v trakčních soustavách

Střídavá trakce

Jízdní kolejnice se propojují s uzemněnými technologiemi a stavebními prvky (např. železobetonové konstrukce, mosty, tunely, základy napěťových stožárů apod.). Průchod zemního proudu může ovlivňovat správnou funkci zabezpečovače tratě, proto je možné do tohoto obvodu zařadit tlumivku, která omezí rušení. Spínací a napájecí

stanice ve střídavé trakci musí mít svůj uzemňovací systém napojen na zpětný obvod. Pro ochranu neživých částí v oblasti trolejového vedení musí být ochranný vodič dostatečně dimenzován, aby převedl zkratový proud. Pokud obvod nedisponuje preferovanou ochranou proudovým chráničem a napětí (potenciál) jízdních kolejnic překročí bezpečnou hodnotu dotykového napětí (>50 V), musí být pomocí nadproudové ochrany současně s přerušením fázového vodiče odpojen i vodič střední. Z tohoto důvodu není přípustné používání pojistek.

Stejnoseměrná trakce

Jak již bylo poznamenáno dříve, nemohou být jízdní kolejnice stejnosměrné dráhy přímo spojeny s hlavní ekvipotenciální přípojnici napájecí soustavy pro omezení bludných proudů. Stínění, pancéřování nebo kovové pláště DC napájecích kabelů se izolují od země, pokud jsou tyto kabely připojeny ke zpětnému obvodu. Ne vždy je však technicky proveditelná izolace těchto částí. V takovém případě musí být zabráněno nedovolenému dotykovému napětí těchto částí.

Obdobně jako u střídavé napájecí soustavy je preferovaná ochrana proudovými chrániči, pokud netrakční soustava není tímto způsobem ochrany vybavena, je taktéž nutné použít nadproudový přístroj, který současně vybaví fázový a nulový vodič. V dílnách, kde jsou izolovány jízdní kolejnice od ekvipotenciální přípojnice, mohou být koleje přímo uzemněny, aby se snížila velikost dotykového napětí. Pokud probíhá údržba (oprava) drážních vozidel stojících na jízdních kolejnicích za pomoci zařízení s třídou ochrany I, musí být tyto spotřebiče napájeny z drážní rozvodné sítě přes proudové chrániče nebo oddělovací transformátory.

3.1.6 Připojení uzemňovacích vodičů a zpětného obvodu

Zpětná vedení musí být řešena tak, aby bez negativních vlivů byla schopna, s ohledem na spolehlivost a bezpečnost provozu, převádět zpětné, rekuperační, ale i zkratové a jiné proudy zpět do elektrické stanice [8]. Napájecí elektrická stanice musí být propojena se zpětným obvodem. Její zpětná přípojnice musí být připojena ke zpětné kolejnici, jízdní kolejnici nebo nejméně dvěma zpětnými kabely [10]. Pokud se napojuje zpětný obvod přes jízdní kolejnice, využívá se nejméně dvou propojovacích kabelů tak, aby byla zajištěna funkce i v případě přerušení jednoho z nich. Z důvodu mechanické pevnosti musí všechny vodiče připojené ke kolejnicím mít minimální průřez 50 mm^2 [10]. Pro stejnosměrné dráhy se musí využívat izolovaných vodičů. Zpětný obvod nesmí obsahovat pojistky, neuzamykatelné spínače ani spojky zpětného obvodu, které lze uvolnit bez použití nástroje. Těmito opatřeními se má zabránit vypnutí zpětného obvodu před vypnutím napájení. Vodiče a zemniče nepřipojené ke zpětnému obvodu jsou dimenzovány se zřetelem na tepelné účinky, mechanickou pevnost a korozi dle požadavků ČSN EN 50122 - 1. Ve stejnosměrných trakčních soustavách navíc musí tyto vodiče být dimenzované s ohledem na maximální zkratový proud a dobu odpojení této poruchy v daném místě.

Odpor zpětné cesty musí být co nejmenší, aby negativní vlivy zpětných proudů (nebezpečná dotyková napětí, potenciál mezi zemí a kolejí) nepřevyšovaly dovolené

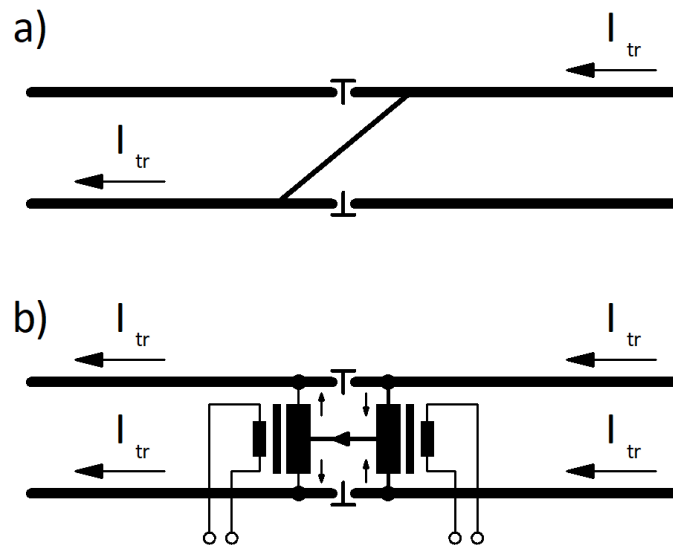
hodnoty. [8] Pro zajištění spolehlivého elektrického propojení jsou jízdni kolejnice protékány zpětným proudem v místech mezikolejového propojení, výhybek a kolejových křižovatek přemostěny stykovými kolejnicovými propojkami. Pokud jsou kolejnice přerušeny z důvodu dilatace mostní konstrukce, musí být elektrické propojení uzpůsobeno (flexibilní propoj) [12]. Ne vždy je možné z technických důvodů (drážní zabezpečovací zařízení) zajistit propojení pomocí kolejových styků a je nutné využít stykových transformátorů nebo kosých propojek.

Pro bezpečné provozování kolejových tratí je nezbytný zabezpečovací systém. „Kolejový obvod (KO) je soubor zařízení vyhodnocující volnost a obsazenost dané části kolejiště“ [13]. Ve spolupráci se zabezpečovacím zařízením (ZZ) pak může dispečer řízení sledovat pohyb vozidel na trati. Jednotlivé kolejové úseky jsou navzájem izolovány a dispečer s danou přesností v závislosti na délce příslušného úseku vidí obsazenost koleje. Délka úseků se liší. Běžné délky u vlakové dopravy jsou 0,8 - 1 km, maximálně pak 2 km u impulzního KO. Zabezpečovací zařízení pražského metra má jednotlivé úseky přibližně po 100 metrech z důvodu větší frekvence dopravy.

Zároveň je ale nutné převést přes izolované úseky nazpět do napájecí stanice zpětný proud a také tzv.: „topný proud“ (zpětný proud mezi pohonnou jednotkou a vozy vybavenými elektrickým vytápěním) [13]. Jsou dvě možnosti odvedení těchto proudů v závislosti na počtu jízdnic kolejnic využívaných k odvodu zpětných proudů.

Kosá propojka – proud se vrací vždy jen po jedné kolejnici. V místě izolovaných úseků se pomocí propojky převede zpětný proud na kolej druhou. Schématické znázornění je uvedeno na obr. 12 a).

Stykový transformátor – proud se vrací dvěma kolejnici. Před izolovaným úsekem je proud zaveden do stykového transformátoru. Tento speciální transformátor má dvě vinutí. Hlavní vinutí o velké impedanci má své konce napojeny na obě kolejnice jednoho úseku a vinutí má vyvedený střed ke druhému stykovému transformátoru na druhém izolovaném úseku tratě. Tímto vinutím protéká trakční proud, který překlene izolované úseky tratě. Vliv trakčního proudu se neuplatní, jelikož rozdělené vinutí vzájemně vyruší vliv tohoto proudu [13]. Trakční proud protéká od sběrače, přes pohonnou jednotku do náprav, ze kterých se ideálně při shodných impedancích rozdělí zpětný proud do obou kolejnic. Sekundární vinutí je napojeno na zabezpečovací systém, který pracuje při frekvenci rozdílné od frekvencí možného rušení 275 Hz (metro). Každý úsek tratě má dva stykové transformátory. První transformátor má v sekundárním vinutí připojen generátor signálního proudu. Na konci úseku je v sekundárním vinutí připojen přijímač tohoto signálu. Pokud je trať volná, signál dorazí po kolejnici do přijímače, který detekuje volnost traťového úseku. V případě průjezdu vozidla zabezpečovací signál nedorazí k přijímači, protože náprava propojí obě kolejnice a vyhodnocovací zařízení kolejového přijímače na konci úseku ohlásí obsazenost tratě [13]. Schématické znázornění je uvedeno na obr. 12 b).



Obr. 12: a) kosá propojka b) stykový transformátor Převzato z: [14]

3.2 Plynové a vodovodní sítě

3.2.1 Vodovodní sítě

Starší vodovodní potrubí jsou vodivá, avšak při modernizacích vodárenské sítě bývají nahrazována nevodivými alternativami z plastické hmoty. Jak již bylo zmíněno v podkapitole 2.3.1. věnující se náhodným zemničům, vodárenské společnosti neumožňují využívat jejich inženýrskou síť k uzemňování veřejné distribuční sítě. Pro dodržení vzájemné separace obou sítí je dle ČSN 73 6005 (Prostorové uspořádání sítí technického vybavení) nutné dodržovat dostatečný rozestup. Tato vzdálenost je pro elektrické sítě do 220 kV stanovena na 0,4 m shodně pro vzájemný vodorovný i svislý rozestup.

3.2.2 Plynové sítě

Jak již bylo uvedeno v podkapitole 2.3.1, plynová potrubí není možné využívat jako náhodné zemniče pro zemnění veřejné distribuční sítě. Separace obou sítí technického vybavení je uvedena opět v příslušné normě ČSN 73 6005. Pro distribuční vedení 22 kV vedené v chráničce je stanoven vodorovný rozestup pro plynová potrubí do 0,005 MPa na 0,4 m (do 0,4 MPa na 0,6 m). Svislý rozestup je stanoven na 0,1 m pro maximální tlak v potrubí 0,005 MPa a pro tlak do 0,4 MPa na vzdálenost 0,2 m. V případě, že vysokonapěťový kabel není veden v kabelové chráničce, jsou svislé rozestupy navýšeny. Pro nízkotlaký plynovod (do 0,005 MPa) je vzdálenost navýšena na 0,4 m a pro středotlaký plynovod (do 0,4 MPa) na 1 m.

4. Impedanční smyčka a její vliv na uzemnění

4.1 Značení vodičů a elektrických sítí

Bezpečnost rozvodu elektrické energie je prioritou pro každou elektrotechnickou instalaci. Nejprve je však vhodné vysvětlit si základní principy a názvosloví používané v elektrotechnické praxi pro správné pochopení funkce bezpečnostních opatření elektrického rozvodu. Nejdříve se zaměříme na jednotlivé druhy vodičů.

4.1.1 Značení vodičů

Vodiče jsou nedílnou součástí elektrických obvodů a patří k jejich hlavním součástem. Pro správnou funkčnost a bezpečnost musí být jasně definována jejich funkce v obvodu i s nezáměnným označením.

Základní dělení vodičů:

- Pracovní vodič
 - Využívá se k zajištění pracovní činnosti elektrického zařízení. Pracovní vodiče se dále dělí na vodiče fázové a nulové u střídavé sítě a na krajní a střední u stejnosměrné sítě.
- Fázový vodič (*L – line*) – AC soustavy
 - Fázové vodiče s izolací jsou značeny barvami černá, hnědá a šedá pro odlišení jednotlivých fází. U vodičů holých se používá barva oranžová a jednotlivé fáze jsou označeny počtem příčných černých pruhů nanesených na základní barvu.
- Krajní vodič – DC soustavy
 - Kladný pól (+; *L+*; *C*) – izolované vodiče barva černá, holé vodiče červená
 - Záporný pól (-; *L-*; *D*) – izolované vodiče barva černá, holé vodiče tmavě modrá
- Nulový (neutrální) vodič (*N - neutral*) – AC soustavy, vodič je připojen na nulový bod zdroje (nezáleží, zda je tento bod uzemněn, či nikoli) [15] je označován světle modrou barvou pro holé i izolované vodiče.
- Střední vodič (*M - middle*) – DC soustavy, vodič je připojen na střed zdroje (nezáleží, zda je tento bod uzemněn, či nikoli) [15]. Je označován světle modrou barvou.
- Ochranný vodič (*PE – Protective Earth*) – AC i DC soustavy pro nezáměnnost je značen žluto-zelenou kombinací izolace nebo nátěru v případě holých vodičů.
- Vodič PEN – kombinuje funkci vodiče nulového a ochranného vodiče a je označován žluto – zelenou kombinací

Vodiče PE i PEN je zakázáno jistit nebo vypínat.

4.1.2 Druhy elektrických sítí

Dle normy ČSN 33 2000 - 1 ed.2 se rozlišují tři druhy elektrických sítí, mezi něž patří sítě TN, TT a IT. K označení sítí se využívá písmenného kódu sestávajícího se ze dvou písmen v některých případech doplněných o další označení, jak je naznačeno na informativním obr. 13.

XY - Z

Obr. 13: Značení druhů sítí

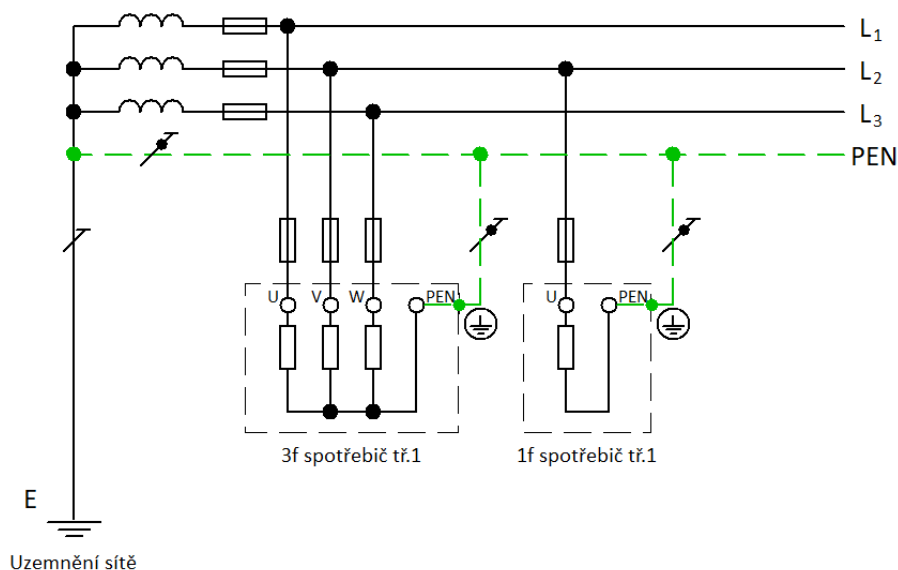
- X - označuje propojení uzlu sítě se zemním potenciálem
 - T -terre – bezprostřední uzemnění pracovního bodu (uzlu) sítě
 - I – insulation – spojení pracovního bodu (uzlu) sítě přes impedanci se zemí nebo izolování všech živých částí proti zemi
- Y - označuje způsob propojení neživých částí se zemním potenciálem
 - N – neutral – uzemnění neživých částí není přímé, ale je provedeno pomocí ochranného vodiče PE, který je veden z pracovního bodu (uzlu) sítě
 - T -terre – bezprostřední uzemnění neživé části sítě
- Z – popisuje vztah mezi ochranným a středním vodičem (pouze pro TN sítě)
 - C – combined – funkci ochranného a středního vodiče zastává jeden vodič PEN
 - S – separated – vodič střední (N) a ochranný (PE) jsou rozděleny
 - C – S – kombinace obou možností - modernizace starých rozvodů

4.1.2.1 TN – C

Uzel sítě je přímo uzemněn (T) a neživé části elektrických zařízení jsou připojeny k ochrannému vodiči (N), který zároveň zastává funkci středního vodiče (C). „Všechny neživé části distribuční sítě TN musí být spojeny s vodiči PEN (PE) a jejich prostřednictvím se středem vinutí zdroje, který musí být uzemněn.“ [3] .

Pro vedení poruchového i zpětného proudu je použit pouze jeden vodič. Hlavní ochrana před dotykem neživých částí je zajištěna automatickým odpojením od zdroje. Výhodou je nižší pořizovací cena díky absenci jednoho metalického vodiče. V případě, pokud není zpětný proud při přerušení vodiče PEN veden náhodným vodičem proudu (železná stavební konstrukce, kovové vodovodní potrubí), dochází k rozpojení obvodu zařízení, kterým již nemůže protékat elektrický proud (samovolné poruchy). Nevýhodou, která převládá nad těmito pozitivy (pro domovní NN instalaci) je menší bezpečnost před úrazem elektrickým proudem. Pokud je vodič PEN přerušen (a zároveň proud není veden náhodným vodičem do uzlu sítě), může dojít za přerušením (neuzemněná část sítě) k nárůstu dotykového napětí nad povolenou úroveň dle *tab. 1*. Z tohoto důvodu je nutná bezprostřední oprava pro obnovení bezpečnosti provozu, též může protékající zpětný i poruchový proud vodičem PEN rušit citlivé přístroje [16]. Také není možné použít ochranu automatickým odpojením proudovým chráničem. Z těchto důvodů se upustilo v domovních instalacích od tohoto zapojení v roce 1995, kdy skončila platnost normy ČSN 34 1010 [16]. Ve starších domovních rozvodech je

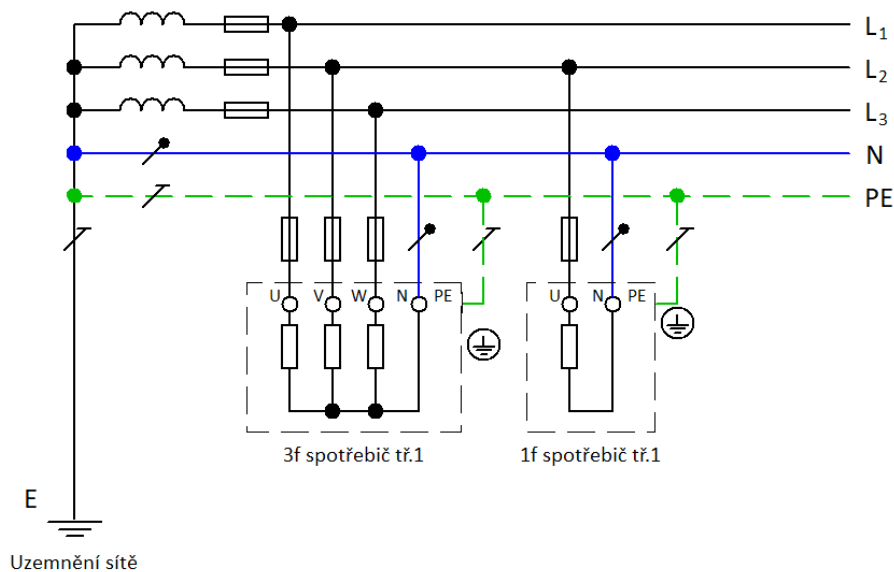
tato instalace stále, jelikož není zákonná povinnost nahradit tento typ sítě za novější TN - S. U nízkonapěťových distribučních sítí se jedná o nejčastější druh sítě.



Obr. 14: Principiální schéma sítě TN – C Zdroj: Vlastní

4.1.2.2 TN – S

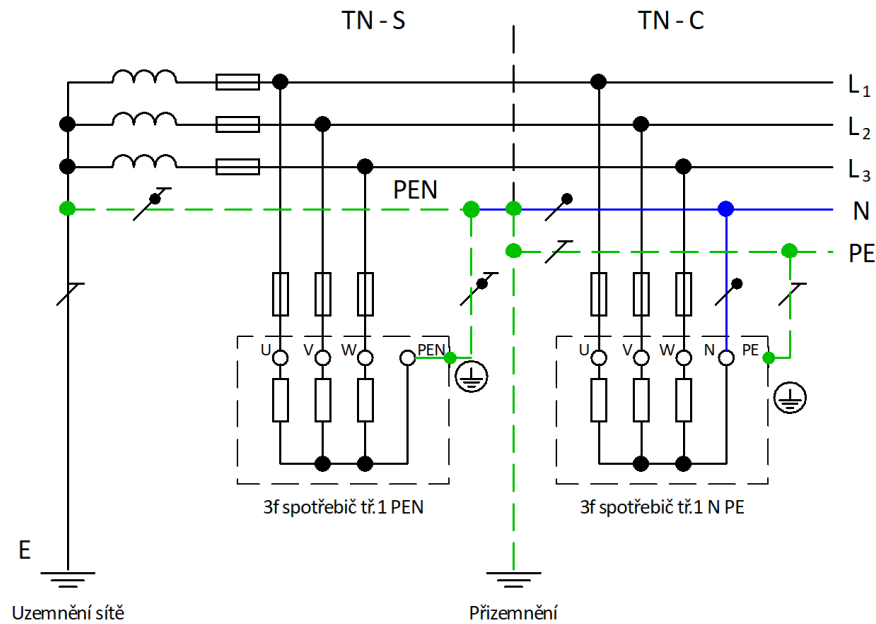
Obdobnou topologii jako síť TN – C má síť TN – S, kde poslední písmeno signalizuje oddělení vodiče PEN na vodič střední (N) a ochranný vodič (PE). Tato topologie je uvedena v platné normě ČSN 33 2000-4-41. Výhodou je možnost využít proudového chrániče. Hlavní nevýhodou je, že přerušení ochranného vodiče, nemá vliv na funkčnost přístroje, a tedy v případě poruchy nesvede vodič PE poruchový proud. Pro prevenci zachování galvanického propojení neživých částí vodičem PE jsou nutné pravidelné revize elektrických zařízení, které nejsou ale povinné pro soukromé obytné prostory. Taktéž jsou náklady na instalaci sítě vyšší. Této topologie se využívá pro rozvody nízkého napětí v obytných prostorech, ale naopak pro distribuční sítě se tato síť příliš nepoužívá.



Obr. 15: Principiální schéma sítě TN – S Zdroj: Vlastní

4.1.2.3 TN-C-S

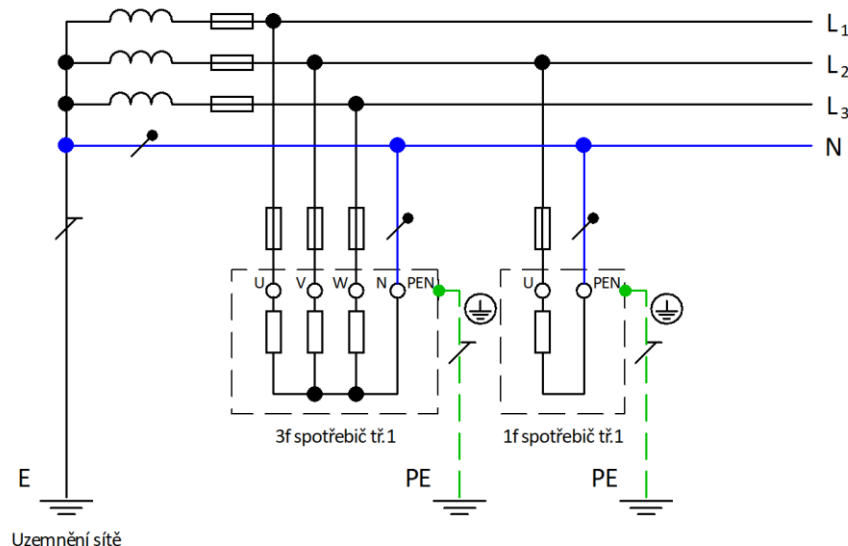
Zvláštní druh elektrické instalace, který vzniká při částečné rekonstrukci domovního elektrického rozvodu, kdy je část staré instalace TN – C nahrazena instalací sítě TN – S. Tato topologie je využívána ve výjimečných případech i u distribuce tak, aby bylo možné využít k chránění proudových chráničů. Část sítě vedoucí od zdroje je typu TN – C, která se v rozvaděči změní na síť TN-S. V rozvaděči dochází k rozdělení vodiče PEN na samostatné vodiče N a PE, kdy musí mít vodič PE a N samostatné svorky, nebo přípojnice, přičemž je vodič PEN připojen na svorkovnici nebo přípojnici PE [3]. Vodič N je propojen s vodičem PE (tedy i PEN) jen v místě rozdělení sítě. Pokud dojde k oddělení vodičů N a PE nesmí se již v žádném následujícím bodě opětovně spojit. Vodič PE je doporučeno dle PNE 33 0000-1 v místě rozdělení sítě (rozvaděč) spojit s uzemňovací soustavou nebo vytvořit přizemnění samostatným zemničem, jak je naznačeno na obr. 16. Využití proudových chráničů pro ochranu automatickým odpojením od zdroje je možné až za bodem změny sítě na pětivodičovou (TN – S) [3].



Obr. 16: Principiální schéma sítě TN – C – S Zdroj: Vlastní

4.1.2.4 TT

Uzel sítě je přímo uzemněn (T) stejně tak jako každá neživá část jednotlivých zařízení připojených k této síti (T). Tedy každé zařízení má svůj vlastní zemnič. Tato síť je málo častá a nejčastěji jí lze nalézt na staveništích. Její hlavní nevýhodou je nutnost samostatných zemničů pro každý stroj.

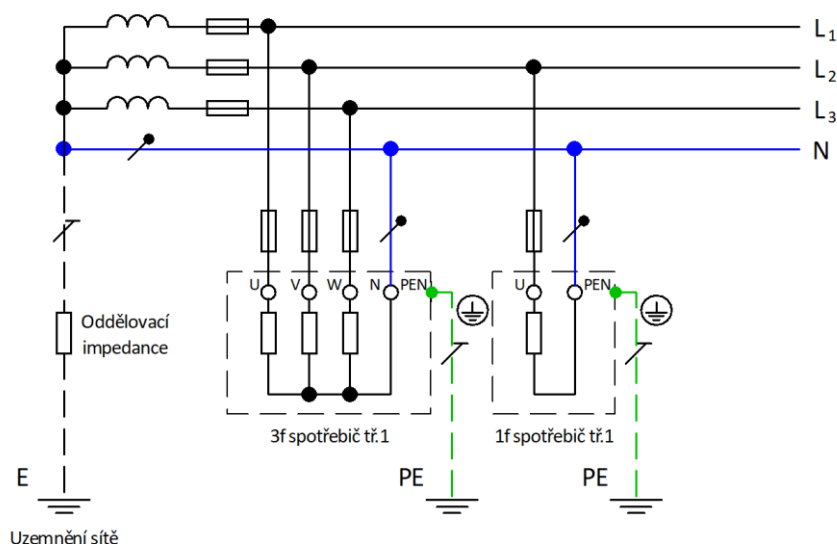


Obr. 17: Principiální schéma sítě TT Zdroj: Vlastní

4.1.2.5 IT

Písmeno (I) signalizuje, že uzel sítě je izolován od země nebo je k němu připojen přes velkou impedanci (tlumivku nebo odporník). Obdobně jako je tomu u sítě TT je každé zařízení individuálně, nebo skupinově uzemněno. Impedance umožňuje kompenzaci

zemního proudu při zemních spojení, a tedy umožňuje vyšší spolehlivost, jelikož je provoz možný i při spojení jednoho fázového vodiče se zemí. Pokud je vícefázové zemní spojení, ochrana linky poruchu vypne. Díky vyšší spolehlivosti dodávky elektrické energie je využíván zejména pro napájení kriticky důležitých míst (např.: nemocnic) a u venkovních sítí VVN a VN, kde je zemní spojení jednou z nečastějších závad tak, aby nebyla přerušena dodávka elektrické energie.

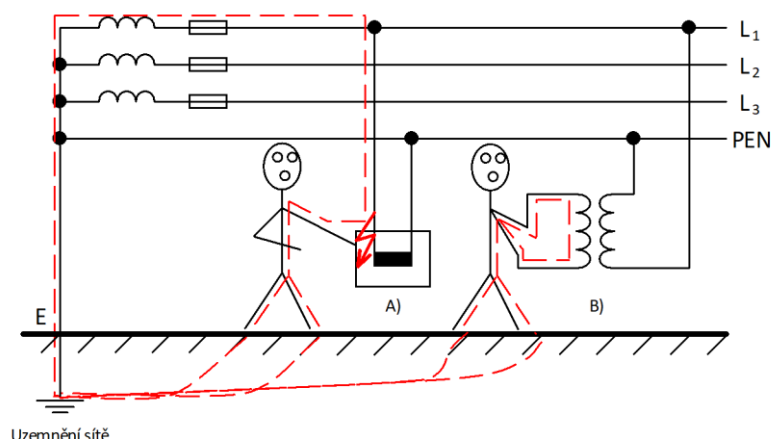


Obr. 18: Principiální schéma sítě IT Zdroj: Vlastní

4.2 Druhy dotyku s elektrickým zařízením pod napětím

Jedním z hlavních ochranných opatření před úrazem elektrickým proudem je samočinné (automatické) odpojení od zdroje. Této ochrany se využívá v případě, že se pracovní napětí objeví na neživých částech sítě. Poruchový proud se může tedy uzavírat jinou cestou než přes pracovní vodiče, jak je žádoucí pro bezpečný provoz. Tato změna parametrů sítě zajistí vybavení samočinného bezpečnostního prvku soustavy.

Rozlišujeme dva základní druhy dotyku s elektrickým zařízením. Běžnějším dotykem je dotyk jedнопólový, který nastává u sítí, jejichž uzly jsou uzemněny (TN, TT). Pokud se osoba dotkne živé části nebo části neživé, na kterou se při poruše dostane napětí a zároveň se osoba přímo dotýká vodivé části, která má potenciál blízký potenciálu země, obvod se uzavře obr. 19: možnost A). Smyčka poruchového proudu je naznačena čárkovanou červenou čarou. Jestliže se osoba dotkne zařízení na dvou místech s rozdílným potenciálem, jedná se o dotyk dvoupólový, který je naznačen na obr. 19: případ B)

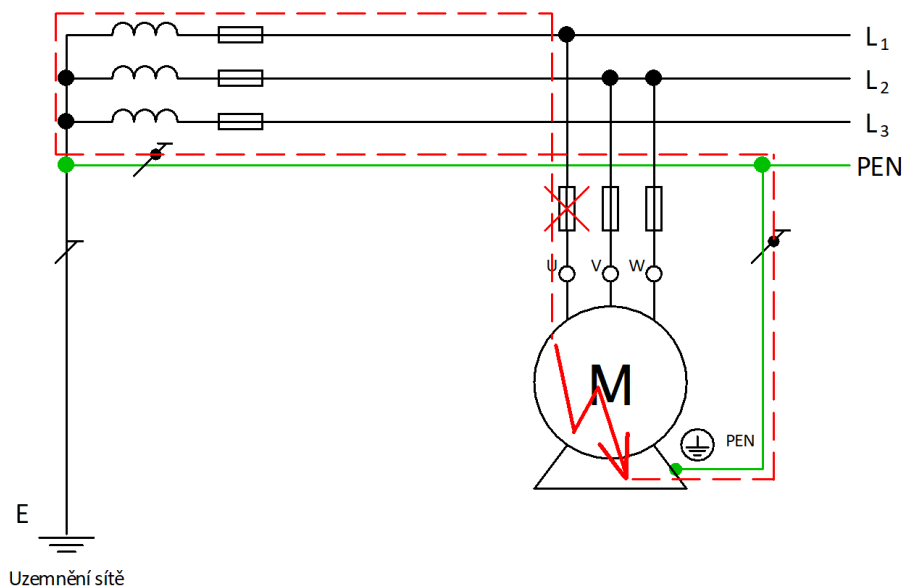


Obr. 19: Druhy dotyku s elektrickým zařízením A) jednopólový dotyk B) dvoupólový

Dotyk Zdroj: Vlastní

4.3 Impedance poruchové smyčky

Velikost poruchového proudu je závislá na parametrech poruchové smyčky, tedy na její impedanci. Impedancí poruchové smyčky elektrického obvodu se rozumí součet odporů a impedancí všech komponentů elektrického obvodu, kterým protéká poruchový proud od zdroje k místu poruchy, jak je znázorněno na obr. 20 červenou přerušovanou čarou. Hlavní složkou impedanční smyčky je činný odpor, který je tvořen především odporem vodičů a sekundárním vinutím transformátorů pro síť TN. Odpor vodičů je součtem odporů přívodního (fázového) vodiče ze zdroje do místa poruchy a odporu ochranného vodiče PE (PEN) z místa poruchy zpět k uzlu zdroje, kde se porucha uzavírá. U sítí IT činný odpor poruchovému proudu dále tvoří odpor tlumivky nebo odporníku uzlu zdroje. Pokud je síť zapojena v síti TT, je nutné uvažovat zemní odpor uzemnění zdroje [17]. Impedance může mít taktéž i jalovou složku, která je nejčastěji induktivního charakteru, vlivem impedance vinutí distribučního transformátoru (v síti IT i oddělovací impedance). Jalová složka tvoří malou část celkové impedance a lze jí ve většině případů zanedbat [17]. Impedance smyčky klade odpor poruchovému proudu, který jí omezuje. Cílem správného návrhu bezpečnostní soustavy je minimalizovat tento odpor, aby poruchový proud nebyl omezen do takové míry, že příslušný jistící prvek nebude moci spolehlivě detekovat poruchu a vlivem velké impedance nebude schopen zareagovat v požadovaném časovém intervalu.



Obr. 20: Příklad impedanční smyčky poruchového proudu v síti TN–C Zdroj: vlastní

4.3 Ochrana před nebezpečným dotykem do 1 kV

4.3.1 Automatické odpojení poruchy v síti TN nadproudovými ochrannými přístroji

Pro zajištění vybavení ochrany automatickým odpojením od zdroje v požadovaném čase (do 30 s) a při dodržení maximálních povolených dotykových napětí (tab. 1) musí být vhodně zvoleny charakteristiky ochranných přístrojů v závislosti na impedanci poruchové smyčky proudu. Porucha může nastat v jakémkoli místě distribuční sítě a je žádoucí vypnout pouze úsek v poruše tak, aby zbytek sítě nebyl toto poruchou ovlivněn.

Pro správný návrh se musí dodržet podmínka [3]:

$$Z_S \cdot I_a \leq c \cdot U_0 \quad [\Omega, A; -, V] \quad (16)$$

Z_S impedance poruchové smyčky zahrnující: zdroj, fázový vodič k místu poruchy, vodič PE(PEN) a případně i další paralelní cesty poruchového proudu, při teplotách v okamžiku vypnutí poruchy

I_a velikost proudu, který zajistí odpojení poruchy v deklarovaném čase do 30 s, určuje se z vypínacích charakteristik nadproudových přístrojů

c koeficient stanovení dle ČSN EN 60909-0 (33 3022)

U_0 jmenovité napětí distribuční sítě TN proti zemi (fázové napětí)

Pro dodržení této podmínky je nutné docílit maximální impedance poruchové smyčky Z_{Smax} tak, aby jistící prvky vyhověly maximálnímu povolenému vypínacímu času. Velikost této impedance se nesmí v žádném místě (ani na konci) jištěného obvodu překročit.

$$Z_{Smax} = \frac{c \cdot U_0}{I_a} [\Omega; -, V, A] \quad (17)$$

Proud I_a musí být větší nebo maximálně rovný hodnotě nejnižšího jednofázového zkratového proudu, která musí zajistit automatické odpojení chráněného úseku sítě do 30 s. Tato podmínka zajišťuje odpojení poruchy [3].

4.3.2 Automatické odpojení poruchy v síti TN proudovými chrániči

Ochranu obvodu automatickým odpojením od zdroje pomocí proudových chráničů není možné použít pro TN-C. Pro síť TN-S s ochranou proudovým chráničem platí stejné podmínky jako pro chránění pomocí nadproudových zařízení (vybavení do 30 s a nepřesáhnout dovolená dotyková napětí dle tab. 1. Proudové chrániče odpojují pouze postižený úsek, z toho důvodu je nutná selektivita s ochrannými přístroji nejen v distribuční soustavě, ale také za předávacím místem (domovní, průmyslová instalace) [3]. Nesmí se spojit vodiče PE a N za proudovým chráničem. Vodiče PE před a za RCD jsou navzájem propojeny. Pro vodič N, který je zapojen do obvodu s chráněným RCD, je nepřijatelné propojení s jiným vodičem N (rozdílový proud by neprotékal rozdílovým transformátorem a ochrana by při poruše nezareagovala). Pro maximální velikost impedance poruchové smyčky platí obdobná podmínka jako pro jištění nadproudovými ochranami:

$$Z_S \cdot I_{\Delta n} \leq c \cdot U_0 [\Omega, A; -, V] \quad (18)$$

$I_{\Delta n}$ jmenovitý reziduální vybavovací proud proudového chrániče zajišťující automatické odpojení v požadovaném čase do 30 s.

Někdy je možné využít proudový chránič v místě změny topologie DS z TN-C na TT, například na stavbách. Pro tuto změnu je nutné dodržet ale několik podmínek. Neživé části na straně sítě TT (přímo uzemněné neživé části) se nesmí propojovat s neživými částmi sítě TN-C a ani s vodičem PEN. Tento proudový chránič nemůže zastávat funkci doplňkové ochrany [3].

4.3.3 Automatické odpojení poruch v sítích TT

V sítích TT je nutné, aby každá neživá část byla spojena pomocí ochranných a uzemňovacích obvodů a galvanicky propojena s vlastním zemničem nebo se zemničem skupinovým. Uzel zdroje musí být přímo uzemněn. Na uzel je přímo připojen vodič N, který se v této síti nesmí spojit se žádnou neživou částí instalace. Maximální doba, za kterou musí nadproudové zařízení nejpozději vypnout poruchu, je stejná jako u sítí TN (30 s). Dle PNE 33 0000-1 musí být splněna podmínka:

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0 [\Omega, A; V] \quad (19)$$

Obdobná kritéria platí i pro rychlost vybavení poruchy pomocí ochrany proudovými chrániči, kde je nutné zabezpečit, aby celková impedance uzemnění násobená reziduálním proudem proudového chrániče nepřesáhla velikost dovoleného dotykového napětí dle tab. 1.

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq U_{dL} [\Omega, A; V] \quad (20)$$

R_A součet odporu ochranného vodiče a zemniče k neživým částem v místě poruchy

U_{dL} dovolené dotykové napětí

Proudový chránič nedokáže poskytnout ochranu síti TT při vícefázovém zkratu a zkratu mezi fázovým a nulovým vodičem, z čehož vyplývá nutnost doplnit tento způsob chránění o předřazenou (ze strany zdroje) nadproudovou ochranu.

4.3.4 Uzemnění do 1000 V

U sítí TN je nutné vodič PE (PEN) uzemňovat nejen v uzlu (středu) sítě, ale také uzemňovat v hlavním vedení, v odbočkách i v přípojkách. Pro uzemnění vodiče je možné využít propojení s uzemňovací soustavou nebo, je-li to nutné se samostatným zemničem. Pokud je skříň elektrické přípojky vzdálena více než 100 m od uzemnění vodiče PE (PEN) v hlavním vedení nebo v odbočce, je vyžadováno vytvoření uzemnění této rozvodné skříně [3].

Pokud je vodič PE (PEN) zhotoven z rozdílného materiálu, než vodič fázový nebo nenabývá jeho průřezu, je nutné ověřovat, zda teplota jeho jádra nepřesáhne povolené hodnoty při největším možném jednofázovém zkratovém proudu.

průřez vodiče v [mm ²]			
Měď (Cu)		Hliník (Al)	
fázový	PE (PNE)	fázový	PE (PNE)
10	10	16	16
16	16	25	25
25		35	
35		50	
50	25	70	35
70	35	95	50
95	50	120	70
120	70	150	
150		70	185
185	95	240	120

Tab. 7: Výňatek dovolených průřezů vodičů PE(PEN) Převzato z: PNE 33 0000-1

Teplota jader kabelů je závislá na druhu (třídě) elektrické izolace. Pro moderní izolační materiály je rozsah teplot jader v rozmezí 160 - 220 °C (PVC =160 °C), vodiče holé mají maximální povolenou teplotu do 300 °C [3].

Maximální dovolený odpor uzemnění pracovního středu zdroje R_A nemá překročit 5 Ω . Pokud z nějakého důvodu není technicky (ekonomicky) přípustné této velikosti odporu ve zhoršených podmínkách dosáhnout běžnými metodami, je maximální povolený odpor zemniče stanoven na maximální hodnotu 15 Ω . Celkový odpor uzemnění R_B , který uvažuje odpor uzemněného středu uzlu (zdroje) i ochranného vodiče PE nebo odpor vodiče PEN odcházejícího vedení z transformační stanice nemá pro $U_n = 230$ V přesáhnout 2 Ω . Pokud je půda v okolí zemniče méně vodivá (v hloubce 1-3 m pod povrchem je měrná rezistivita větší než 200 Ω m), lze stanovit maximální celkový odpor R_B dle PNE 33-0000-1:

$$R_B \leq \frac{\rho_{min}}{100} [\Omega; \Omega m, -] \quad (21)$$

R_B celkový odpor uzemnění vodičů PE (PEN) všech odchozích vedení z transformační stanice včetně odporu uzemněného středu transformovny

ρ_{min} nejmenší rezistivita odporu půdy zajištěná měřením v místech, kde se zařízení uzemňuje

Pro distribuční stanice je běžné, že uzemnění vysokonapěťové i nízkonapěťové technologie je společné. Pro toto společné uzemnění je dle normy PNE 33 0000-1 nutné ověřit podmínku:

$$R_B \leq \frac{U_{Tp}}{I_E} [\Omega; V, A] \quad (22)$$

U_{Tp} dovolené dotykové napětí pro elektrická zařízení nad 1 kV pro omezené trvání průtoku proudu dle tabulky tab. 8

I_E zemní proud na straně VN

4.4 Ochrana před nebezpečným dotykem nad 1kV

V této práci se zabývám problematikou kabelových sítí, která dominuje na městském území, z tohoto důvodu neuvažují sítě venkovní a jejich požadavky. Nebezpečí úrazu elektrickým proudem je způsobeno průtokem proudu přes lidské srdce, který způsobuje srdeční fibrilace [18]. Maximální přípustná hodnota proudu pro frekvenci 50 Hz je převedena na maximální dovolené dotykové napětí. Tento přepočítá uvažuje, jaká část poruchového proudu teče přes oblast srdce, s impedancí lidského těla včetně odporu mezi kůží a zařízením (rukavice, boty atd.) a dobou trvání poruchy (doba vypnutí). Pro tyto aspekty byla vytvořena závislost dovoleného dotykového napětí na době trvání poruchy (graf 3) pro velikost poruchového proudu, který způsobuje fibrilaci komor s pravděpodobností menší než 5 %.

Dovolená dotyková napětí

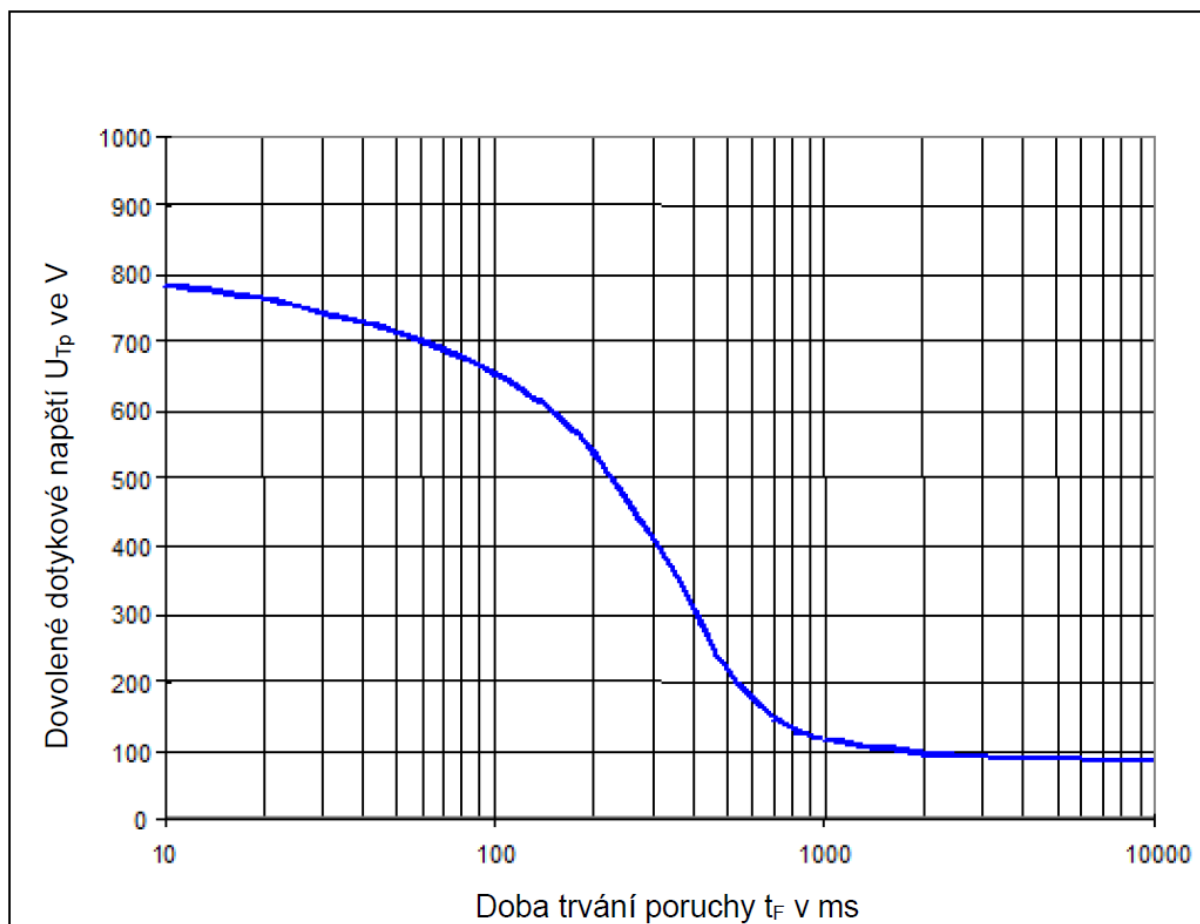
Velikost dovolených dotykových napětí závisí na druhu zařízení a kvalifikaci osob pohybujících se v okolí těchto zařízení. Pro kroková napětí se dovolené hodnoty neuvádějí, protože jejich limity jsou vyšší než limity dotykové. Pro elektrické stanice s dobou trvání poruchy (zkratu) $t \geq 5$ s je hodnota maximálního povoleného napětí v sítích nad 1 kV AC:

Dovolené dotykové napětí U_{Tp}	
zařízení	Dovolené dotykové napětí [V]
rozvodná zařízení distributora (i pro DTS VN/NN se společným uzemněním), se kterým mohou přijít do styku osoby bez elektrotechnické kvalifikace i osoby seznámené	75
zařízení elektrických stanic (vnitřní i vnější) VN, VVN, ZVN mimo DTS	150

Tab. 8: Dovolená dotyková napětí pro zařízení nad 1 kV Převzato z: [3]

Doba trvání poruchy je závislá na nastavení příslušné (nadproudové) ochrany a doby reakce (vypnutí) samostatného prvku. Nejrychlejší možné odpojení (bez prodlev) je možné uvažovat u moderních ochran 0,1 s.

Pro časy trvání zkratu kratší než 5 s je velikost dotykového napětí v PNE 33-0000-1 vyhodnocována dle doby trvání zkratových proudů. Průběh dovolených hodnot U_{Tp} je průměrem dotykových hodnot při uzavření proudové dráhy přes tyto části lidského těla ruka – ruka a ruka – noha při frekvenci 50 Hz. Norma uvažuje, že tyto končetiny jsou holé (bosé) a impedance lidského těla pro proudovou dráhu ruka – ruka a ruka – noha je totožně velká o teoretické velikosti 2 k Ω . Pokud chceme uvažovat nejběžnější proudovou dráhu ruku a dvě nohy, jak je naznačeno na obr. 19 A) (jednopolový dotyk), potom bude celková impedance snížena o jednu čtvrtinu (1500 Ω).



Graf 3: Dovolené dotykové napětí U_{Tp} pro zařízení nad 1000 V Zdroj: [3]

Jestliže není elektrická stanice VN samostatně oddělena od další instalace (průmyslové závody), má být využita celková uzemňovací soustava s limity dotykového napětí pro nízké napětí (50 V) [18].

5. Návrh modelových případů uzemňování prvků v distribuční soustavě

5.1 Ctěnice

Osada Ctěnice se dá charakterizovat jako málo osídlené území na pomezí Prahy a Středočeského kraje spadající pod správu hlavního města. Osada je tvořena sedmi rodinnými domy, u kterých je umístěna transformační stanice a zastávka městské hromadné dopravy. Na levé straně od rodinných domů se nalézá areál zemědělské společnosti. Napravo směrem od rodinných domů se nachází rozsáhlý zámecký areál. Nad zámeckým areálem je chatařská oblast.

5.1.1 Transformační stanice TS 3915

Elektrické napájení této oblasti je zajišťováno jednou transformátorovou stanicí TS 22/0,4 kV s označením TS 3915. Jde o kioskovou volně stojící stanici. Jedná se o zděnou stavbu se vstupními křídlovými plechovými dveřmi. V zadní levé části objektu stanice jsou umístěny ventilační průduchy pro odvětrávání distribučního transformátoru. Zadaná napájená oblast není výkonově náročná, z tohoto důvodu zde postačuje méně výkonná řada distribučního transformátoru 400 kVA oproti běžně využívanému výkonu 630 kVA ve stanicích PREdi. Instalovaný transformátor je již bezolejnatý. Tato stanice není inteligentní, tedy zde nejsou instalovány telekomunikační přístroje, jejichž skříňe by bylo taktéž nutné ochranně pospojovat.

Návrh uzemnění této stanice tedy uvažuje s následujícími prvky:

- Všechny neživé a cizí vodivé části budovy a instalovaných zařízení
 - Kostra transformátoru 22/0,4 kV
 - VN rozvaděč
 - NN rozvaděč
 - Kabelové žlaby
 - Ochranná klec transformátoru
 - Dveře
 - Ventilační průduchy
- Stínění VN kabelů
- Ochranné vodiče

Soustava nízkého napětí v blízkosti stanice nad 1 kV. V souladu s PN KA 203 se stanice PREdi navrhují se společným uzemněním VN a NN části. Součástí návrhu není návrh ochrany před bleskem, která je řešená projektem budovy.

Navrhovaná stanice je přes pláště VN kabelů propojena s okolními stanicemi. Vlivem tohoto vzájemného propojení distribučních stanic je i tato stanice součástí celkové (globální) uzemňovací soustavy nad 10 000 m². U této soustavy se nepředpokládá výskyt nebezpečných dotykových napětí podle požadavků KA 203, ale po vyhotovení

instalace je nutné měřením prokázat, že vybudovaný zemnicí systém je opravdu s globální uzemňovací soustavou propojen a jeho odpor nepřesahuje dovolenou hodnotu 15 Ω .

5.1.1.1 Výzbroj stanice

Návrh stanice je uveden v příloze č.1 i s uvažovanou výzbrojí, která je tvořena distribučním transformátorem, vysokonapěťovým rozvaděčem a nízkonapěťovým rozvaděčem. Do transformační stanice je kabelové vedení nízkého i vysokého napětí přiváděno z čela stavby po levé straně od vstupních dveří dle návrhu. Přes průchodky jsou kabely zavedeny do kabelových kanálů. V pravém rohu místnosti je umístěn rozvaděč vysokého napětí. Nad ním je umístěn rozvaděč nízkého napětí a v levém horním rohu v blízkosti odvětrávacích otvorů je umístěn samotný distribuční transformátor, který je ohraničen ochrannou klecí.

5.1.1.2 Uzemnění stanice

Stanice je opatřena základovým zemničem tvořeným svařovanou kari sítí. Kari síť je provedena z drátu průřezu 10 mm² a velikostí ok 15 x 15 cm. Kari síť je zalitá 8 cm vrstvou betonu tak, aby byla zajištěna podmínka krytí kari sítě dle KA 203 (minimální tloušťka betonu 5 cm). Vývod z tohoto zemniče do vnitřních prostor stanice je zajištěn uzemňovacím přívodem. Jedná se o dva zemnicí pásy FeZn 30 x 4 mm, které jsou přivařeny ke kari sítí v délce 60 cm (minimální délka dle KA 203 je stanovena na 50 cm). Pásek je uložen tak, aby při zalévání betonové směsi směs těsně doléhala na pásek a nevznikaly vzduchové bubliny. Uzemňovací přívody jsou vyvedeny na zkušební svorky. Uzemňovací přívod musí být před zalitím betonovou směsí opatřen antikorozií vrstvou (asfaltový nátěr) v délce 15 cm v betonu a 20 cm mimo beton. Tímto návrh splňuje podmínky minimální povolené antikorozií ochrany dle PN KA 203. Zkušební svorky jsou připojeny na hlavní ochrannou přípojnicí (HOP). Zemní svorka je vyhotovena ze zemnicího pásku o délce 10 cm se dvěma otvory pro šroub velikosti M10.

Z jedné zemní svorky je vyveden zemnicí pásek FeZn 30 x 4 mm do trasy kabelu VN. Tento pásek je také opatřen antikorozií nátěrem u vstupu do betonu v délce 20 cm a v betonu 15 cm. Pásek je také nutně antikorozií ochránit při opouštění betonové konstrukce budovy. Asfaltová antikorozií vrstva v betonu je pro splnění normativních podmínek stanovena na 35 cm a za hranicí budovy (v zemi) 1,1 m. Pásek je u vstupu do stanice chráněn chráničkou k zamezení možnosti jeho mechanického poškození. Do této stanice jsou kabely přivedeny pouze z jedné strany. Proto není v této stanici možné využít vývody do dvou směrů kabelových tras a položit tak na každou stranu jeden 25 m zemnicí pásek do směru výkopu. Je nutné v trase kabelu položit pouze jeden pásek o délce 50 m. Tato vzdálenost je počítána od vnější zdi stanice. Využití dvojice zemnicích pásků o poloviční délce je preferováno, jelikož při možném neúmyslném poškození je zajištěno alespoň nějaké omezení dotykového napětí.

Z HOP ve stanici je vyveden na obě strany podél vnitřního obvodu stanice obvodový zemnič tvořený totožným páskem FeZn 30 x 4 mm. Obvodový ochranný vodič je instalován ve výšce 30 cm nad úroveň podlahy, a tedy je splněna podmínka z PN KA 203, která stanovuje minimální vzdálenost vodiče od podlahy 20 cm. K obvodovému

zemniči jsou přívody připevněny cizí vodivé a neživé části zařízení a prvků nacházejících se ve stanici.

Uzemněné cizí vodivé části stanice

Cizí vodivé části, u kterých není předpokládán průchod poruchového proudu, nejsou dimenzovány na průchod poruchového proudu v souladu s PNE 33 0000-1. Tyto prvky jsou ochranně pospojovány s obvodovým zemničem pomocí měděného slaněného vodiče s průřezem 16 mm² s izolací z PVC (CYA H07V-K 16 ZZ). Tento vodič má barvu izolace zelenožlutou pro označení jeho ochranné funkce. Slaněný vodič je zakončen lisovacím okem pro šroub M8 umožňující jeho připojení. Připojení k vodivé části zařízení je pro dobrý galvanický kontakt opatřeno vějířovitou podložkou. Na obvodový zemnič je připojena kovová konstrukce rámu dveří a zapuštěná část kabelového žlabu. Vrchní kryty žlabu se nepřizemňují, neboť je zde dostatečné galvanické spojení s jeho přizemněným základem. Základ kabelového žlabu je taktéž galvanicky spojen se základy rozvodných skříní, které jsou taktéž připojeny na obvodový zemnič. Dále je na obvodový zemnič připojena ochranná klec transformátoru a vodivá kovová konstrukce výdechových otvorů.

Uzemnění neživých částí zařízení stanice

Přívody od neživých částí k obvodovému zemniči jsou tvořeny slaněným vodičem s jádrem z hliníku s dvojitou izolací PVC dle požadavků PN KA 203 o minimálním průřezu 35 mm² (1-AYY 1 x 35 ZŽ) a zakončeny nalisovanými oky s otvorem pro šroub velikosti M8. Tento vodič má dvojitou izolaci, která je v zelenožluté barevné kombinaci. Na neživé části vybavení stanice je tento vodič připevněn přes vějířovou podložku tak, aby bylo zajištěno kvalitní galvanické propojení.

Rozvaděč vysokého napětí je připojen k obvodovému zemniči s ohledem na maximální zkratový proud, zvolen na průřez 50 mm² (1-AYY 1 x 50 mm ZŽ). Pro spojení s obvodovým zemničem je využito lisované oko s otvorem M12. V rozvaděči vysokého napětí je stínění kabelů VN připojeno na kostru rozvaděče, která je uzemněná. Dle požadavků PNE 33 0000-1 je nutné propojit stínění kabelu na obou koncích s ochrannou soustavou sítě, tedy i ve stanicích TS 4715 a TS 8298. Navíc je v rozvaděči pohon odpojovačů, který je nutné individuálně připojit na kostru rozvaděče minimálně vodičem o průřezu 16 mm² z mědi dle požadavků PN KA 203. Využit je vodič (CYA H07V-K 16 ZZ), který má díky izolaci z PVC vysokou teplotní odolnost při zkratu (160 °C).

Kostra rozvaděče nízkého napětí je taktéž připojena na obvodový zemnič slaněným vodičem AYY 35 mm². U distribučního transformátoru je nutné nejen uzemnit jeho kostru, ale také střed vinutí NN zapojeného do hvězdy, tak aby byla splněna podmínka z PNE 33 0000-1, že odpor středu zdroje nemá přesáhnout 5 Ω pro zajištění minimálního odporu zemnicí soustavy. Kostra transformátoru je připojena na zemnič vodičem AYY 50 mm² a střed vinutí sekundárního vinutí transformátoru je připojeno na zemnič vodičem AYY 35 mm².

Neživé části přístrojů se uzemňují přes vnější ochranné svorky nebo postačuje galvanické propojení s uzemněnou konstrukcí. Pokud je zařízení umístěno v uzemněné konstrukci (kostra rozvaděče) pomocí šroubů s vějířovitou podložkou,

musí být zajištěno dostatečné galvanické propojení neživé části přístroje s rámem skříně vhodným průřezem šroubového spoje. Toto není možné učinit u odpojovačů a odpínačů, které musí mít individuální ochranný vodič.

Z transformační stanice vycházejí souběžně kabely VN a NN, jak je znázorněno v příloze č. 2.

5.1.2 VN distribuční síť

Z distribuční stanice TS 3915 vycházejí kabely přímo za místní hlavní komunikaci, kde se jejich trasa rozděluje. Směrem doleva vede podél pravé strany (pohled směr Kbely) komunikace kabelové vedení směrem do Kbel do stanice TS 4715. Směrem doprava směřuje vedení podél levé strany (pohled směr zámek) hlavní komunikace, která se stáčí u areálu zámku již mimo katastr hlavního města Prahy do Středočeského kraje do stanice TS 8298.

Přívodní vodiče jsou typu AXEKVCEY o průřezu žíly 240 mm². Stínění kabelů ve VN rozvaděči je nutné vyvést a propojit s uzemněnou kostrou rozvaděče dle platných podnikových norem. V trase VN kabelů je veden pásek do vzdálenosti 50 m od hrany stanice. Tímto jsou zajištěny požadavky globální uzemněné sítě dle PN KA 203 (nehrozí výskyt nebezpečných dotykových napětí). Rozvody VN a NN jsou vedeny v totožném výkopu z TS 3915 o hloubce 1,1 m, kde je zemnicí pásek uložen naplocho na rostlou zeminu a zasypán minimálně 10 cm pískového lože, aby bylo zajištěno nepoškození vnější vrstvy kabelových plášťů. Na písčitou vrstvu ke kladen kabel VN, na něj je nanášena písková vrstva s výstražnou fólií, následně je uložen rozvod nízkého napětí a zbylý prostor je zaplněn zeminou.

5.1.3 NN distribuční síť

Oblast Ctěnic je atypická oproti běžným kabelovým rozvodům na území Prahy. Převážná většina všech nízkonapěťových rozvodů je totiž tvořena kabelovými rozvody uložených v zemi. Avšak ve Ctěnicích je i nadzemní kabelový úsek, který vychází u parkoviště zámku a vede podél obvodové zdi zámeckého areálu až do zahrádkářských osad.

Hustota elektrických sítí se zvyšuje se snižující se napěťovou hladinou. Proto i pro relativně nevelkou oblast Ctěnic je tato síť relativně hustá. V této oblasti je napájeno celkem 19 rozvaděčů nízkého napětí. Pro větší přehlednost návrhu je vytvořeno liniové schéma a také jsou nahrazena originální označení rozvaděčů nízkého napětí PREDi číselným označením uvedených v kruhovém poli. Tab. 9 přiřazuje jednotlivá označení rozvaděčů v návrhu s reálným označením sítí v databázi PREDi. Všechny rozvaděče jsou umístěny v katastrálním území Praha – Vinoř, výjimku tvoří rozvaděč č.17, který leží v katastrálním území obce Přezletice (Středočeský kraj).

Značení ve výkresech je rozděleno na dvě části:

- Úsek napájející zemědělský areál nacházející se nalevo od TS 3915 má písmenné označení,
- Úsek napájející ostatní spotřeby nacházející se napravo od TS 3915 má číselné označení.

značení v návrhu	značení PREDi	číslo popisné	číslo parcely
A	-	-	1587/3
B	80/264	264	1585
1	80/862	862	677/1
2	-	862	677/1
3	-	862	677/1
4	-	261	680
5	80/259	259	686/4
6	-	259	686/3
7	-	259	686/3
8	-	259	686/2
9	-	259	690
10	-	259	690
11	-	259	686/6
12	-	259	686/6
13	80/259A	259	686/5
14	-	-	687
15	80/259Z	-	692
16	-	260	694
17	-	286	431/26

Tab. 9: Značení NN skříní a jejich umístění

Z TS 3915 vede celkem 6 nízkonapěťových kabelů. Tři jsou vedeny směrem do zemědělského areálu a tři směrem k zámku (napájení ostatních spotřeb). Všechny tyto vodiče jsou typu 3 x 240 + 120 AYKY. Jedná se o čtyřžilový kabel (K) s hliníkovými (A) slaněnými vodiči. Kde fázové vodiče mají průřez jádra 240 mm² a vodič PEN s průřezem jádra 120 mm². Izolaci žíly i pláště tvoří PVC (Y). Průřez vodiče PEN je poloviční velikosti průřezu fázového vodiče dle dovolené podmínky ČSN 33 2000–5–54, jelikož se jedná o vodič stejného materiálu a průřez fázového vodiče je větší než 35 mm².

5.1.3.1 Uložení zemničů

Zemniče v návrhu jsou tvořeny výhradně pozinkovanými pásky (vodorovnými zemniči). Snahou při návrhu je využít výkopových prací při obměně kabelového vedení, tedy ukládat zemní pásky na dno výkopů pro kabely nízkého napětí. Hloubka uložení vodičů nízkého napětí dle požadavků PNE 33-0000-1 je uváděna v rozmezí 0,5 -1 m s

hloubkou uložení zemničů pod zámraznou hloubku, která ovlivňuje zemní odpor. Nezámrazná hloubka v oblasti Prahy nepřesahuje 80 cm. Hloubka uložení kabelového vedení nízkého napětí je dle návrhu zvolena na 70 cm a u vysokého napětí 1 m, aby bylo možné zajistit souběžné vedení těchto sítí. Vodorovné zemniče jsou ukládány na dno výkopu. Zemní páska je překryt minimálně 10 cm silnou písečnou vrstvou na kterou je uložen samotný kabel. Tato vrstva chrání kabel před možným mechanickým poškozením způsobeném zemním páskem. Tedy pro vedení nízkého napětí se zemní páska dle návrhu pokládá minimálně do hloubky 80 cm.

Pokud se jedná o konečné rozvaděče nízkého napětí nebo rozvaděče s přívodem z vrchního vedení, není možné využít výkopu pro kabelové vedení. V tomto případě se provádí samostatný výkop pro uložení zemního páska s ohledem tak, aby výkop pro zemní páska co nejméně zasahoval do využitelného prostoru. Proto jsou navrhované trasy zemniče při nutnosti tohoto řešení, vedeny podél obvodových zdí, hran komunikací a snadno přístupných míst. Všechny výkopy pro samostatné zemniče jsou navrhovány tak, aby nebyla nutná renovace umělých povrchů (silničních svršků, dlažeb atd.). Hloubka uložení v tomto případě dosahuje minimálně 80 cm s ohledem na zámraznou hloubku.

Uzemňovací vodič přichází do nízkonapěťových rozvaděčů vždy z půdy na povrch, proto je nutné tento přechod mezi prostředími dle podnikové normy KA 203 taktéž antikorozně ošetřit. V návrhu je ochrana tvořena opětovně asfaltovou vrstvou 15 cm v zemině a 25 cm na povrchu.

5.1.3.2 Uzemnění vodiče PEN

Uzemnění vodiče PEN vychází z dovolených dotykových napětí při dodržení následujících normativních podmínek. Dle požadavků PNE 33 0000-1 je nutné uzemňovat vodič PEN (PE) tak, aby žádná kabelová skříň nebyla vzdálena více jak 100 m od nejbližšího místa uzemnění vodiče PEN (PE) v distribuční síti. Jednotlivá uzemnění vodiče PEN (PE) v trasách kabelového vedení mají mít odpor uzemnění nejvýše 15 Ω , není však nutné klást zemní páska o celkové délce větší než 20 m nebo jiné rovnocenné zemniče. Dále norma uvádí, že na konci odboček delších jak 200 m a na konci hlavního kabelového vedení, se vodič PEN (PE) uzemňuje tak, aby odpor jeho uzemnění byl nejvýše 5 Ω , není však nutné klást páska o celkové délce větší než 50 m nebo jiné rovnocenné zemniče.

5.1.3.3 Popis uzemnění zemědělského areálu

Jak již bylo zmíněno, napravo od transformační stanice vedou tři nízkonapěťové kabely v trase kabelu VN, kde se oddělují na bližší hraně komunikace a vedou dále směrem do zemědělského areálu dle přílohy č. 2. Na tuto přílohu navazuje příloha č. 3, kde kabely spolu vedou do křižovatky pod okrajem hlavní komunikace a následně uhýbají ve směru komunikace vedlejší. Do areálu zemědělské společnosti vstupují pod vedlejší komunikací. V areálu jsou dva distribuční rozvaděče. Do rozvaděče A vedou přímo dva kabely z TS 3915 a jeden kabel z transformační stanice pokračuje do rozvaděče B. Oba rozvaděče jsou kruhově propojeny propojovacím kabelem mezi sebou. Toto řešení umožní napájení obou rozvaděčů i v případě přerušení jednoho přívodního kabelu z TS.

Zemnění těchto rozvaděčů je dle PNE 33 0000-1 provedeno vyvedením zemnicích pásků FeZn 30 x 4 mm. V obou rozvaděčích končí dlouhé hlavní vedení NN z TS 3915. Pro dodržení normativních požadavků je v návrhu rozvaděč A uzemněn dvěma pásky o celkové délce 50 m. Každý pásek vede v trase napájecího kabelu 25 m od rozvaděče. Rozvaděč s označením B je taktéž uzemněn dvojicí 25 m pásků, avšak zde je pouze jedna trasa kabelu. Proto je nutné druhý pásek vyvést na opačnou stranu. Tento pásek vede podél vedlejší budovy, aby neomezoval využití okolních volných prostor v hloubce 80 cm.



Obr. 21: Fotografie zemědělského areálu ve Ctěnicích

5.1.3.4 Popis uzemnění rodinných domů

Před transformační stanicí po pravé straně je podél hlavní komunikace vybudován komplex šesti rodinných domků společně stavebně přiléhajících, jak je vyobrazeno v příloze č. 2. Z transformační stanice vychází směrem k zámeckému areálu trojice nízkonapěťových kabelů. Jeden z kabelů vede od transformační stanice přímo do rozvaděče č.13 v areálu zámku. Druhý kabel vede přímo ze stanice také do areálu zámku, ale do rozvaděče č. 5. Do tohoto rozvaděče je přiveden i poslední napájecí kabel, který napájí všechny rodinné domy podél komunikace. Prvním rozvaděčem, který tento kabel napájí, je rozvaděč č. 1.

Rozvaděč č. 1 je velký oceloplechový. V návrhu bylo navrženo jeho uzemnění jedním 20 m páskem v trase kabelu do rozvaděče č. 2 tak, aby nebyl v totožné trase s vodorovným zemničem vedeným v trase kabelu vysokého napětí. Rozvaděč č. 2 a č. 3 jsou vzdáleny méně než 100 m od uzemněných rozvaděčů č. 1 a č. 4, proto není nutné je přizemňovat. Rozvaděč č. 4 napájí několik desítek metrů vzdálený rodinný dům. Tento rozvaděč je od uzemněného rozvaděče č.1 vzdálen 146 m a od rozvaděče č. 5 142 m, tedy je nutné jej uzemnit. V návrhu je tento rozvaděč uzemněn dvojicí zemnicích pásků v trase kabelového vedení o celkové délce 20 m (2 x 10 m).



Obr. 22: Fotografie rodinných domů ve Ctěnicích

5.1.3.5 Popis uzemnění zámeckého areálu

Návrh uzemnění zámeckého areálu a jeho okolí je uveden v příloze č. 4. Jak již bylo uvedeno v předchozí podkapitole dva napájecí kabely z TS vedou do rozvaděže č. 5 a jeden do rozvaděče č. 13. Jedná se o hlavní rozvaděče areálu. Do rozvaděče č. 5 je celkem přivedeno sedm kabelů dva přívodní a čtyři napájecí do podružných rozvaděčů (č. 6, č. 7, č. 12, č. 14) a jeden kabel pro kruhové propojení s rozvaděčem č. 13. Z rozvaděče č. 5 vede samostatný napájecí kabel do rozvaděče č. 6, kde je ukončen.



Obr. 23: Fotografie vstupu do zámeckého areálu ve Ctěnicích

Zámecký areál je veřejně navštěvované místo, z tohoto důvodu je vhodné minimalizovat možné dotykové napětí. Tento návrh uvažuje s vybudováním kruhového zemniče po obvodu celého areálu. Tento obvodový pásek vychází z rozvaděče č. 5, dále propojuje rozvaděče umístěné po obvodu (č. 7, č. 8, č. 9, č. 10, č. 11 a č.12). Z rozvaděče č.12 je obvodový pásek znovu přiveden do rozvaděče č.5. Pro uvedení na stejný potenciál s blízkým rozvaděčem č. 13 je zřízen propojující zemnič v trase propojujícího kabelu mezi rozvaděčem č. 5 a č. 13. Rozvaděč č. 6 by nebylo nutné individuálně zemnit, jelikož jeho vzdálenost od nejbližšího uzemněného rozvaděče nedosahuje 100 m a ani délka této odbočky nepřesahuje 200 m, ale z důvodu minimalizace dotykových potenciálů v tomto areálu je rozvaděč přizemněn 20 m páskem v trase přívodního vedení.

Z rozvaděče č. 5 je napájena nedaleko umístěná katodická ochrana plynových potrubí, která využívá metody externího zdroje proudu. Nutnou energii získává právě z rozvaděče nízkého napětí č. 14 umístěného v těsné blízkosti prvního sloupu vrchního kabelového vedení. Rozvaděč č. 14 není nutné individuálně uzemňovat, jelikož vzdálenost od uzemněného rozvaděče č. 5 nedosahuje vzdálenosti 100 m.

Z rozvaděče č. 13 vychází napájecí kabel 3 x 120 + 70 AYKY pro napájení zahrádkářské osady . Za asfaltovým parkovištěm kabel vychází na povrch a vede podél příjezdové cesty u obvodové zdi zámeckého areálu do rozvaděče č. 15. Uzemnění vrchního kabelového vedení je zajištěno uzemněním v nejbližších rozvaděčích na začátku a na konci vedení. Tedy v tomto případě nejbližší rozvaděč je rozvaděč č. 13 a ten je již uzemněn.

5.1.3.6 Popis uzemnění zahrádkářské kolonie

Vrchní vedení pokračuje dále okolo zámeckého areálu dle přílohy č. 5. Na rohu je vedení svedeno do rozvodné skříně č. 15. V této skříně je vedení rozděleno do dvou směrů. Jedno vedení pokračuje rovně do zahrádkářské kolonie ke konečnému rozvaděči a druhé vedení zahýbá po obvodu zdi a končí v koncovém rozvaděči č. 16. Rozvodná skříně č. 15 je nejbližší koncovému sloupu vrchního vedení, proto je nutné jí uzemnit. Pásek je veden na obě strany obvodové zdi zámeckého parku. Na jedné straně je vyveden pásek délky 25 m. Na druhé straně podél zdi je rozvaděč č. 16 vzdálený 53 m, který je nutné taktéž uzemnit. Proto není možné položit jeden pásek z každého rozvaděče (2 x 25 m) podél zdi, protože by jejich vzdálenost nebyla dostatečná a hrozil by velký rozdíl potenciálů mezi nimi. Proto je veden místo těchto dvou pásků pouze jeden zemničí pásek propojující rozvaděče č. 15 a č. 16. Rozvaděč č. 16 má navíc položen další zemničí pásek délky 25 m vedený podél obvodové zdi domu a vedlejší komunikace. Rozvaděč č. 17 je uzemněn páskem 2 x 25 m. Jeden pásek je veden podél obvodové zdi objektu a druhý pásek je veden podél přístupové cesty. Tímto návrhem je pro rozvaděče č. 16 a 17 splněn požadavek na maximální dovolený zemní odpor na konci odboček vedení dle platných norem.

5.2 Vozovna Hloubětín

Druhá praktická část mé práce je zaměřena na problematiku uzemnění měnírny pro tramvajovou trať. Cílem této části je navrhnout uzemnění stavebních prostor této velkoodběratelské stanice, která patří pod správu PRE distribuce, a. s. (PREdi). Jedná se o prostor nízkonapěťové části stanice a vysokonapěťové části PREdi. Dále se v budově měnírny nachází místnost měnírny Dopravního podniku hlavního města Prahy, a. s. (DPP) a technické zázemí budovy a nízkonapěťovou distribuční síť.



Obr. 24: Fotografie pohled do areálu vozovny Hloubětín

Tato rozvodna během celkové rekonstrukce vozovny bude muset být taktéž modernizována nebo nahrazena nově postavenou budovou měnírny. Ve své práci vycházím z vnějších rozměrů současné budovy a zároveň z poskytnutých informací od odborníků PRE o vnitřním uspořádání měnírny. V okolí měnírny není zavedena optická telekomunikační síť PRE. Proto ve svém návrhu uvažuji s využitím metalických datových vodičů.

Ve svém návrhu dodržuji platné technické normy. Problematice návrhu velkoodběratelských stanic pro napájení tramvajových tratí je věnována část podnikové normy PRE KA 203. Návrh nezahrnuje návrh uzemnění části patřící Dopravnímu podniku (DPP), k němuž kromě samostatné části měnírny přísluší i návrh uzemnění samotné budovy.

Návrh elektrických stanic napájejících stejnosměrnou trakci je specifický svými požadavky. Tyto stanice musí být přizpůsobeny k omezení šíření bludných proudů ze stejnosměrné trakce do ostatních elektrických soustav. Měnírna ve vozovně Hloubětín je navíc vybavena distribuční stanicí nízkého napětí. Ačkoli se nedoporučuje, dle příslušné podnikové normy (KA 203), kombinace distribuční stanice a měnírny

tramvajové tratě umisťovat do stejné oblasti, není možné vždy těmto požadavkům vyhovět. Jednou z těchto stanic je i navrhovaná měnírna.

Jak již bylo uvedeno v podkapitole 3.1.1 bludné proudy ze stejnosměrné trakce způsobují korozivní úbytek kovových konstrukcí. Průtok těchto nežádoucích proudů může ovlivnit životnost železobetonových staveb a dalších kovových technologií. Tramvajové tratě jsou vybaveny zpětnými kabely vedoucími zpět do měnírny, ale i přes izolované kolejnice od silničního svršku není vyloučen únik zpětného proud přes veřejnou distribuční síť zpět do měnírny, a to zejména v případě poškozené izolace koleje nebo zvýšené vlhkosti (děšť). Takto zavlečený proud nejenom ohrožuje stavby napojené na distribuční síť zvýšenou korozí, ale taktéž zatěžuje samotné vodiče průtokem zpětného proudu.

Pro zamezení zavlečení bludných proudů do veřejné distribuční sítě bylo v 90. letech rozhodnuto o oddělení uzemnění napájení v měnírnách veřejné dopravy z veřejné distribuční sítě (PREdi) a technologie stejnosměrné trakce spravovanou Dopravním podnikem. Oddělení uzemňovacích systémů má zajistit dostatečný rozdíl impedancí mezi veřejnou distribuční sítí a uzemněním Dopravního podniku tak, aby zpětný proud ze stejnosměrné trakce se uzavíral zpět do měnírny výhradně přes zpětné kabely k tomu určené. Pro dosažení vyšší impedance je uzemnění stínění napájecích kabelů 22 kV a sdělovacích metalických kabelů dle požadavků KA 203 vyvedeno na vzdálené uzemnění.

Stejně jako při návrhu oblasti Ctěnic je i tato elektrická stanice TS 1440 propojena s ostatními stanicemi přes pláště přívodních VN kabelů. Tímto opatřením se stanice stává součástí celkové (globální) uzemňovací soustavy, kde se nepředpokládá výskyt nebezpečných dotykových napětí. Toto spojení je ve stanici TS 1440 zajištěno vyvedením na vzdálené uzemnění. Po realizaci technického řešení je nutné měření prokázat, že je stanice součástí celkové uzemňovací soustavy a odpor uzemnění nepřesahuje 15 Ω dle požadavků KA 203.

Návrh uzemnění měnírny je uveden v příloze č. 7.

5.2.1 Stavební část stanice TS 1440

Návrh vychází z reálných vnějších rozměrů současné měnírny o délce 23 m a šířce 11 m. Vnitřní uspořádání bylo navrženo s ohledem na okolní budovy. Měnírna je rozdělena na dvě hlavní oblasti: prostory měnírny a technické zázemí. Vpravo od měírny jsou budovy dopravního podniku, proto je i část měírny dopravního podniku situována na pravé straně. Část měírny Dopravního podniku sdílí stavebně prostor s vysokonapěťovou částí stanice PRE. Tyto dva prostory jsou od sebe odděleny kovovou klecí. Mezi prostory je možné procházet zřízenými dveřmi. Zázemí dopravního podniku je prostornější, aby bylo možné umístit jejich technologii, zejména jejich výkonné transformátory. Proto jsou i dveře do této části budovy větších rozměrů.

Díky existenci společné distribuční stanice nízkého napětí a trakční měírny je nutné stavebně separovat prostory nízkonapěťové části dle požadavků KA 203. Důvodem stavební separace je zamezení možného propojení uzemňovacích soustav. Nízkonapěťová část se nachází nalevo od vysokonapěťové části PRE.

5.2.2 VN část stanice TS 1440

5.2.2.1 Vedení VN

Do stanice 1440 vchází dva vysokonapěťové kabely 22 kV 3 x 1 x 240 AXEKVCEY. Jeden z kabelů vychází ze stanice s označením TS 9930 a druhý propojuje měnirnu se stanicí TS 9580. Tyto kabely přicházejí do vysokonapěťového rozvaděče. Vysokonapěťový rozvaděč je složen ze čtyř polí. Krajní levé pole je vývodové pole do distribučního transformátoru v NN části. Prostřední dvě pole jsou přívodní - každé pro jeden napájecí VN kabel. Z pravého krajního pole je vyveden VN kabel pro napájení technologie dopravního podniku.

VN kabel pro připojení distribučního transformátoru 22/0,4 kV má své stínění uzemněno v NN části na HOP 2 (potenciál vzdáleného uzemnění). Proto stínění na druhém konci (VN rozvaděč) musí být vhodně zaizolováno, aby nedošlo ke galvanickému propojení s neživými částmi VN rozvaděče, který je připojen na HOP 1 (potenciál DP).

5.2.2.2 Výzbroj VN části stanice

Mimo již zmíněný VN rozvaděč je v této části situován oddělovací transformátor, rozvaděč vlastní spotřeby a rozvaděče pro telekomunikační technologie. Skříň MS slouží k přívodu sdělovacích kabelů. Telekomunikační přístroje jsou uloženy ve sdělovací skříni SD. Napájení komponentů zajišťuje 24 V zdroj s baterií umístěný ve skříni s označením RU.

5.2.2.3 Uzemnění VN části stanice

V tomto stavebním prostoru se nachází dvě uzemňovací přípojnice.

5.2.2.3.1 Potenciál vzdáleného uzemnění

Dle normy KA 203 musí být vyvedeno na vzdálené uzemnění stínění přívodních kabelů a stínění metalických sdělovacích kabelů. Toto uzemnění neplní bezpečnostní funkci (není napojeno na potenciál budovy), proto je nutné, aby barva všech vodičů byla černá. Pro vzdálené uzemnění je v místnosti vytvořena samostatná uzemňovací přípojnice (UP). Přípojnice UP je obdobně jako HOP 2 napojena na vzdálené uzemnění vodičem AYY 70 (Al zemní kabel s PVC izolací a PVC pláštěm o průřezu jádra 70 mm²) vedeným v chrániče vespod VN trasy kabelů do zemního boxu. Z UP vycházejí pro vyvedení stínění kabelů ve vnitřku budovy 3 černé vodiče typu AES 35 (samostatný vodič s PE izolací a Al jádrem o průřezu 35 mm²). Dva vodiče vedou po levé straně do prostředních polí VN rozvaděče, kde jsou napojeny na stínění přívodních kabelů. Třetí vodič vede do MS skříň sdělovací techniky, kde je připojen na stínění přívodních metalických sdělovacích kabelů.

Všechny svorky s jiným potenciálem, než je potenciál měřírny (HOP 1), musí být izolované a označené dle požadavků KA 203 bezpečnostní značkou ČSN ISO 3864 NB.3.01 s nápisem 06 – „Pozor možnost výskytu napětí životu nebezpečného“.

VN rozvaděč musí být vybaven izolovanou přípojnici pro připojení stínění přírodních kabelů. Dle požadavků PREDi je nutné, aby tato přípojnice byla zkoušena na 4 kV a byla testovaná při kusové zkoušce rozvaděče. Izolovaná přípojnice je dle požadavků dále vybavena plastovým krytem zamezujícím nahodilému dotyku.

Skříň pro připojení metalických sdělovacích kabelů musí být taktéž vybavena izolovanou přípojnici pro připojení jeho stínění na vzdálené uzemnění. Izolační hladina izolátorů má být 1 kV dle požadavků KA 203. Izolovaná přípojnice je taktéž kryta proti nahodilému dotyku plastovým krytem.

5.2.2.3.2 Potenciál Dopravního podniku

Z uzemnění budovy vychází dva vývody, které jsou přes zkušební rozpojovací svorky přivedeny na hlavní ochrannou přípojnicí HOP 1. Tedy na této přípojnicí je potenciál měřírny (DP). HOP 1 je umístěna 30 cm nad podlahou. Na tuto přípojnicí musí být přivedeny všechny neživé části a cizí vodivé části nacházející se v tomto prostoru. Vodiče propojující tyto části s hlavní ochranou přípojnici (HOP 1) plní ochrannou funkci, tedy jejich barva izolace je zeleno – žlutá (z/ž). Všechny vodiče vycházející z HOP 1 jsou totožného typu AES 35 dle požadavků podnikové normy KA 203.

Cizí vodivé části, které je nutné připojit na HOP 1, jsou vstupní dveře do VN části, ale také dveře do části nízkého napětí. Dále je na potenciál měřírny přivedena ochranná klec i s dveřmi oddělující část PREDi a DP.

Neživé části, kterými jsou zejména skříň rozvaděčů, jsou taktéž napojeny na HOP 1. Přístrojové skříňe pro telekomunikační techniku (RU, MS, SD) jsou každá individuálním izolovaným vodičem připojeny na ochranu přípojnici. Uzemnění VN rozvaděče, který je složen ze čtyř polí, vychází svými požadavky na uzemnění z individuálního návrhu výrobce tohoto rozvaděče. Pro můj návrh bylo užito obvyklé společné uzemnění pro dvojici polí. Tedy z HOP 1 vedou dva zemní vodiče k VN rozvaděči. Posledními zařízeními v této oblasti, které je nutné propojit s potenciálem měřírny, jsou oddělovací transformátor vlastní spotřeby (OT) a přípojnice středního (N) a ochranného vodiče (PE) v rozvaděči vlastní spotřeby (RVS 1). Obdobně jako u připojení středu uzlu sekundárního vinutí distribučního transformátoru je i v oddělovacím transformátoru sekundární vinutí do hvězdy napojeno na dvojici vodičů vedoucích z HOP 1, aby byla zajištěna bezpečnost i při přerušení jednoho z nich. První vodič AES 35 propojuje HOP 1 se středem vinutí oddělovacího TR. Tento střed je napojen na ochrannou přípojnicí v rozvaděči vlastní spotřeby. Na tuto přípojnicí je přiveden druhý vodič AES 35 z HOP 1. Samostatný vodič AES 35 vede z HOP 1 na kostru oddělovacího transformátoru.

5.2.3 NN část stanice TS 1440

5.2.3.1 Výzbroj NN části stanice

V místnosti pro nízkonapěťovou distribuci je umístěn distribuční transformátor 22/0,4 kV 630 kVA, rozvaděč nízkého napětí, rozvaděč vlastní spotřeby (RVS 2) a skříň pro telekomunikační techniku (Rack).

5.2.3.2 Uzemnění NN části stanice

Všechny vodiče připojené na HOP 2 plní ochrannou funkci, proto jsou označeny zeleno-žlutou (z/ž) kombinací. Všechny vodiče jsou totožné izolované vodiče AES 35. K HOP 2 je přes zkušební zemní svorku napojen vodič AYY 70. Vodič AYY 70 je umístěn v kabelové chráničce. Tímto vodičem je vyváděn potenciál z HOP 2 na vzdálené uzemnění mimo vliv uzemnění měřírny (DP) pod trasou přírodních VN kabelů do zemního boxu, dle přílohy č. 7.

Všechno vybavení a vodivé části, vyjma vstupních dveří, musí být vyvedeno na vzdálené uzemnění tak, aby bylo zamezeno propojení s potenciálem budovy (DP). Vstupní dveře do místnosti jsou součástí uzemnění stavby. Tedy jsou připojeny na uzemnění budovy (DP) přes hlavní ochranu přípojnic (HOP 1) ve VN části budovy. Aby byla zajištěna bezpečnost a nemohlo dojít k dotyku mezi různými zemními systémy (potenciál PREDi a DP), musí být celý povrch vstupních dveří do NN rozvodny krytý nalepovací izolační fólií.

V místnosti je navržena hlavní ochranná přípojnice (HOP 2), která je umístěna 30 cm nad podlahou. Na tuto přípojnicu je připojena kostra transformátoru. Skříň rozvaděče nízkého napětí a skříň telekomunikační techniky (Rack). Rozvaděč vlastní spotřeby (RVS 2) je celoplastový s dvojitou izolací. Pro oddělení zemních potenciálů je rozvaděč propojen s rozvaděčem vlastní spotřeby (RVS 1) umístěným ve vysokonapěťové části přes oddělovací transformátor. Na HOP 2 je dále napojeno stínění napájecího VN kabelu pro distribuční transformátor. Na přípojnicu HOP 2 je též připojen střed hvězdy sekundárního vinutí distribučního transformátoru, který je připojen i do rozvaděče NN na přípojnicu PEN. Přípojnice PEN je propojena s kosterou rozvaděče NN, který je individuálním vodičem přiveden zpět na HOP 2. Tímto zapojením je zajištěno lepší uzemnění středu hvězdy TR i při přerušení jednoho zemnicího vodiče dle požadavků KA 203. V rozvaděči Rack je stínění metalických sdělovacích kabelů připojeno na kosteru rozvaděče, která je připojena na HOP 2. Rozvaděč vlastní spotřeby je plastový, aby bylo docíleno napájení spotřebičů z tohoto rozvaděče ze sítě TN – S, je vyveden samostatný vodič z HOP 2 do tohoto rozvaděče.

5.2.4 Propojení uzemňovacích systémů

Vlastní spotřeba obou částí (NN a VN) je napájena z distribučního transformátoru umístěného v nízkonapěťové části. Nízkonapěťová část je připojena na vzdálené uzemnění, přičemž část vysokonapěťová má svou výzbroj připojenou na potenciál měnirny. Aby nedošlo k propojení těchto rozdílných potenciálů, není možné přímo napájet zařízení vlastní spotřeby přes rozvaděč nízkého napětí. Rozvaděče vlastní spotřeby mají ochranu před dotykem tř. II, tedy jsou chráněny zesílenou nebo dvojitou izolací. Jedná se o plastové nevodivé rozvaděče, které není nutné připojovat na ochranu přípojnic. K oddělení potenciálů slouží oddělovací transformátor. Transformátor nemá snižující ani zvyšující funkci. Slouží pouze ke galvanickému oddělení primárního a sekundárního vinutí. Transformátor je třífázový, jelikož v rozvaděčích vlastní spotřeby je instalována třífázová zásuvka pro potřeby výjezdových čt. Primární strana vinutí je napojena do stavební části nízkého napětí do RVS 2. Střed primárního vinutí je vyveden do RVS 2. Tento vodič neplní funkci ochranného vodiče, jedná se o vodič pracovní (N). Střed sekundárního vinutí již plní ochrannou funkci a jak již bylo zmíněno, je přímo napojen na HOP 1 a ochrannou přípojnicí (PE) v RVS 1. Má tedy zelenožlutou kombinaci izolace.

U rozvaděčů vlastní spotřeby je umístěna bezpečnostní tabulka s textem „Elektrické ruční nářadí používat pouze v prostoru ve kterém je elektricky připojeno.“, aby nedošlo k nežádoucímu propojení uzemňovacích systémů.

V některých případech (např. najížděcí zkoušky VN, kabelů, určování sledu fází nebo při práci na VN kabelech) je nutné propojit navzájem oba uzemňovací systémy. Z tohoto důvodu je hlavní ochranná přípojnice (HOP 1) a uzemňovací přípojnice (UP) navržena blízko od sebe. Pro propojení zemnicích systémů se využívá paralelní kombinace pojistkového odpínače se zkratovací vložkou a průrazky. Průrazka je dle požadavků KA 203 průrazka s opakovanou funkcí. V návrhu je zvolena průrazka TSF 100 firmy Leutron. Tato průrazka při vyšším rozdílu potenciálů uzemňovacích soustav propojí oba systémy. Zápalné napětí (rozdíl potenciálů), při kterém má průrazka propojit obě zemnicí přípojnice (HOP 1 a UP), je dle požadavků KA 203 stanovena na 70 V. Toto zápalné napětí je vyšší než dovolené dotykové napětí pro laiky (50 V). Je proto nutné prostor mezi HOP 1 a UP označit výstražnou tabulkou „Pozor možnost výskytu napětí životu nebezpečného“. Pojistkový odpínač se zkratovací vložkou je připojen k uzemnění měnirny (k HOP 1) vodičem AES 35 mm² se zelenožlutou kombinací izolace (ochranná funkce) a k přípojnicí vzdáleného uzemnění (k UP) totožným typem vodiče, ale s černou barvou izolace. Obdobně je zapojena i paralelně umístěná průrazka. Uzemňovací přípojnice včetně průrazky je umístěna v nevodivém plastovém krytu k zamezení dotyku s rozdílným potenciálem než s potenciálem budovy dle požadavků KA 203.

5.2.5 Vývod na vzdálené uzemnění

Z uzemňovací přípojnice (UP) ve VN části odchází na vzdálené uzemnění v chráničce vespod trasy VN přívodních kabelů vodič AYY 70. Tento vodič se těsně za měřnou sbíhá se shodným vodičem z HOP 2. Návrh vzdáleného uzemnění je uveden v příloze č. 8. Oba vodiče souběžně vedou s VN kabely až do míst, kde VN napájecí kabely stanice zahýbají do směru trasy ostatních VN kabelů. Vývody vzdáleného uzemnění vedou dále rovně pod násypem kolejové tratě v hloubce 1 m, dle požadavků pro křížení a souběhy sítí technického vybavení uvedených v ČSN 73 6005. Kolejová trasa je na potenciálu měřny. Dle požadavků normy KA 203 je nutné vyvést vzdálené uzemnění minimálně 20 m (při standardních půdních podmínkách) od potenciálu Dopravního podniku. V návrhu vyvádím vzdálené uzemnění do vzdálenosti 25 m od násypu kolejové tratě, jelikož při průzkumu místa pro uložení zemního boxu bylo zjištěno, že box je možné uložit až po 25 m od potenciálů kolejí. V okolí násypu je hustá vegetace a taktéž samotný násyp kolejové tratě se svažuje pozvolna. Je taktéž nutné zemní box uložit dále od násypu, aby nebyl v bezprostřední blízkosti hrany násypu v případě deště ohrožen nadbytkem dešťové vody. Zemní box musí být geodeticky zaměřen a uveden ve stavebním povolení měřny. Zemní komoru je nutné zabezpečit tak, že je jí možné otevřít pouze kličkou nebo nástrojem. Dále musí tento box zajistit dostatečnou ochranu spoje v něm uloženého (voděodolnost). Zemní komora je vyhotovena z plastické hmoty. Do zemní komory jsou přivedeny oba vodiče AYY 70 z budovy měřny.

Spojení uzemňovacích přívodů s uzemňovacím páskem FeZn 30 x 4 mm je zajištěno šroubovým spojem. Konec kabelu AYY 70 je opatřen nalisovaným pocínovaným okem pro šroub velikosti M 10, přes který je připojen k zemnímu pásku. Spoj je opatřen antikorozií vrstvou tvořenou za tepla nanášenou asfaltovou lepenkou. Zemní pásek je veden dle požadavků normy do vzdálenosti 50 m od zemní komory. Jeho doporučené umístění je vespod trasy VN kabelů, které se nacházejí v blízkosti zemní komory, ale tyto kabely jsou již instalovány pod nově položeným dlažebním svrškem nově vybudovaného bytového komplexu. Proto návrh uvažuje s uložení zemního pásku do rostlé půdy v nezastavěné oblasti do nezámrazné hloubky 80 cm po pravé straně komunikace dle přílohy č. 8.

Závěr

Při výběru tématu diplomové práce jsem cílil na téma, které bude možné prakticky využít a zároveň mi umožní rozšířit mé zkušenosti a znalosti v elektrotechnické oblasti. Z tohoto důvodů jsem vyhledával témata diplomových prací zejména ve společnostech věnujících se distribuci elektrické energie. Ve společnosti PREdistribuce, a.s. mě zaujalo zadání věnující se širšímu tématu uzemnění městské distribuční sítě. Problematice distribučních sítí jsem se již věnoval ve své bakalářské práci, jelikož je mým zájmem profilovat se do tohoto odvětví. Další nespornou výhodou je možnost využití mé práce pro interní potřeby společnosti.

Práce je věnována uzemnění distribuční sítě v městském prostředí. Práce podává komplexní informace o problematice uzemnění distribuční soustavy. První část se zabývá definicí samotného uzemnění a požadavky norem pro bezpečné provozování elektrických sítí. Tato kapitola se podrobněji věnuje shrnutí požadavků platných norem tak, aby bylo dle těchto informací možné vytvořit návrh uzemnění elektrických stanic i elektrických stanic napájejících stejnosměrnou elektrickou trakční soustavu, které jsou specifické svými požadavky na bezpečnost uzemňovací soustavy. Druhá kapitola se soustřeďuje na teorii měření elektrického odporu půdních struktur, neboť půdní struktury jednotlivých půdních vrstev mají různé elektrické vlastnosti. Dále tato kapitola pojednává o problematice měření samotných uzemňovacích soustav a popisuje jednotlivé druhy používaných zemniců. Třetí část se zaměřuje na problematiku ostatních inženýrských sítí, jejichž koncentrace na městském území je značná. Velký prostor je v této kapitole poskytnut problematice elektrické trakce a jejím specifickým požadavkům, včetně problematiky bludných proudů. Čtvrtá kapitola se zabývá problematikou impedanční smyčky a topologií elektrických sítí. Poslední kapitola obsahuje dvojici vlastních praktických technických návrhů uzemňovacích soustav. Jednotlivé návrhy byly zadány tak, abych využil nahromaděné poznatky z předešlých částí své práce i příslušných norem státních, energetických i vnitropodnikových. První část této kapitoly se věnuje návrhu uzemnění příměstské oblasti v okrajové části hlavního města Prahy. Při tomto návrhu byla navržena uzemnění VN a NN sítí v zadané oblasti a také uzemnění samostatně stojící transformační stanice VN/NN. Oblast byla zadána jednak pro svoji různorodost zásobených objektů elektrickou energií a také v neposlední řadě z důvodu nutné budoucí renovace stávající sítě. Druhá část poslední kapitoly obnáší návrh tramvajové měničny v pražském Hloubětíně. Zde jsem navrhoval uzemnění elektrických částí stanice, kterou spravuje PREdistribuce, a.s. Dále jsem navrhl vhodné vyvedení vzdáleného uzemnění z této stanice. Tato stanice, stejně jako zbytek areálu vozovny, bude v nejbližších letech modernizována.

Zadání práce bylo vyčerpáno a splněno ve všech bodech. Po celou dobu vzniku byla diplomová práce průběžně konzultována s vedoucím práce i s odborníky v oboru distribuční soustavy (PREdi) i městské kolejové dopravy (DPP).

Práce čtenáři přináší komplexní informace týkající se uzemnění distribučních sítí. V práci jsou shrnuty požadavky jednotlivých norem, které se věnují této problematice doplněné o teoretické poznatky.

Je zde také upozorněno na určitá bezpečnostní a materiální rizika související s tímto tematickým okruhem a také popsáno, jakým způsobem jim účinně čelit.

Dále se čtenář seznámí s informacemi o ostatních inženýrských sítích, zejména o jednotlivých druzích elektrické trakce. V neposlední řadě je v práci využito teoretických znalostí při řešení různorodých reálných aplikací. Díky této struktuře čtenář získá komplexní povědomí o studované problematice a její návaznost na ostatní oblasti zájmu spojené s touto problematikou.

Zrod diplomové práce nebyl jednoduchý. Při její tvorbě jsem se potýkal s několika nesnázemi. Bohužel mě při tvorbě práce výrazně omezila opatření okolo pandemické koronavirové krize, která paralyzovala celý svět. Díky zavedeným opatřením byly odsunuty možnosti konzultací, osobního interního průzkumu zadaných oblastí a další komplikace spojené s touto výjimečnou situací.

Práce mi při tvorbě umožnila získat mnoho cenných osobních zkušeností. Ověřil jsem si, že jednou z hlavních priorit při procesu řešení návrhů v této oblasti je provozní bezpečnost a ochrana zdraví osob a zabránění hmotným škodám. Důležité místo zde má zejména dostatečné dimenzování použitého materiálu a způsob provedení s ohledem na vysokou životnost technického řešení. Mezi hlavní osobní benefity řadím práci se závaznými normami. Ze začátku jsem měl velký problém s normotvorbou, jelikož je nutné vhodně kombinovat několik příslušných norem a získat z nich potřebné informace pro danou oblast zájmu. Z počátku, kdy jsem začínal studovat problematiku zemnění, bylo pro mě velice těžké vyznat se v příslušných normách. Problémy mi zejména dělala souslednost poskytovaných informací a vzájemné propojování navazujících norem. Jsem rád, že jsem si zvolil toto téma, které úzce souvisí s normami, jelikož práce s nimi není intuitivní, ale pro praktické využití je nutné se v tomto systému orientovat. Dostupnost závazných norem pro studenty také není ideální. K dalším osobním přínosům bych zařadil práci s grafickým editorem ProfiCAD a k tomu nutné studium technického kreslení, které jsem při studiu neabsolvoval a bylo nutné si tyto požadavky dostudovat individuálně. Práce obsahuje většinu obrázků a schémat přenesených v tomto programu z použité literatury pro větší přehlednost a estetičnost. Taktéž jsem si doplnil vědomosti o energetických distribuční sítích a kolejové trakční dopravě, které hodlám využít pro mou osobní technickou praxi, abych mohl efektivněji provádět své pracovní úkony. Mezi nejcennější zkušenosti získané při tvorbě této práce řadím fakt, že teoretické předpoklady jsou v některých ohledech rozdílné od technické praxe, u které není z různých důvodů (časových, ekonomických, atd.) možné striktně dodržovat teoretické předpoklady. V neposlední řadě jsem velice rád za poskytnuté konzultace s odborníky v této oblasti, kteří mi nezištně umožnili získat potřebné informace a zkušenosti, nad rámec svých pracovních povinností.

Při psaní práce jsem konzultoval se zaměstnanci PRE distribuce, a.s., požadavky jejich podnikových norem. Mé věcné dotazy mohou být využity k inovaci podnikové normy KA 203 tak, aby byla ještě komplexnější a srozumitelnější. Vypracované technické návrhy řeší reálné úseky distribuční sítě, které budou v budoucnu revitalizovány. Je tedy možné tyto návrhy interně využít a technická řešení převést do finálního stavebního plánu stanic.

Věřím, že práce bude přínosná nejenom pro PREdistribuci a.s., ale také pro všechny, které zajímá tato oblast energetiky a hledají souhrnný pohled na tuto problematiku bez nutnosti studování norem.

Zdroje

- [1] *Česká technická norma ČSN IEC 33 60050-614 Mezinárodní elektrotechnická slovník - Část 614: Výroba a rozvod elektrické energie - Provoz.* b.r.
- [2] OSOLSOBĚ JAN, Zapletal. *Zemnění a bezpečnost.* Československá akademie věd, 1964.
- [3] Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie PNE 33 0000 - 1 (6. vydání) Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě . Dostupné z: <https://www.csres.cz/CZ/podnikove-normy>, b.r.
- [4] *Česká technická norma ČSN IEC 33 60050-816 Mezinárodní elektrotechnická slovník - Část 826: Elektrické instalace.* b.r.
- [5] Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie PNE 33 0000 - 2 (5. vydání) Stanovení základních charakteristik vnějších vlivů působící na rozvodná zařízení distribuční a přenosové soustavy. Dostupné z: <https://www.csres.cz/CZ/podnikove-normy>. b.r.
- [6] HEJHAL, JAN. *Podniková norma PREDi, PREDs Uzemnění rozpínacích stanic a trafostanic, včetně distribučních.* 2019.
- [7] NOVOTNÝ, Ing. *Uzemnění a jeho měření.* Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1973.
- [8] DOLEČEK, Radovan a Ondřej ČERNÝ. *Trakční napájecí soustavy: studijní opora.* Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015. ISBN 978-80-7395-881-7.
- [9] KOČVARA, Antonín. *Uzemňování elektrických zařízení.* Praha: STRO.M, spol.s.r.o, 1995.
- [10] *TP 124 – Technické podmínky Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních konstrukcí.* Schváleno: Ministerstvem dopravy MD – OI čj.: 1092/08-910-IPK/1, JEKU s.r.o, Prosinec 2008.
- [11] JAROSLAV REICHL, Martin. Faradayovy zákony elektrolýzy. [Http://fyzika.jreichl.com](http://fyzika.jreichl.com) [online]. b.r. [cit. 2019]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/279-faradayovy-zakony-elektrolyzy>
- [12] *Česká technická norma ČSN EN 50122 -1 (2. vydání) Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Elektrická bezpečnost, uzemňování a zpětná obvod - Část 1. Ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem.* Listopad 2011.
- [13] PAVLAS, Bc. Zabezpečovací technika v dopravě. [Https://publi.cz](https://publi.cz) [online]. b.r. [cit. 2019]. Dostupné z: [dostupné z: https://publi.cz/books/191/15.html](https://publi.cz/books/191/15.html)

- [14] Zabezpečovací zařízení - část 2. *Http://brnosim.wz.cz/* [online]. b.r. [cit. 2019]. Dostupné z: <http://brnosim.wz.cz/clanky.php?id=2>
- [15] ING. VLADIMÍR MEDUNA, Ing. *Druhy rozvodných sítí* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, BŘEZEN 2006 [cit. 2020]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred_ZEP/siteF.pdf
- [16] MILOŠ KRÁL, ŽELEZNIČNÍ STAVITELSTVÍ PRAHA A. S. *Výhody a nevýhody sítí TN-C a TN-S*. FCC PUBLIC, 2002. Dostupné také z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/vyhody-a-nevyhody-siti-tn-c-a-tn-s--15044>
- [17] ING. LEOŠ KOUPÝ, ILLKO, S.R.O. *Impedance poruchové smyčky - 1. díl*. 2017, www.elektroprumysl.cz. Dostupné také z: <https://www.elektroprumysl.cz/merici-technika/impedance-poruchove-smycky-1-dil>
- [18] Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie PNE 33 0000- 6 (3. vydání) *Obsluha a práce na elektrických zařízeních pro přenos a distribuci elektrické energie*. Dostupné z: <https://www.csres.cz/CZ/podnikove-normy>. b.r.

Přílohy

Příloha č. 1 Návrh uzemnění Ctěnice – stanice TS 3915

Příloha č. 2 Návrh uzemnění Ctěnice – okolí stanice TS 3915

Příloha č. 3 Návrh uzemnění Ctěnice – statek

Příloha č. 4 Návrh uzemnění Ctěnice – zámek

Příloha č. 5 Návrh uzemnění Ctěnice – osady

Příloha č. 6 Návrh uzemnění Ctěnice – liniové schéma

Příloha č. 7 Návrh uzemnění stanice TS 1440

Příloha č. 8 Návrh vzdáleného uzemnění stanice TS 1440

Všechny přílohy byly navrženy v programu ProfiCAD.

Pro přílohy č. 2, č. 3, č. 4, č. 5 a č. 8 byly využity mapové podklady z portálu: mapy.cz.