

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky



Návrh přístrojů na měření zemnění v sítích NN a VN v distribuční soustavě

Ondřej Vaník

Vedoucí práce:

Ing. Radim Kolařík

srpen 2020

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.

Datum:

.....

podpis diplomanta

Poděkování

Rád bych poděkoval mému vedoucímu práce Ing. Radimu Kolaříkovi a odbornému konzultantovi Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za vedení a poskytnuté rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti E.ON Distribuce, a.s. za poskytnutí náhledu do interních systémů a programů, a technikům této společnosti za vysvětlení problematiky a provedení měření, kterého jsem se s nimi zúčastnil. Poté bych rád poděkoval Ing. Martinu Kurfírtovi ze společnosti E.ON Distribuce, a.s. za zapůjčení měřiče a společné konzultace ohledně výsledků měření. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za neustálou podporu při vypracování této práce.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vanik** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **457161**
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:

Návrh přístrojů na měření zemnění v sítích NN a VN v distribuční soustavě

Název diplomové práce anglicky:

The device suggestion of grounding measurement in LV and HV network in distribution system

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište zemniče používané v DS v oblasti NN a VN
- 2) Popište měření zemních odporů a nejčastější druhy používaných přístrojů
- 3) Na základě měření z praxe zkontrolujte výsledné hodnoty zemních odporů pro jednotlivé zemniče a metodu měření
- 4) Navrhněte postup kontroly zemních odporů v síti NN a VN ve vazbě na kapacitní proudy
- 5) Doporučte nejvhodnější měřicí přístroje pro měření uzemnění

Seznam doporučené literatury:

- [1] Novotný, V.: Uzemnění a jeho měření, SNTL Praha 1973
- [2] Macháček, C.: Uzemnění a jeho kontrola, SNTL, Praha 1958
- [3] ČSN 33 2000-5-54 ED.3 - Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče, 2012
- [4] Osolobě, J.: Zapletal, M., Zemnění a bezpečnost, Nakl. ČSAV, Praha 1964.
- [5] Markiewicz H.: Uzemnění & EMC - Uzemňovací systémy

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Radim Kolařík, Constellium Extrusions Děčín s.r.o.

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

Datum zadání diplomové práce: **10.02.2020** Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

Ing. Radim Kolařík
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

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá porovnáváním měřičů zemních odporů na hladině VN a NN na distribučním území společnosti E.ON Distribuce, a.s. Cílem této práce je osvojit si používané metody měření uzemnění, nalézt vhodné lokality, kde měření provést a při samotném měření v terénu zjistit rozdíly mezi jednotlivými zařízeními. Následně je mým úkolem popsat pro techniky správný postup při kontrole zemních odporů a společnosti doporučit, do jakých přístrojů by bylo výhodné do budoucna pro tyto účely investovat.

Práce je rozdělena na dvě části: teoretickou a praktickou. První část je zaměřena na vlastnosti elektrizačních soustav, jsou zde popsány různé typy zemničů, metody měření zemních odporů a zařízení k tomu určená. V druhé, praktické části, je provedena analýza dat, navržena metodika měření, samotné měření včetně správného postupu, a zhodnocení výsledků s doporučením nejvhodnějších měřičů pro účel kontroly zemních odporů.

Klíčová slova: Přenosové vedení, uzemnění, zemnič, měření, měřicí přístroj, měřič, klešťový měřič, měřicí zařízení, kabelová skříň, podpěrný bod, distribuční trafostanice, naměřené hodnoty, rezistivita, zemničí pásek, zemničí kabel, VN, NN, distribuční soustava, zemní odpor

Abstract

This diploma thesis deals with comparison of grounding measuring devices at high voltage and low voltage level in the distribution territory of company E.ON Distribuce, a.s. The objective of this work is to learn about used methods of grounding measurement, find useable locations, where to do measurement and then find out the differences between various types of devices. Another objective is to write, how technicians should do the grounding measurement and recommend, which devices are better to invest in.

This diploma thesis is divided into two parts: theoretical and practical. The first part is focused on features of electricity network and there are various types of grounding electrodes, methods of grounding measurement and measuring devices described. In the second part, there is data analysis, designed measuring method, the whole measurement including the right method and evaluation of the measurement with the recommendation of best devices to use for earth resistance examination.

Key words: Transmission lines, grounding, grounding electrode, measurement, measuring device, clamp meter, junction box, utility pole, distribution substation, measured values, resistivity, grounding strap, grounding cable, HV, LV, distribution network, earth resistance

Obsah

1 Úvod	1
1.1 Počátky elektrifikace v ČR	2
1.2 Elektrizační soustava	4
1.2.1 Přenosová soustava	5
1.2.2 Distribuční soustava	6
1.3 Druhy elektrických sítí	8
2. Uzemnění	14
2.1 Význam	14
2.2 Principy	15
2.3 Vliv měrného odporu půdy	20
2.4 Zemní kapacitní proud	20
2.5 Dotykové napětí	21
3. Zemnicí prvky	24
3.1 Náhodné zemniče	24
3.2 Strojené zemniče	25
3.2.1 Podpovrchové zemniče	27
3.2.2 Hlubkové zemniče	29
3.2.3 Deskové zemniče	31
3.2.4 Sdružené zemniče	31
3.2.5 Mřížové zemniče	33
4. Metody měření zemních odporů	37
4.1 Měření dvěma pomocnými proudovými sondami	41
4.2 Měření pomocnou proudovou a napětovou sondou	42
4.2.1 Měření pomocí wattmetru	44
5. Typy měřících přístrojů	46
5.1 Historická zařízení	47

5.2 Současná zařízení	48
5.3 Používaná měřicí zařízení	50
5.3.1 Chauvin Arnoux.....	52
5.3.2 Kyoritsu	54
5.3.3 Metra Blansko.....	57
5.3.4 Metrel.....	60
5.3.5 ILLKO	61
6. Měření uzemnění v distribuční soustavě	63
6.1 Analýza dříve naměřených hodnot.....	63
6.2 Vlastní měření	67
6.2.1 První měření	67
6.2.2 Druhé měření.....	70
6.2.3 Třetí měření.....	73
6.3 Postup kontroly zemních odporů	75
7. Zhodnocení výsledků	79
7.1 Vhodné přístroje pro účely měření zemních odporů	84
8 Závěr	88
Literatura	91
Seznam norem	93
Seznam obrázků.....	94
Seznam tabulek	96

1 Úvod

Různé formy strojených zemničů jsou součástí naší společnosti již několik století. Od původních experimentů Prokopa Diviše uběhlo téměř 300 let a principy uzemnění zůstávají téměř stejné. V současnosti existuje díky novým normám a zásadám řada postupů, jak správně zemniče instalovat, a do jaké míry by měly zemniče chránit určitá elektrická zařízení.

Primárním účelem uzemnění je tak ochrana elektrických zařízení a zajištění jejich správné činnosti. Zemniče by měly zajistit i ochranu osob nebo zvířat před úrazem elektrinou, atmosférickým výbojem či přepětím. Parametrem kvality uzemnění je velikost zemního odporu. Čím je hodnota zemního odporu menší, tím je kvalita uzemnění větší.

V mé diplomové práci jsem se ve spolupráci se společností E.ON Distribuce, a.s., zabýval právě problematikou zemnění a hodnotami zemních odporů v distribuční soustavě na hladinách VN a NN. Technici této společnosti k měření zemních odporů podpěrných bodů, kabelových skříní a distribučních trafostanic používají řadu různých přístrojů od různých výrobců. Snahou E.ON Distribuce, a.s., je zredukovat velkou variabilitu zařízení na pouhých několik modelů, které by se do budoucna pro tyto účely používaly. Prvním úkolem tak bylo vybrat vhodnou lokalitu a na různých typech silových zařízení a zemničů otestovat více měřicích přístrojů. Ze samotného průběhu měření a výsledků bylo následně možné určit, které přístroje by se z technického a ekonomického hlediska společnosti vyplatily.

U dříve provedených měření se někdy stávalo, že technici zapisovali do systému hodnoty zemních odporů nestandardně. Dalším úkolem bylo proto popsat správné metody měření zemních odporů dle platných českých technických norem, podnikových norem energetiky a manuálů přikládaných k jednotlivým měřicím modelům. Kromě správného postupu měření bylo potřeba vysvětlit technikům, jak správně a jednotně zadávat hodnoty zemních odporů a ostatní položky do systému tak, aby analytici neměli v budoucnu problém jejich zápis pochopit a snadno vyhodnotit. Ve výsledku by technici měli přesně vědět, jak při běžných i nestandardních měřeních reagovat na vzniklou situaci, a jak případně zadávat údaje do systému. Oba předchozí úkoly by měly posloužit především pro zvýšení časové efektivity a celkové kvality měření.

1.1 Počátky elektrifikace v ČR

Prvopočátky elektrifikace v České republice se vážou již ke konci 19. století, kdy po vynálezu indukčního střídavého motoru bylo možné přenášet třífázovým systémem 3x větší výkon, než v případě systémů jednofázových. Vynálezem tohoto motoru se navíc potvrdilo, že je výhodnější přenášet střídavý proud na úkor stejnosměrného. Zároveň byl postaven první transformátor, který byl vhodný pro širší komerční využití. První elektrárna u nás byla postavena v roce 1889 v Praze na Žižkově a vyráběla stále stejnosměrný proud. První větší elektrárna na střídavý proud byla postavena v roce 1900 v pražských Holešovicích. Výkon této elektrárny byl v původním stavu přibližně 3,728 MW a postupně dodávala elektřinu pro soukromníky, veřejné osvětlení či pohon tramvají.¹

Postupně začaly vznikat malé elektrárny s lokálními distribučními sítěmi. Se zvyšující poptávkou byl po válce v roce 1919 přijat zákon o všeobecné elektrizaci. Vznikly všeužitečné podniky, které byly z 60 % pod správou státu a zajišťovaly další výstavbu tepelných elektráren a rozvodných soustav. Součástí všeužitečných podniků bylo i 20 elektrárenských společností, které se podílely na zbytku celkového kapitálu. S tímto opatřením začalo vznikat ve 20. a 30. letech minulého století větší množství elektráren a zároveň se ročně vystavělo přibližně 500 km vedení. V této době mělo již přes 70 % obyvatel přístup k elektrické energii a byl tak vytvořen základ pro regionální elektrizační soustavy. Vedení byla stavěna nejčastěji na hladinách 22 kV a ve východních Čechách 35 kV. V 30. letech se vzhledem k vyššímu výkonu elektráren začaly stavět vedení na hladině 100 kV. Jednalo se například o vedení mezi Třincem a Žilinou nebo Mydlovary a Tábořem.

¹Ing. Martin GALETKA, Ph.D. *Vznik a vývoj přenosové soustavy elektrické energie*. [online]. 4.1.2016 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13645-vznik-a-vyvoj-prenosove-soustavy-elektricke-energie>

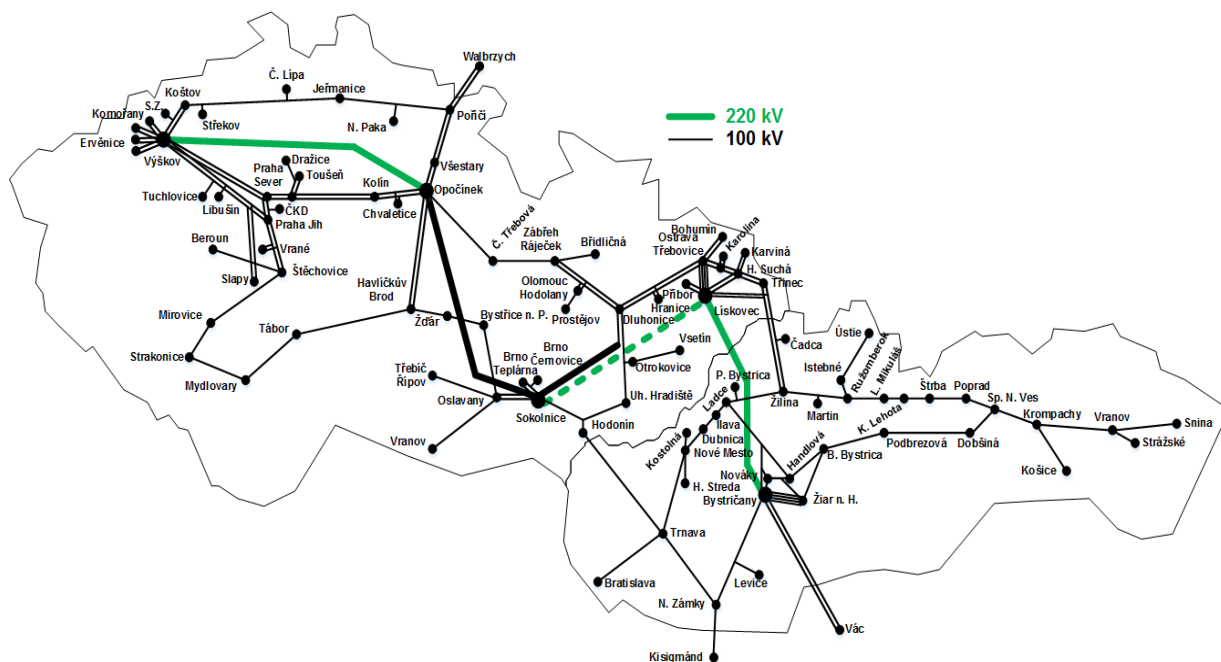
² VASTL, Jaromír a VAŠÍČEK, Jiří. *Organizační uspořádání elektroenergetiky v ČR* [přednáška]. Praha:

Seznam prvních tuzemských elektráren včetně celkového instalovaného výkonu je v Tab. 1.1.

Název elektrárny	Rok uvedení do provozu	Celkový výkon [MW]
Praha-Holešovice	1900	38,76
Vyšší Brod	1903	16,80
Hradec Králové - Hučák	1910	1,96
Oslavany	1913	115
Hlubočky	1922	6,40
Ervěnice	1926	70
Mydlovary	1926	25

Tab. 1.1: První větší postavené elektrárny v Česku²

Po druhé světové válce došlo v roce 1948 k znárodnění energetiky. Po tomto kroku se začaly formovat počátky přenosové soustavy u nás. Kromě výstavby vedení 100 kV, u kterých se později zvýšilo bezproblémově provozní napětí na 110 kV, dochází k výstavbě vedení o napětí 220 kV.



Obr. 1.1: Propojená soustava vedení v Československu v roce 1954³

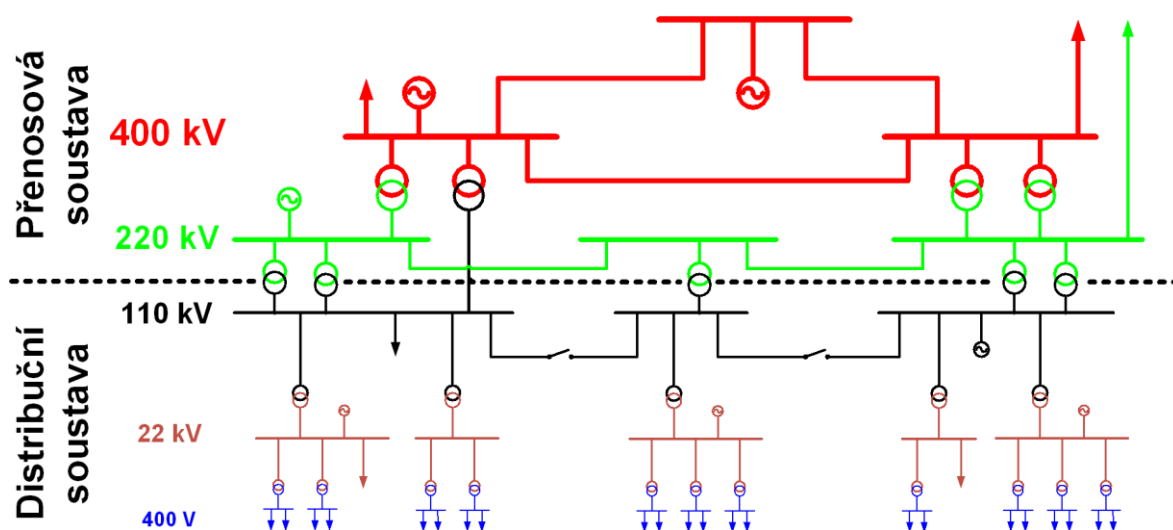
² VASTL, Jaromír a VAŠÍČEK, Jiří. *Organizační uspořádání elektroenergetiky v ČR* [přednáška]. Praha: ČVUT FEL. 2019

³ Ing. Martin GALETKA, Ph.D. *Vznik a vývoj přenosové soustavy elektrické energie*. [online]. 4.1.2016 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13645-vznik-a-vyvoj-prenosove-soustavy-elektricke-energie>

V 60. letech se po výstavbě několika velkých elektráren v severních Čechách (Pruněrov, Počerady, Tušimice) rozhodlo, že by bylo i vzhledem k navázání mezinárodní spolupráce dobré vystavět síť o napěťové hladině 400 kV. Postaveny tak byly dvě 400 kV magistrály: severní a jižní. Severní magistrála vede ze severních Čech přes severní Moravu, až na východní Slovensko. Jižní magistrála vede ze severních Čech do Sokolnic a dále na Slovensko. Výstavba těchto vedení dala základ přenosové soustavy u nás a postupně je tato síť rozšiřována se vznikem nových elektráren prakticky dodnes.

1.2 Elektrizační soustava

Soubor zařízení vzájemně propojujících výrobu, přenos a distribuci elektrické energie představuje elektrizační soustavu. Vyrobená energie z generátorů v elektrárnách je postupně přenášena skrze elektrické vedení a stanice až do sítě konečného odběratele. Vedení je tvořeno přenosovou a distribuční soustavou, jejichž rozdíly spočívají jak ve velikosti napěťové hladiny, tak v zapojení a způsobu provozu. Při provozu elektrizační soustavy se mění parametry různých veličin k maximálnímu snížení ztrát, udržení tvaru a frekvence sinusového průběhu, nebo k minimálnímu úbytku napětí. Důležitými funkcemi jsou zabezpečení dodávky elektrické energie, bezpečnost přenosu či určit závažnost, lokalizovat a omezit případnou poruchu.



Obr. 1.2: Schéma elektrizační soustavy⁴

⁴ Ing. Martin GALETKA, Ph.D. *Přenosová soustava elektrické energie* [online]. 11.1.2016 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13676-prenosova-soustava-elektricke-energie>

1.2.1 Přenosová soustava

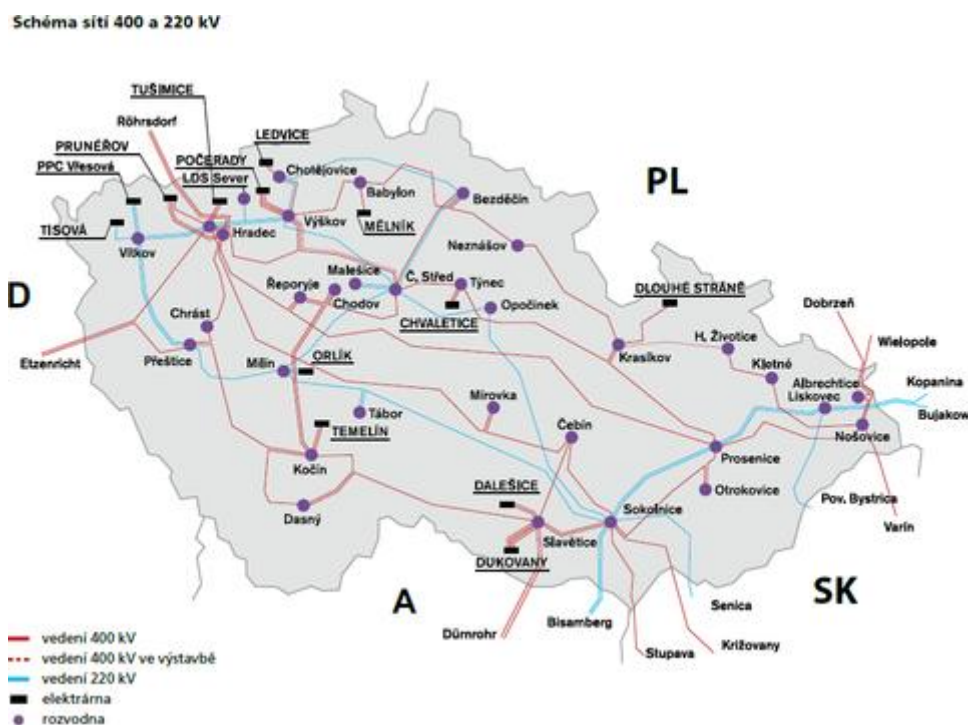
System zařízení, které se podílí na přenosu elektrické energie pomocí sítí velmi vysokého napětí od výrobců k odběratelům, se nazývá přenosová soustava. Jedná se o přenosy na velké vzdálenosti o velkém objemu a síť je provozována jako okružní. Zdrojem elektrické energie jsou alternátory, což jsou elektrické stroje, které v elektrárnách přeměňují kinetickou energii na elektrickou. Alternátory pracují se jmenovitým napětím pouze několika kilovoltů a dodávají elektrický proud v řádech desítek kiloampér. Při potřebě výkonu stovek megawatt by bylo nutné mít extrémně velké průřezy vodičů, což by způsobovalo vysoké úbytky napětí. Proto jsou za alternátory přidávány napěťové transformátory, které zvyšují hladinu napětí na danou úroveň. V České republice se v sítích ZVN a VVN používají hladiny 400, 220, popř. 110 kV. Vedení je tvořeno vodiči a zodpovídá za přesun energie od výrobců k odběratelům. Rozlišujeme vedení venkovní a kabelové. V České republice se setkáme v přenosové soustavě především s vedením venkovním.

Typ vedení	Délka vedení [km]
400 kV	3510
220 kV	1909
110 kV	84

Tab. 1.2: Délky vedení v závislosti na hladině napětí v přenosové soustavě ČR⁵

Základními podmínkami pro provoz přenosové soustavy jsou bezpečnost, spolehlivost a hospodárnost. Důležitými prvky přenosové soustavy jsou proto kompenzační, zabezpečovací a měřicí zařízení. Pomocí kompenzace se udržuje nízký fázový posuv mezi napětím a proudem a účinník se blíží k 1 (v praxi obvykle okolo 0,95). Kompensátory se používají především kvůli energetické efektivitě. Zabezpečovací prvky, sloužící k zajištění bezpečnosti, jsou například pojistky, jističe, chrániče nebo vypínače. Měření je prováděno neustále. Sledují se tak jednotlivé prvky soustavy a zkoumá se jejich efektivita jak z hlediska technického, tak ekonomického. Používají se například měřicí transformátory napětí a proudu.

⁵ Ing. Martin GALETKA, Ph.D. *Přenosová soustava elektrické energie* [online]. 11.1.2016 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13676-prenosova-soustava-elektricke-energie>



Obr. 1.3: Mapa přenosové soustavy v České republice⁶

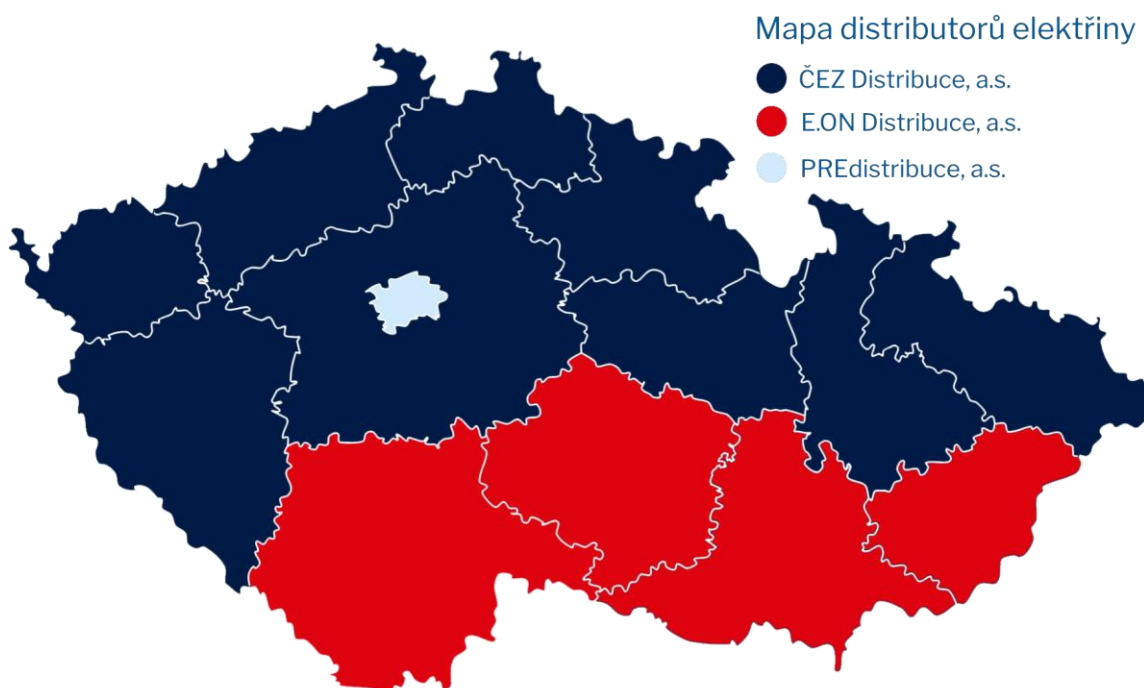
Přenosová soustava je v České republice provozována společností ČEPS, a.s., jejíž hlavní funkcí je zajištění rovnováhy výroby a spotřeby elektrické energie. Dále například udržuje a rozvíjí rozvodny a transformátory, které převádí energii z přenosové do distribuční soustavy, nebo přenos mezi výrobcí a distributory. Zároveň se věnuje rozvoji mezinárodních obchodů a přenosu elektrické energie i v rámci sousedních států v případě nedostatku nebo přebytku na jedné straně. Vzniká tak liberalizovaný trh s elektřinou jak v českém, tak evropském měřítku.

1.2.2 Distribuční soustava

Za transformátory na výstupu přenosové soustavy začíná soustava distribuční. Její funkcí je přenos elektrické energie z přenosové soustavy ke koncovým uživatelům. Do distribuční soustavy mohou být i napojeny elektrárny o menších výkonech, například elektrárny využívající obnovitelných zdrojů energie nebo elektrárny závodní. Oproti přenosové soustavě je distribuční síť paprsková a setkáme se s větším množstvím napěťových hladin. V České Republice se používají hladiny 35, 22, 10, 6 nebo 3 kV, přičemž nejčastěji se vyskytuje hladina 22 kV. Zatímco síť vysokého napětí se vyskytuje převážně ve formě venkovního vedení, síť nízkého napětí je tvořena jak nadzemním, tak kabelovým vedením. Provozována je na sdruženém napětí

⁶ Ing. Martin GALETKA, Ph.D. *Přenosová soustava elektrické energie* [online]. 11.1.2016 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13676-prenosova-soustava-elektricke-energie>

400V (fázové 230V). Tuto hladinu využívá koncový uživatel běžně v domácnosti například v zásuvkách.



Obr. 1.4: Rozdělení míst působnosti distributorů v České republice⁷

V České republice je distribuční síť provozována společnostmi ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Distribuce, a.s., a PREdistribuce, a.s. Společnost ČEZ pokrývá většinu regionů, kromě Jihočeského a Jihomoravského kraje. Tyto dva kraje jsou pod správou společnosti E.ON Distribuce, a.s. Společnost PREdistribuce, a.s., se stará o distribuci v hlavním městě Praha. Jednotlivé délky vedení společností (součet kabelového a venkovního vedení) jsou zobrazeny v Tab. 1.3.

	ČEZ Distribuce, a.s.	E.ON Distribuce, a.s.	PREdistribuce, a.s.
Délka vedení VN [km]	51 005	22 342	3 898
Délka vedení NN [km]	104 827	39 473	8 252

Tab. 1.3: Délky vedení jednotlivých společností v distribuční soustavě na hladinách VN a NN v roce 2019⁸

⁷ ENERGIE ČS, a.s. *Distribuce energií*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.energie-cs.cz/cs/domacnosti/informace/ceny>

⁸ Energetický regulační úřad. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019*. [online]. 2020. [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf, str. 41

1.3 Druhy elektrických sítí

Jednotlivé druhy distribučních sítí se rozlišují dle způsobu uzemnění uzlu soustavy. Označení každé sítě je stanoveno normou ČSN 33 2000-1 ED.2 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 1: Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice* a je používáno mezinárodně. Celkově se zkratka skládá ze tří písmen. První dvě písmena označují typ rozvodné sítě, např. IT, TN a TT. Třetí písmeno je doplňkové a využívá se pro rozvodné sítě typu TN (TN-C, TN-S a TN-C-S).⁹

Význam jednotlivých označení sítí

1. písmeno: značí způsob provozování uzlu soustavy

I (isolé, z francouzštiny „izolovaný“): uzel soustavy je izolovaný nebo nepřímo uzemněný

T (terré, z francouzštiny „uzemněný“): uzel soustavy je uzemněný

2. písmeno: značí způsob ochrany neživých částí

T: neživá část je uzemněna

N (neutré, z francouzštiny „nulové/neutrální“): neživá část je připojena na ochranný vodič sítě

3. písmeno: je doplňkové a značí uspořádání středního pracovního a ochranného vodiče

S (séparé, francouzsky „oddělený“): ochranný vodič (PE) a střední vodič (N) jsou odděleny

C (kombiné, francouzsky „kombinovaný“): PE a N jsou sdruženy do jednoho vodiče PEN

C-S: zvláštní druh sítě, který kombinuje předešlé dva případy

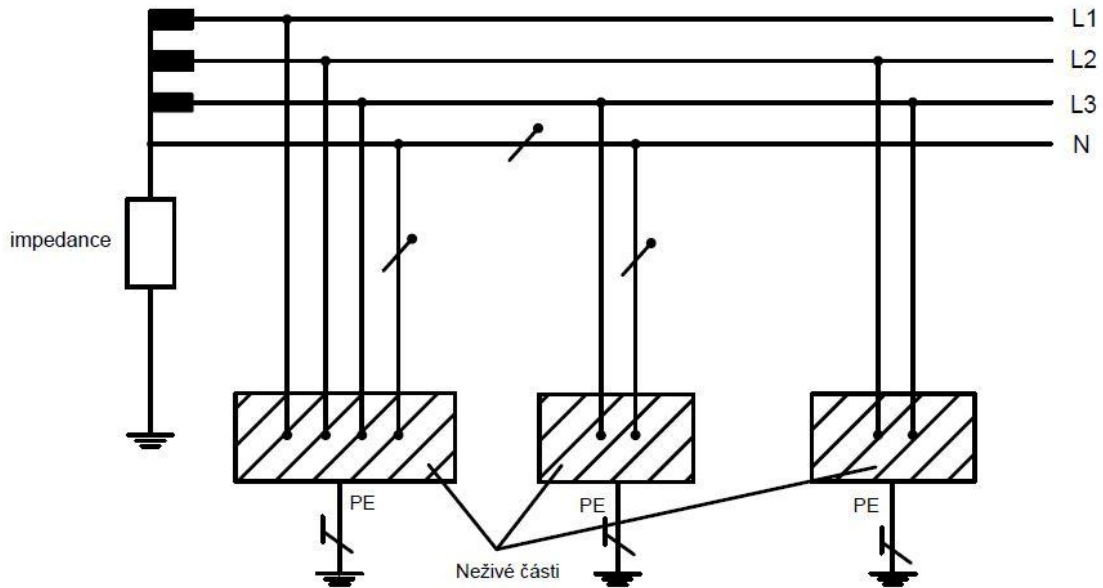
Kombinací předchozího názvosloví vznikají jednotlivé distribuční sítě používané v praxi.

IT soustava

Prvním typem je síť s označením IT. Ta se vyznačuje izolací veškerých živých částí obvodu od země. Neživé části elektrických zařízení jsou spojeny pomocí ochranného uzemnění přímo se zemí jednotlivě nebo po skupinách. Jeden bod lze uzemnit pouze ve chvíli, když bude se zemí propojen přes velkou impedanci. Výhodou tohoto typu sítě je možnost provozu i při poruše (poškození izolace), jelikož nevzniká jednofázový zemní zkrat, ale zemní spojení. Nabízí tak nejlepší možné řešení bezproblémového provozu systému. Nevýhodou je naopak zvýšení nákladů na monitoring a údržbu případných poruch a nutnost zajištění ochrany středního vodiče. Používá se v aplikacích napájených soukromým VN/NN nebo NN/NN transformátorem, kde by byl výpadek napájení života nebezpečný nebo ekonomicky nežádoucí. Proto se můžeme s IT

⁹ LHOTÁK, Jiří. *Návrh zemního systému pro nízké napětí*. Plzeň, 2014. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická

sítěmi setkat v některých nemocnicích, například na operačních sálech a jednotce intenzivní péče. Dále se síť IT používá v průmyslových podnicích, především v hutnictví či sklářství, nebo v drážní dopravě.¹⁰



Obr. 1.5: Schéma sítě IT s uzemněním přes velkou impedanci¹¹

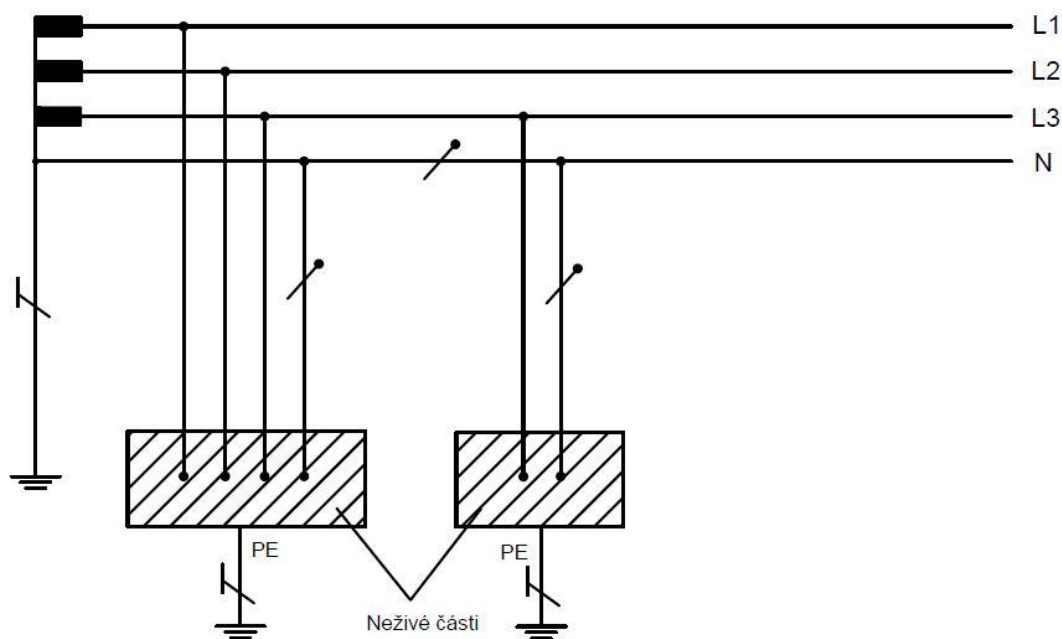
TT soustava

Druhým používaným typem je síť TT. Uzel zdroje je v tomto případě uzemněn a zároveň jsou se zemí spojeny neživé části připojených elektrických zařízení. Zařízení však nejsou spojena se zemí vlastním uzemněním sítě, ale odděleně vlastním ochranným vodičem. Připojení se obvykle realizuje jednotlivým nebo skupinovým ochranným uzemněním. Hlavní výhodou je snadný návrh a instalace. K ochraně se používají proudové chrániče, které zajišťují i ochranu protipožární. V případě poškození izolace vzniká jednofázový zemní zkrat, jenž se uzavírá přes zem. To má za následek přerušování dodávek energie, což je velká nevýhoda například oproti síti IT. Místo poruchy může být omezeno správným zapojením sériových a paralelních chráničů, které slouží k izolaci daného místa. Další nevýhodou je příliš vysoký svodový proud při normálním provozu, který může způsobit nechtěné vypínání sítě. V České republice se můžeme se sítí TT setkat v části jižní Moravy. V rámci Evropy je využívána v zemích s dominantním

¹⁰ Jan MORAVEC. *Druhy rozvodných sítí*. [online]. 9.3.2015 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/rozvodne-site-tn-it-tt>

¹¹ Tamtéž.

postavením pro rozvod v NN soustavách, například ve Francii nebo Španělsku. V dalších zemích se můžeme setkat s TT sítí v kombinaci se sítí TN (Belgie, Itálie, Německo).¹²



Obr. 1.6: Schéma sítě TT¹³

TN soustava

Všechny tři sítě s označením TN jsou charakterizovány spojením neživých částí s uzemněným bodem sítě prostřednictvím ochranného vodiče. Jak již bylo v této podkapitole zmíněno, jednotlivé typy sítě TN se liší v uspořádání středního a ochranného vodiče.

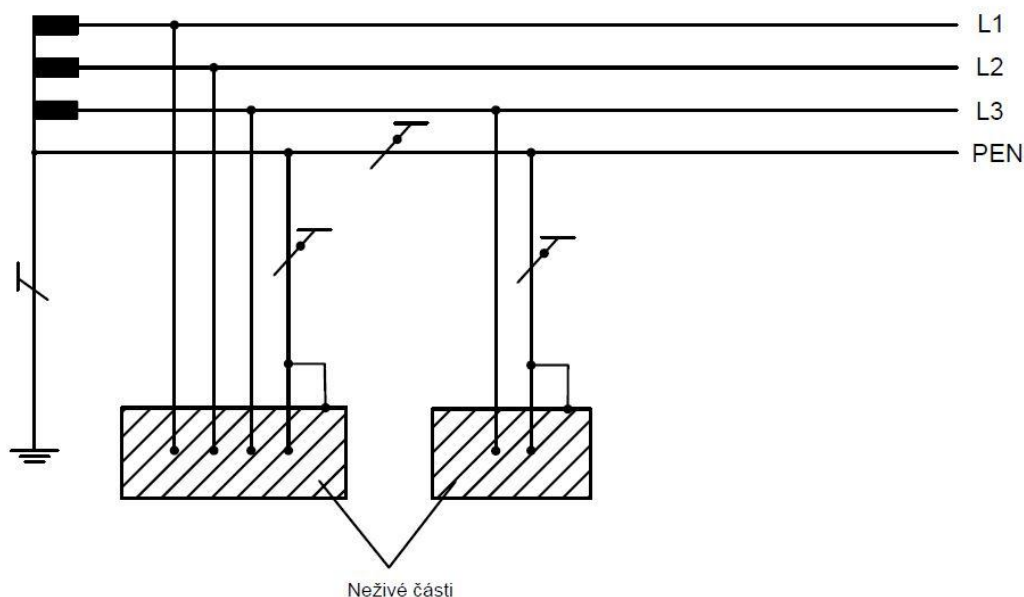
TN-C

V případě této sítě se jedná o sdružení středního a ochranného vodiče do společného vodiče PEN. Jedná se o klasické provedení, které bylo v České republice ve výstavbě do roku 1995. Hlavní výhodou byla především cena, jelikož docházelo k úsporám na kabelovém vedení a případná závada je vzhledem k neschopnosti provozu obvodu na vodiči PEN snadno zjistitelná. Nevýhodou je naopak případný vznik nebezpečného dotykového napětí na neživé části, znemožnění použití proudových chráničů nebo rušení vysoce citlivých sdělovacích zařízení průchodem zpětných proudů jednofázových spotřebičů. V současnosti se u nás nachází síť TN-C pouze ve starších rozvodných soustavách.¹⁴

¹² Jan MORAVEC. *Druhy rozvodných sítí*. [online]. 9.3.2015 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/rozvodne-site-tn-it-tt>

¹³ Tamtéž.

¹⁴ Tamtéž.



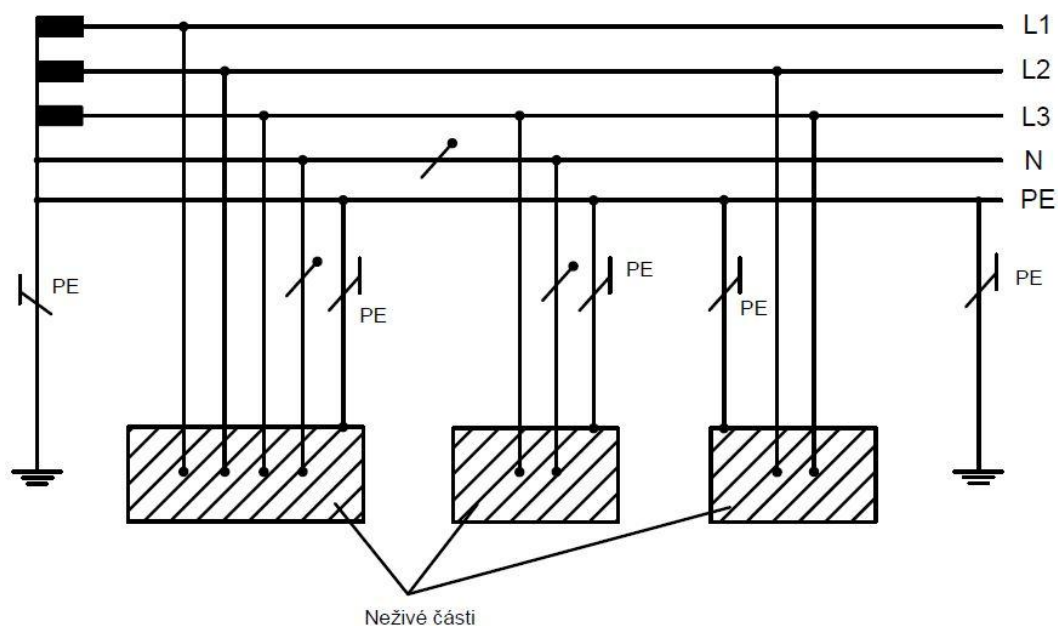
Obr. 1.7: Schéma sítě TN-C¹⁵

TN-S

Síť TN-C měla značné nevýhody, například vliv zpětných proudů. Tyto nedostatky byly vyřešeny rozdělením středního a ochranného vodiče na dva samostatné vodiče již přímo u zdroje. Tento typ sítě se nazývá TN-S. Další výhodou je možnost použití proudových chráničů. Nevýhodou je naopak nemožnost trvalého zjištění přerušení ochranného vodiče a s tím související nefunkčnost ochrany před nebezpečným dotykovým napětím na neživých částech. Z tohoto důvodu se provádí pravidelné revize, pomocí nichž se průběžně zjišťuje případně přerušení ochranného vodiče. V případě porušení izolace vzniká jednofázový zkrat mezi fázovým a středním vodičem nebo mezi fázovým a ochranným vodičem. Případný zkrat musí být okamžitě odpojen jističem. TN-S jsou vhodné pro použití například při výstavbě citlivých sdělovacích zařízení vzhledem k již zmíněným výhodám oproti TN-C.¹⁶

¹⁵ Jan MORAVEC. *Druhy rozvodných sítí*. [online]. 9.3.2015 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/rozvodne-site-tn-it-tt>

¹⁶ Tamtéž



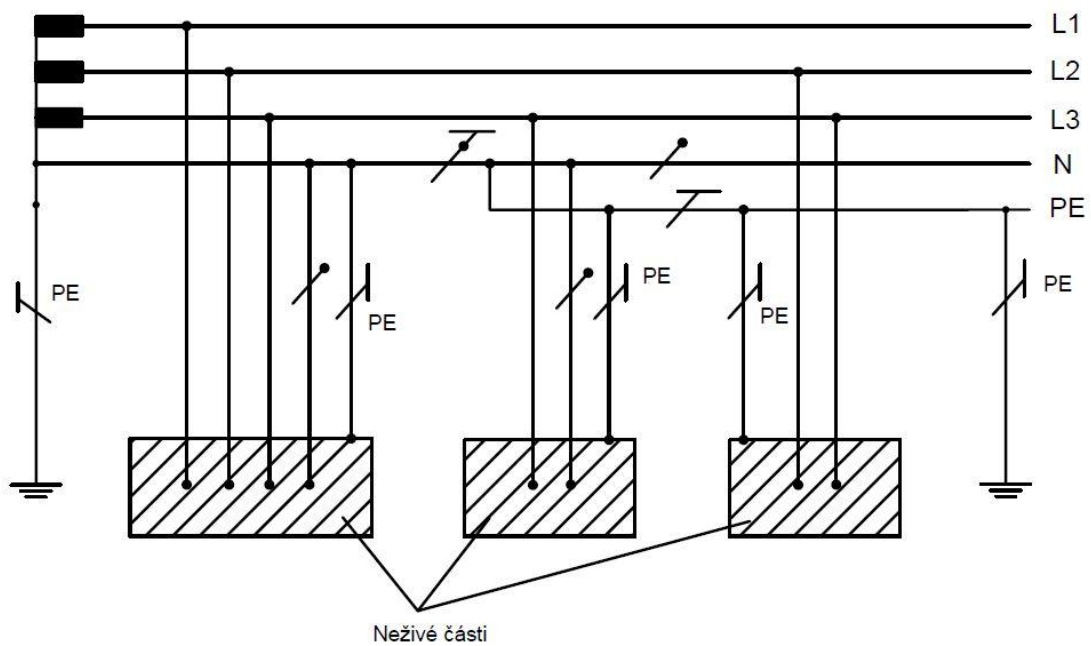
Obr. 1.8: Schéma sítě TN-S¹⁷

TN-C-S

Nejrozšířenější typem sítě je společně se sítí TN-S síť TN-C-S. Ta, jak již bylo zmíněno, kombinuje předchozí dvě sítě TN. V určitém bodě rozvodů dochází k rozdělení ochranného a středního vodiče z PEN vodiče. Bod rozdělení je uzemněn z důvodu co nejmenší impedance smyčky. Poté, co dojde k rozdělení, již není možné opětovně vodiče spojit. Hlavním účelem sítě TN-C-S je zvýšení ekonomické i technické efektivity. Spojuje výhody nízké ceny sítě TN-C a vyšší bezpečnosti sítě TN-S. V části TN-C je běžně zapojeno minimum spotřebičů a je využívána především k distribuci. Vyznačuje se použitím vodičů o větším průřezu. Spotřebiče jsou tak připojeny především až v části TN-S, která je sice nákladnější, ale bezpečnější.¹⁸

¹⁷ Jan MORAVEC. *Druhy rozvodných sítí*. [online]. 9.3.2015 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/rozvodne-site-tn-it-tt>

¹⁸ Tamtéž



Obr. 1.9: Schéma sítě TN-C-S¹⁹

¹⁹ Jan MORAVEC. *Druhy rozvodných sítí*. [online]. 9.3.2015 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/rozvodne-site-tn-it-tt>

2. Uzemnění

S různými formami uzemnění se lidstvo setkává odjakživa.

První zmínky byly dochovány v díle Židovské starožitnosti od antického učenice a historika Flaviuse Iosephuse, kde popisuje mimo jiné stavbu Šalamounova chrámu. Celá střecha tohoto chrámu byla pokryta vodivými zlatými deskami. Při dešťových srážkách byla voda sváděna mnoha kovovými rourami do zásobních cisteren, což zajišťovalo dostatečnou zemnicí ochranu. Chrám se nacházel v Jeruzalémě, což je oblast bohatá na bouřkové přeháňky a za 4 století (10. - 6. stol. př. n. l.) jeho existence nebyly zaznamenány díky konstrukci žádné známky poškození atmosférickým bleskem.

Prvními průkopníky v oboru hromosvodů a zemnění byly v polovině 18. století český kněz a vynálezce Prokop Diviš a americký vědec a politik Benjamin Franklin. Oba se zabývali elektrinou vznikající v atmosféře a podařilo se jim vytvořit nezávisle na sobě funkční bleskosvod. Divišův meteorologický stroj (machina meteorologica) oproti současným hromosvodům vyrovnával napětí mezi nebem a zemí, a odvracel tak samotný vznik výboje.

První opravdovou ochranu elektrických zařízení pomocí uzemnění navrhl v roce 1885 americký elektrotechnický inženýr Elihu Thomson. Ten si nechal patentovat zapojení k ochraně elektrického obvodu, které umožňovalo vyhodnotit zkrat či porušení izolace. Zapojení následně dokázalo vadnou instalaci odpojit skrze zemní spojení. Tento princip byl přizpůsoben na stejnosměrný rozvod, jenž se tehdy využíval v USA.²⁰

2.1 Význam

V elektrotechnice lze uzemnění vnímat jako vodivé spojení elektrického rozvodu nebo různých kovových předmětů s vodičem umístěným v zemi. Funkce uzemnění jsou následující:

- udržovat požadovaná elektrická zařízení na potenciálu země
- umožňovat a podporovat správnou funkčnost elektrických strojů, přístrojů a zařízení
- ochrana zdraví a životů lidí před nebezpečím úrazu v souvislosti se vznikem poruchy na elektrickém zařízení

²⁰ THOMSON, Elihu.: *Safety Device for Electrical Circuits*. US Patent No. 327,039, 1885. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z:

https://www.google.cz/url?url=http://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US327039.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=5mcUVeXyCNDvaKuugrgC&ved=0CBQQFjAA&usg=AFQjCNEq_Byk5gv21MVfgjHRfz8t0W2dWA

- ochrana hospodářských zvířat a škod na majetku způsobené elektrickým proudem v souvislosti se vznikem poruchy na elektrickém zařízení
- ochrana elektrických strojů, přístrojů a zařízení před účinky příliš vysokých proudů a přepětí
- ochrana objektů a zařízení před atmosférickými výboji a s tím souvisejícím omezením atmosférických přepětí

Každé uzemnění se skládá ze zemnicí elektrody (zemniče) a zemního svodu. Zemničem rozumíme vodivý předmět sloužící po uložení do země k uzemnění. Zemní svod představuje kovové vedení, které propojuje zemnič s uzemňovaným předmětem.²¹

Uzemnění můžeme z hlediska bezpečnosti dělit na pracovní a ochranné. Pracovní uzemňuje bod nebo skupinu bodů v síti, instalaci, či zařízení za účelem jiným, než je bezpečnost. Hlavní funkcí je zabránění škodlivému působení napětí nebo elektrického přepětí na zařízení nebo v případě sítě chrání před vniknutím vyššího napětí do sítě s napětím nižším. Ochranné uzemnění se zřizuje především pro chránění před úrazem elektrickým proudem a účinky elektrických polí. Tento typ je obvykle bez elektrického napětí a nachází se v blízkosti elektrické instalace či zařízení tak, aby se na nich v případě nutnosti zabránilo vzniku nebo přenosu nebezpečného napětí. V praxi může být uzemnění jak pracovní, tak ochranné nebo naopak jsou oba typy instalovány zvlášť. Vždy závisí na potřebách elektrického zařízení s tím, že se vždy klade důraz především na bezpečnost a ochranu.²²

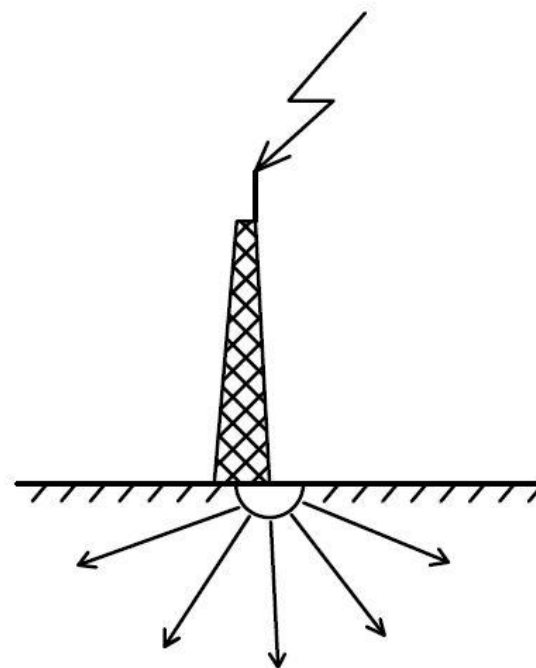
2.2 Principy

Fyzikální princip zemnění vychází z bleskového úderu do zemského povrchu. Po dopadu na povrch dochází k rozptýlení proudového náboje rovnoměrně do všech směrů. Tento jev si můžeme představit jako průchod proudu mezi zemnicí elektrodou polokulového tvaru a soustřednou elektrodou o velkém poloměru, která je rozprostřená v zemi.²³

²¹ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964.

²² ČSN 33 2000-6, ED. 2 – *Elektrické instalace nízkého napětí – Revize*. 2017

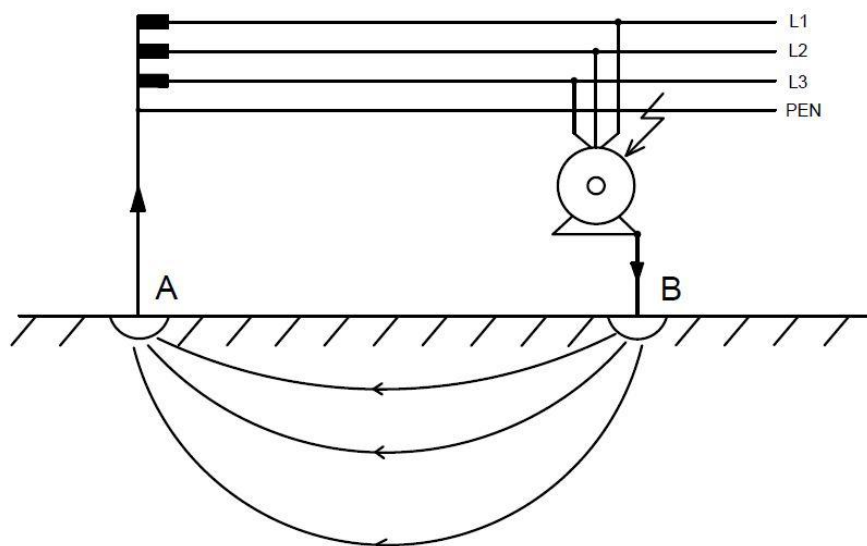
²³ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964.



Obr. 2.1: Rozptýlení proudového náboje v zemi

Máme-li 2 zemnicí elektrody, pak proud prochází od jedné k druhé jasně vymezeným směrem. Z Obr. 2.2 vyplývá, že zemnič A je spojen se zdrojem energie a k zemniči B je připojena kostra spotřebiče pomocí izolovaného vodiče. V praxi jsou většinou zemniče od sebe relativně hodně vzdáleny (v řádech metrů). Průběh proudu vede od zemniče B přes půdu až k zemniči A. Zem tak slouží jako zpětný vodič.²⁴

²⁴ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 25-26



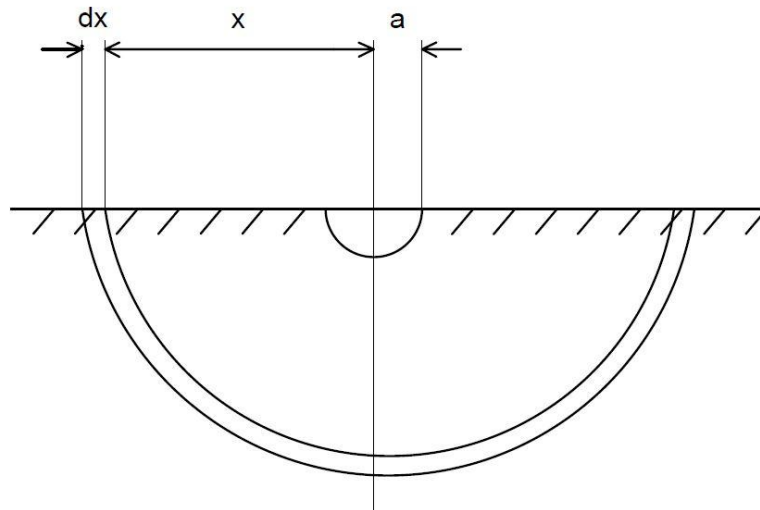
Obr. 2.2: Směr průchodu proudu od jedné zemnicí elektrody k druhé²⁵

Způsob a rychlost průchodu proudu od jednoho zemniče k druhému závisí na mnoha parametrech. Jedná se například o vzdálenost a vzájemnou polohu zemničů, na tvaru a kvalitě povrchu zemnicích elektrod a na vlastnostech půdy, skrz kterou proud teče. Půda bývá obvykle špatným vodičem elektřiny. Při výstupu proudu z elektrody dochází se zvyšující se vzdáleností k snížení jeho hustoty z důvodu širokého rozptylu do země. Z tohoto důvodu může být zemní odpor elektrody relativně nízký.

Pro výpočty zemních odporů je nutné vzhledem k obtížnosti přijmout několik zjednodušení. Uvažujeme elektrody ve tvaru polokoule a stejnorodou půdu s jednotnou hodnotou měrného odporu. Dále uvažujeme šíření zemního proudu ze středu polokoule zemniče B rovnoměrně a paprskovitě všemi směry. Napětí při homogenním odporu půdy klesá ve všech směrech rovnoměrně. Proudová hustota se snižuje se zvětšující se vzdáleností od elektrody B a v okolí elektrody A naopak dochází k zhušťování zemního proudu a směřování do jejího středu.²⁶

²⁵ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 25-26

²⁶ Tamtéž



Obr. 2.3: Zemní elektroda²⁷

Z Obr. 2.3 si pro výpočet označíme poloměr zemní elektrody písmenem a a půdu v okolí elektrody, kterou uvažujeme jako poloměr polokoule, písmenem x . Odpor tenké vrstvy polokulové slupky dx bude dR .

Povrch polokoule:

$$S = \frac{1}{2} * 4\pi * x^2 = 2\pi * x^2 \quad [\text{m}^2; -, \text{m}] \quad (2.1)$$

Odpor tenké vrstvy polokulové slupky:

Podle vztahu: $R = \rho \frac{1}{S} \quad [\Omega; \Omega\text{m}; \text{m}; \text{m}^2] \quad (2.2)$

je: $dR = \rho \frac{dx}{S} = \rho \frac{dx}{2\pi * x^2} \quad [\Omega; \Omega\text{m}; \text{m}; -, \text{m}] \quad (2.3)$

ρ - měrný elektrický odpor

Ze vztahu (2.3) vyplývá, že největší odpor je na povrchu elektrody, kde je nejmenší poloměr fiktivní polokoule. Se zvyšující se vzdáleností od elektrody klesá zemní odpor exponenciálně. Celkový odpor je dán součtem všech odporů všech vrstev od elektrody, ke konečnému místu.

Odpor, který se nachází mezi poloměrem elektrody a a poloměrem polokoule x , lze vyjádřit pomocí vztahu:

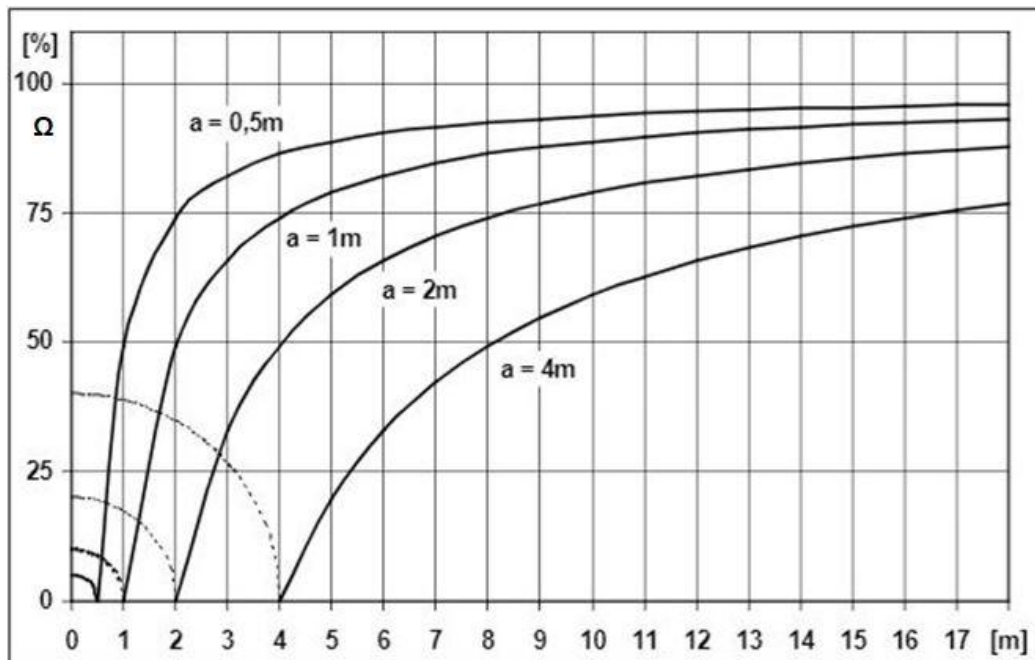
$$R_x = \frac{\rho}{2\pi} \int_a^x \frac{dx}{x^2} = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{x} \right) \quad [\Omega; \Omega\text{m}; -, \text{m}; \text{m}] \quad (2.4)$$

²⁷ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mírko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 26

Uvažujeme-li, že poloměr polokoule je mnohonásobně větší, než poloměr elektrody, pak lze zjednodušit vztah (2.4) na:

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot a} \quad [\Omega; \Omega\text{m}; -; \text{m}] \quad (2.5)$$

Z poměrného vztahu R_x a R vychází, že pokud máme homogenní odpor půdy, nezávisí růst zemního odporu na měrném odporu půdy, ale pouze na velikosti elektrody. Zmíněné vztahy a úvahy dokazuje graf na Obr. 2.4, který udává vývoj zemního odporu v závislosti na vzdálenosti od elektrody. Uvedeny jsou příklady 4 zemních elektrod s různým poloměrem. Z grafu vyplývá, že čím menší poloměr elektrody, tím se v kratší vzdálenosti projeví zemní odpor. Dokázán byl i vzorec (2.3), kdy se zvyšuje odpor s vyšší vzdáleností exponenciálně. Obr. 2.4 je však idealizován a v reálném prostředí bývá výpočet a poměry v zemnicí soustavě o poznání složitější.



Obr. 2.4: Závislost zemního odporu na poloměru zemnicí elektrody při určité vzdálenosti od elektrody²⁸

Při použití elektrody kulového tvaru, by vztahy pro výpočet zemního odporu vypadaly následovně:

$$S = 4\pi \cdot x^2 \quad [\text{m}^2; -; \text{m}] \quad (2.6)$$

$$R = \frac{\rho}{4\pi \cdot x} = \frac{\rho}{2\sqrt{\pi} \cdot \sqrt{S}} \quad [\Omega; \Omega\text{m}; -; \text{m}^2] \quad (2.7)$$

²⁸ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mírko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 27

Ze vztahu (2.7) vyplývá, že je v tomto případě zemní odpor nepřímo úměrný druhé odmocnině povrchu elektrody. Chceme-li snížit odpor o polovinu, musíme zvětšit povrch pláště čtyřikrát.

U ostatních konstrukčně jiných typů zemničů měníme odporový poměr dle vlastností a hlavních rozměrů.²⁹

2.3 Vliv měrného odporu půdy

Velikost zemního odporu je ovlivňována druhem a současným stavem půdy, kde se zemnič nachází. Jedná se především o fyzikální a chemické vlastnosti prostředí, které se mohou v závislosti na roční době a podnebí často měnit.

Mezi výborné izolanty patří například suchý písek, kamenitá půda nebo souvislá hornina. Ke zvyšování vodivosti dochází při pronikání vody s ionty nasycených solí do zeminy. Špatnou vodivost prokazují křemičité půdy s podložím ze žuly, zatímco půdy s vápencovým podložím a vysokým obsahem uhličitánů neprokazují dobré zemnicí vlastnosti. Mezi špatně zemnicí půdy patří i propustné písčité vrstvy, skrz které se snadno dostává voda. Naopak prosycené zóny z hlíníku jsou pro účely uložení zemnění velmi výhodné.

ČSN 33 2000-5-54, ed.3 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče*, přikládá přibližné hodnoty měrného odporu pro některé půdní typy. Měrný odpor půdy vyjadřujeme pomocí rezistivity, jejíž jednotkou je Ωm ("ohm-metr"). Zatímco průměrná hodnota syté orné půdy či vlhkého kompaktního břehu je přibližně $50 \Omega\text{m}$, hodnota u suchého písku, kamenité půdy nebo souvislé horniny je přibližně $3000 \Omega\text{m}$. V praxi se ovšem na tabulkové hodnoty nelze většinou spoléhat z důvodu rozdílnosti prostředí, staří půdního podloží, apod.³⁰

2.4 Zemní kapacitní proud

V sítích s izolovaným uzlem nebo neúčinně provedeným uzemněním uzlu může nastat zemní spojení. Jedná se o jednofázovou poruchu vedení, během které dochází k indukci poruchového proudu. Velikost tohoto proudu je dána převážně zemním kapacitním proudem sítě, který hraje roli i při dimenzování sítě z hlediska pracovního a ochranného uzemnění.

Hodnota zemního kapacitního proudu závisí na řadě parametrů, jako jsou typ vedení (kabelové, vzdušné) nebo celková délka vedení. U kabelového vedení jsou hodnoty díky kapacitnímu

²⁹ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 26-28

³⁰ ČSN 33 2000-5-54, ED. 3 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče*. 2012

charakteru několikanásobně (až 20krát) vyšší oproti vedením vzdušným a celkový zemní kapacitní proud se zvyšuje úměrně s rozsahem sítě. U kabelových vedení by neměly hodnoty přesahovat 350 A, zatímco u vzdušných vedení 60 A. Zároveň je doporučováno kompenzovat zemní kapacitní proud od 10 A.

Kompenzaci zemního kapacitního proudu lze provést například spojením uzlu transformátoru s pomocnou zhášecí tlumivkou (Petersonovo) a zemí. Při zemním spojení je indukován proud, který je hrazen proudem procházející zhášecí tlumivkou s vhodně nastavenou indukčností. Tento proud se vrací přes zem, místem zemního spojení vodiče a poškozenou fází zpět k tlumivce, přičemž jsou kompenzovány zemní kapacitní proudy zbylých dvou fází trojfázového vedení. Výhodou zhášecích tlumivek je, že i přes poruchový stav může být síť dále v provozu do té doby, než dojde k opravě vedení. Zhášecí zařízení nejsou však účinná při vícenásobném zemním spojení. Při této situaci je nutné postiženou část sítě neprodleně odpojit a opravit.

Úplná kompenzace zemních proudů v síti není proveditelná. Při zemním spojení zůstává v zemi v závislosti na nepřesném nastavení laditelné zhášecí tlumivky zbytkový kapacitní proud, jehož velikost bývá obvykle 10 - 20 % celkového zemního proudu. K nepřesnému nastavení přispívají proudy vyšších harmonických různých frekvencí a velikostí, a na ohmické složce zbytkového proudu se podílejí ohmické ztráty tlumivky a vedení. Dle velikosti zbytkového zemního proudu by se měly provádět základní výpočty pro zvolení správného ochranného uzemnění. Návrh, zkoušení a provoz zařízení ke kompenzaci zemních proudů v sítích VN by měl probíhat dle normy ČSN 33 3070 - *Kompenzace kapacitních zemních proudů v sítích vysokého napětí*.³¹

2.5 Dotykové napětí

Zemní poruchový proud hraje roli především z hlediska bezpečnosti živých organismů. Při poruše na vedení a vzniku zemního spojení se indukuje proud, který v součinu s odporem uzemnění vytváří napětí na neživé kovové části vůči zemi. V případě, že se člověk či zvíře dotkne současně dvou vodivých předmětů s rozdílným potenciálem, dojde k úbytku napětí v těle a přechodových odporech. Napětí se v obou zmíněných případech nazývá dotykové a může být od určitých hodnot životu nebezpečné. Z tohoto důvodu je důležité s ním počítat při návrhu a instalaci uzemnění.

Pro lidské tělo je z hlediska nebezpečí úrazu elektrinou zásadní průchozí proud. Tento proud je však v praxi velmi obtížné určit, jelikož hodnota zahrnuje řadu těžko zjistitelných parametrů. Při

³¹ ČSN 33 3070: *Kompenzace kapacitních zemních proudů v sítích vysokého napětí*. ÚNM, Praha 1982

dotyku člověka s živou nebo neživou částí pod napětím hraje roli impedance lidského těla, odpor podložky nebo podlahy, na které člověk stojí, odpor bot a odpor přechodu mezi podrážkami bot a zemí, který je závislý na rezistivitě půdy v povrchové vrstvě daného prostoru. Při doteku hrají roli i atmosférické podmínky a rozdílné fyziologické reakce lidí. Z těchto důvodů byly stanoveny na základě měření, pokusů a výpočtů mezní hodnoty dotykových napětí, které jsou pro člověka bezpečné. Dovolené dotykové napětí U_T při uvažování pouze impedance lidského těla $R_T = 1500 \Omega$ (jedna holá ruka, obě nohy bosé) je 75 V. Norma ČSN EN 50522 - *Uzemňování elektrických instalací AC nad 1 kV* udává, že proud může lidským tělem I_B za určitých podmínek protékat i více, než 10 s. Výpočet maximálního proudu procházejícího lidským tělem po dobu delší, než 10 s je následující:

$$I_B = \frac{U_T}{R_T} = \frac{75}{1500} = 50 \text{ mA} \quad [\text{A}; \text{V}; \Omega] \quad (2.8)$$

Dalším důležitým parametrem pro splnění bezpečnosti osob v závislosti na dovoleném dotykovém napětí je zemní odpor daného zařízení R_E . Zemní odpor by neměl překračovat vypočítanou dovolenou hodnotu odvozenou od předpokládaného dovoleného dotykového napětí U_{vTp} . Vycházíme ze vztahu:

$$R_E \leq k * \frac{U_{vTp}}{I_E} \quad [\Omega; -; \text{V}; \text{A}] \quad (2.9)$$

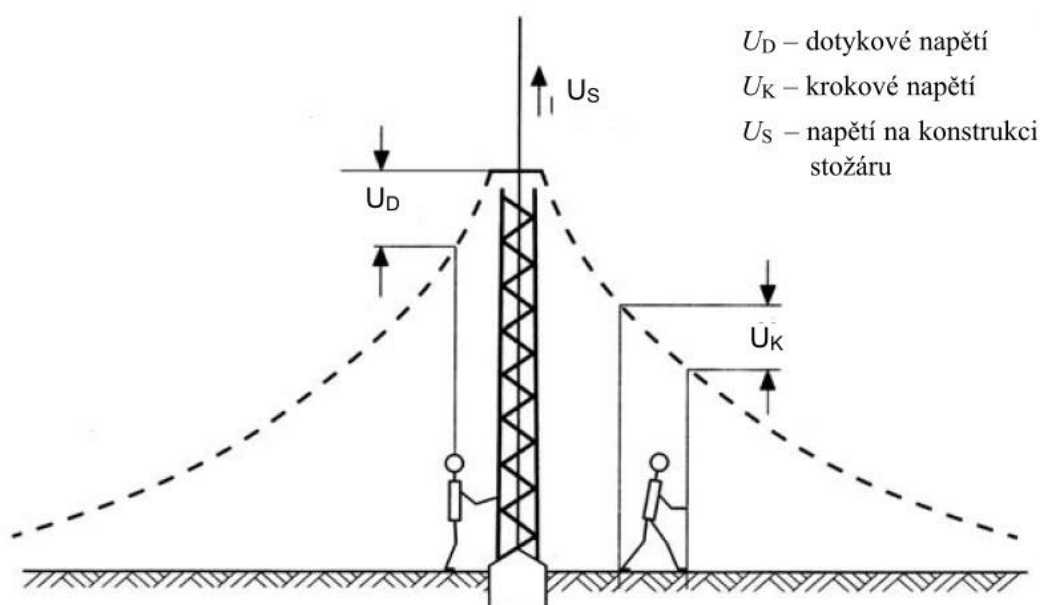
k - součinitel tvaru zemniče

I_E - zemní proud

Dovolené dotykové napětí 75 V platí pro distribuční transformovny VN/NN se společným uzemněním VN a NN. Dále pro venkovní vedení VN v místech jako jsou hřiště, plavecké bazény, kempy, rekreační plochy a podobná místa, kde se mohou pohybovat lidé s bosýma nohama. Mezi zařízení s předpokládaným dotykovým napětím 150 V patří elektrické stanice VN a venkovní vedení VN ve městech a obcích, kde se předpokládá, že jsou lidé obuti a disponují tak větším celkovým odporem. Třetím případem jsou zařízení VN v místech, které jsou odlehlé, a předpokládá se, že lidé budou v těchto oblastech obuti. Zde není normou jednoznačně stanoveno, jaké by mělo dotykové napětí být, a vše vychází z měření rezistivity půdy v povrchové vrstvě. Odlehlými místy jsou myšleny například místa v nezastavěných prostorách minimálně 10 m od komunikace I - III třídy, 50 m od zástavby, 50 m od rekreačních a sportovních ploch nebo u polních a lesních cest.³²

³² ČSN EN 50522 - *Uzemňování elektrických instalací AC nad 1 kV*, 2012

Speciálním typem dotykového napětí je napětí krokové. Jedná se o napětí mezi dvěma body zemského povrchu vzdálených od sebe 1m, které je považováno za délku kroku člověka. Krokové napětí vzniká a je nebezpečné například v místech, kde spadnou dráty VN. V okolí drátů s vyšší vzdáleností rychle klesá potenciál země, což může při chůzi směrem k poruchovému místu vytvořit nebezpečné dotykové (krokové) napětí. Dovolené hodnoty krokových napětí jsou vyšší, než povolená dotyková napětí. Pokud tak uzemňovací soustava splňuje požadavky na dotyková napětí, lze předpokládat, že se obecně nevyskytnou žádná nebezpečná kroková napětí.



Obr. 2.5: Znázornění dotykového a krokového napětí v závislosti na potenciálu země³³

³³ KŘÍŽ, Michal. *Příručka pro zkoušky elektrotechniků: požadavky na základní odbornou způsobilost*. 10., aktualiz. vyd. Praha: IN-EL, 2014. Elektro (IN-EL). ISBN 978-80-87942-01-7.

3. Zemnicí prvky

Zemnič je, jak již bylo zmíněno v podkapitole 2.1, vodivý předmět, který je vodivě spojený se zemí a slouží k uzemnění. Obvykle bývá uložen v zemi nebo je s ní ve spojení na velké ploše. Vodivým předmětem rozumíme jakékoliv těleso, předmět či objekt v zemi, jenž má dostatečně malý odpor a lze přes něj přenášet elektrický náboj do země. Samotný výběr zemniče závisí právě na velikosti odporu, což lze ovlivnit tvarem a rozměrem zemničů nebo způsobem uložení v zemi v závislosti na fyzikálních a chemických vlastnostech půdy v jeho okolí. Půda může na různých místech vykazovat rozdílné pH, rezistivitu, vlhkost, bludné a unikající střídavé nebo stejnosměrné proudy, chemické znečištění, blízkost dvou nebo více odlišných materiálů, atd. Všechny tyto vlastnosti by se měly pokaždé při ukládání do země zohlednit.

Při instalaci vycházíme z normy ČSN 33 2000-5-54 ed. 3 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče*, která udává vhodné typy, materiály a rozměry zemničů tak, aby vydržely především vliv korozních účinků a mechanického namáhání. Nejdůležitější je dbát na bezpečnost jak osob, tak například hospodářských zvířat. Napěťový spád v okolí zemniče by neměl způsobovat potenciálové rozdíly na povrchu, které by pro živé bytosti mohly být nebezpečné. Proto je zásadní dodržet rozměry a uspořádání dle platné normy.^{34 35}

Z hlediska realizace rozdělujeme zemniče do dvou základních kategorií:

- náhodné zemniče,
- strojené zemniče.

3.1 Náhodné zemniče

Přirozeným zemničem rozumíme libovolné kovové těleso, které je buď uložené v zemi, nebo se země neizolovaně dotýká. Jedná se o kovová tělesa, jejichž primární účel je sice jiný, než uzemnění, avšak nenaruší-li funkci, pro kterou jsou určeny a splňují-li požadavky normy jako zemniče strojené, můžeme je pro tento účel použít.

Dříve byl tento typ využíván v hojnosti vzhledem k používání kovových materiálů u vodárenských rozvodů, litinových potrubí nebo ocelových drážních kolejnic. Velmi nízkých

³⁴ KAVULÁK, Josef: *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové. Fakulta přírodovědecká

³⁵ ČSN 33 2000-5-54, ED. 3 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče*. 2012

zemních odporů bylo dosahováno velkou plochou nainstalovaných sítí. V dnešní době je situace rozdílná. Z ekonomických či jiných důvodů se začala instalovat plastová potrubí, u železnic se po nutném zavedení elektronických zařízení přestaly používat kolejnice pro zemnění a často dochází k nesouhlasu provozovatelů s využitím jejich majetku pro tyto účely.

V současnosti se nejčastěji v praxi s náhodnými zemniči setkáváme u některých částí konstrukcí objektů. Využívají se například kovové podzemní konstrukce nebo ocelové armatury v železobetonových základech budov. Norma naopak striktně zakazuje pro účely ochranného uzemnění užití potrubních sítí přenášejících hořlavé kapaliny a plyny, nebo potrubí topných systémů.^{36 37 38}

Náhodné zemniče jsou výhodné především z ekonomického hlediska, kdy se ušetří za případnou instalaci zemničů strojených. Proto je tento typ využíván prioritně.

3.2 Strojené zemniče

Jednoúčelová zařízení, která plní pouze funkci uzemnění, se nazývají strojené zemniče. K jejich zřízení dochází za následujících podmínek:

- náhodný zemnič nelze využít - není dostupný, stavební objekt jej neobsahuje,
- náhodný zemnič nevyhovuje požadavkům předpisů,
- použití náhodného zemniče by bylo neekonomické,
- hodnota zemního odporu náhodného zemniče je nevyhovující,
- použití náhodného zemniče nepovolují požární nebo jiné bezpečnostní předpisy,
- pokud nemůžeme zajistit, že spojení s náhodným zemničem nebude přerušeno,
- pokud nějaký předpis vysloveně zřízení strojeného zemniče vyžaduje.

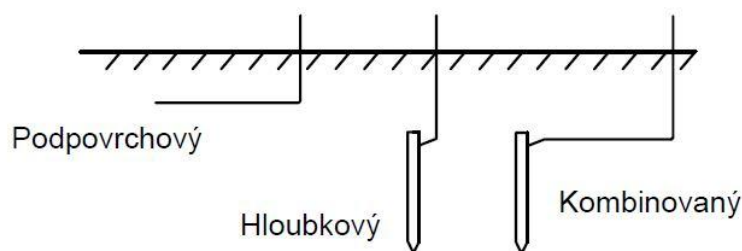
Z hlediska uložení do půdy rozdělujeme zemniče na:

- podpovrchové - horizontální,
- hloubkové - vertikální,
- kombinované - sdružené.

³⁶ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 32-39

³⁷ NOVOTNÝ, Václav. *Uzemnění a jeho měření*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1973. Praktické elektrotechnické příručky. ISBN 04-502-73

³⁸ ČSN 33 2000-5-54, ED. 3 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče*. 2012

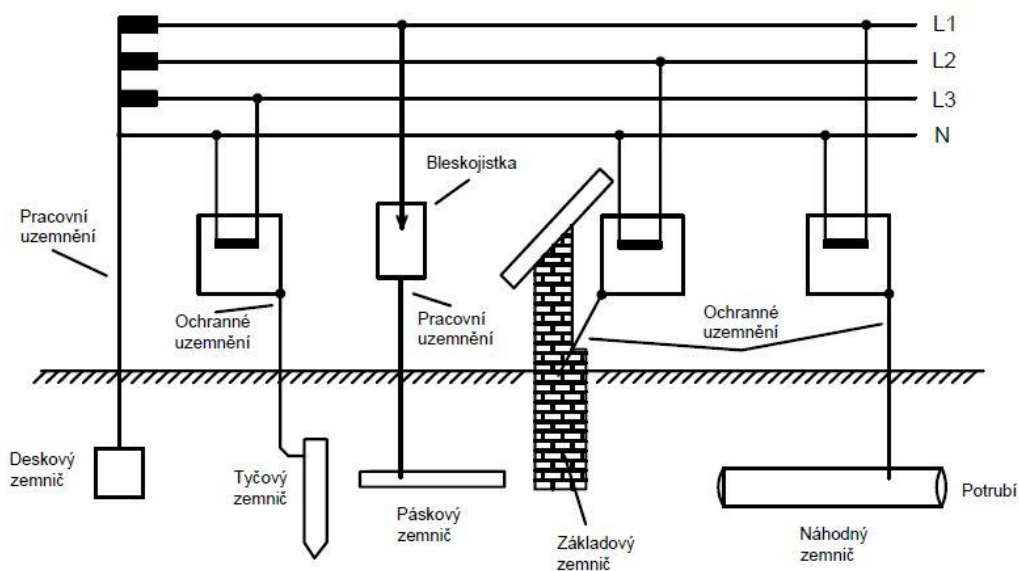


Obr. 3.1: Typy zemničů z hlediska uložení do půdy

Pro každý typ uložení do země používáme různé konstrukční typy zemničů tak, aby byla dodržena norma a instalace byla co nejvíce efektivní.

Základními konstrukčními typy zemničů jsou:

- zemničí pásy nebo dráty,
- zemničí tyče nebo trubky,
- zemničí desky,
- základové uzemnění,
- kovové výztuže betonu uloženého v zemi,
- kovové pláště nebo obaly kabelů dle podmínek místa uložení a požadavků,
- jiná podzemní kovová díla.



Obr. 3.2: Příklady konstrukčních typů zemničů³⁹

³⁹ KŘÍŽ, Michal: *Jak dimenzovat, ukládat a spojovat zemniče*. [online]. 2014. [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/dimenzovani-ulozeni-a-spojovani-zemnicu>

Výběr správného zemniče závisí z velké části i na typu materiálu. Požadavky vycházejí z předpokládaných dlouhodobých korozních účinků a mechanického namáhání. Materiály by dále měly být pokud možno co nejvíce odolné na vlhkost a ukládání by mělo probíhat v místech mimo skládky odpadů či chemických prostředků. Doporučuje se také z důvodu bezpečnosti vyhnout frekventovaným místům. Z normy ČSN 33 2000-5-54 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče* dále vychází, že místa spojů materiálů dvou rozdílných povah nesmí být nechráněně uloženy v zemi a nemělo by docházet ke kombinacím kovů a slitin.^{40 41}

Mezi vhodné materiály patří:

- žárově zinkovaná ocel,
- mědí pokrytá ocel - žárově nebo elektrolyticky,
- nerezová ocel,
- měď.

3.2.1 Podpovrchové zemniče

Podpovrchové zemniče jsou ukládány horizontálně ve formě pásků (30 x 4 mm) nebo drátů (d = 10 mm) jakožto zemních elektrod. Ukládají se do hloubky menší, než jeden metr v místech s dobrou vodivostí půdy v horních vrstvách. V případě, že zřizujeme tento typ zemniče v lokalitách s agresivními půdami, použijeme na zemniče materiály s vyšší odolností. V současné době se využívá především nerezové oceli. Nejdůležitějším zkoumaným parametrem uzemnění je velikost zemního odporu zemniče. Výpočty pro velikost zemního odporu pásků a drátů vyjadřují vztahy (3.1) a (3.2). Tyto vztahy platí za předpokladu, že délka pásku je vyšší, než hloubka a zároveň je hloubka uložení vyšší, než šířka pásku, případně průměr drátu.

Výpočet zemního odporu pásku délky l , šířky a a hloubky h :

$$R = \frac{\rho}{2\pi * l} \left(\ln \frac{4l}{a} + \ln \frac{l}{2h} \right) \quad [\Omega; \Omega\text{m}; -; \text{m}; \text{m}; \text{m}; \text{m}; \text{m}] \quad (3.1)$$

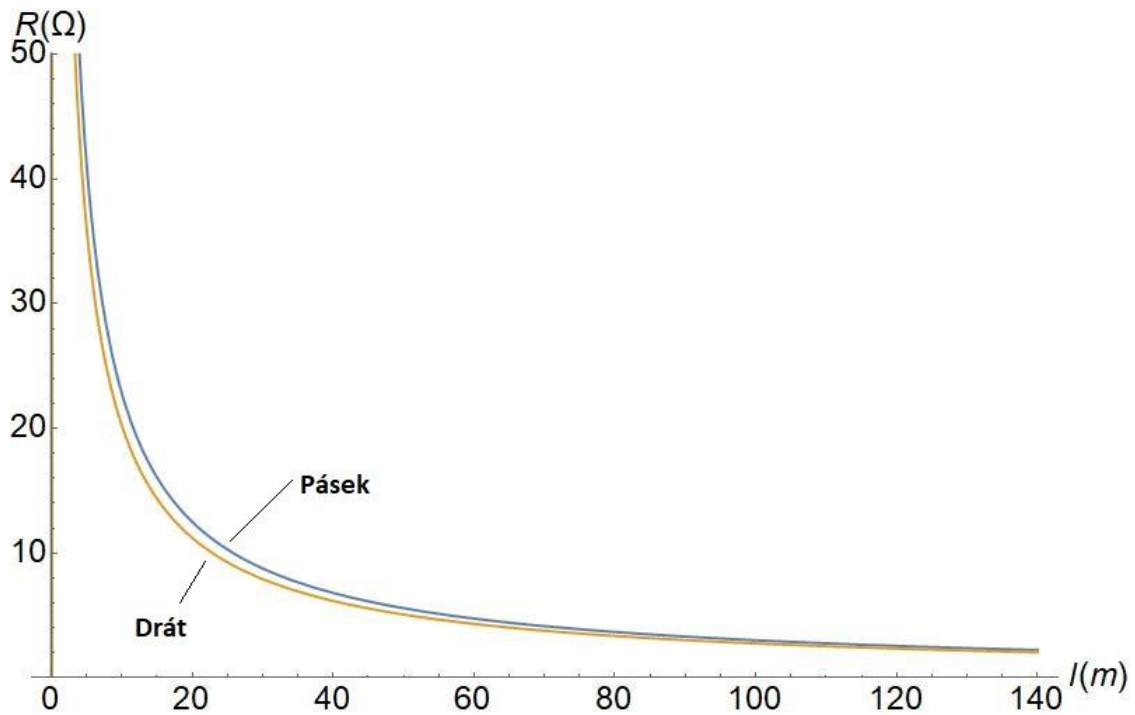
⁴⁰ KAVULÁK, Josef: *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové. Fakulta přírodovědecká

⁴¹ ČSN 33 2000-5-54, ED. 3 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče*. 2012

Výpočet zemního odporu drátu o průměru d :

$$R = \frac{\rho}{2\pi * l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2h} \right) \quad [\Omega; \Omega\text{m}; -; \text{m}; \text{m}; \text{m}; \text{m}; \text{m}] \quad (3.2)$$

Dosadíme-li hodnoty rezistivity $\rho = 100 \Omega\text{m}$, hloubku $h = 60 \text{ cm}$ a šířku pásku $a = 4 \text{ mm}$, můžeme zkonstruovat graf závislosti zemního odporu na délce pásku. To samé lze provést při zanechání stejné rezistivity s drátem o průměru $d = 10 \text{ mm}$.⁴²



Obr. 3.3: Vliv délky pásků na zemní odpor

Z grafu vyplývá, že se zvyšující se délkou zemní odpor v obou případech klesá přibližně stejně. V určité vzdálenosti (cca 40 m) dochází k již velmi malému postupnému poklesu a zemnění ztrácí efektivitu z ekonomického hlediska. Výhodou páskových zemních elektrod při vykazování podobných zemních odporů je jeho delší životnost a naopak jako nevýhoda se jeví o 50 % vyšší materiálové nároky oproti drátovým zemním elektrodám.

⁴² KAVULÁK, Josef: *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové. Fakulta přírodovědecká

Výhodou tohoto typu zemniče je především snadná možnost výstavby při dostatku volných ploch k uložení. Horizontální zemniče je možné uložit i do předpřipravených kabelových drah.

43 44 45

3.2.2 Hloubkové zemniče

Oproti podpovrchovým zemničům ukládáme hloubkové zemniče vertikálně do hloubky vyšší, než 1 m a to v místech, kde jsou optimální hodnoty vodivosti půdy. Jako zemnicí elektrody jsou obvykle používány žárově zinkované tyče ($d = 25$ mm) nebo žárově zinkované trubky (max. $d = 50$ mm). Tyče jsou obvykle dlouhé 1 - 2 metry, zatímco trubky většinou 2 - 3 metry. Ukládání do větších hloubek je možné v některých případech docílit vodivým propojením jednotlivých částí. U tyčí se můžeme setkat i s některými konstrukčně jinými typy, například ve tvaru T. Pro výpočet zemního odporu tyče nebo trubky o délce l a průměru d lze použít vztah:

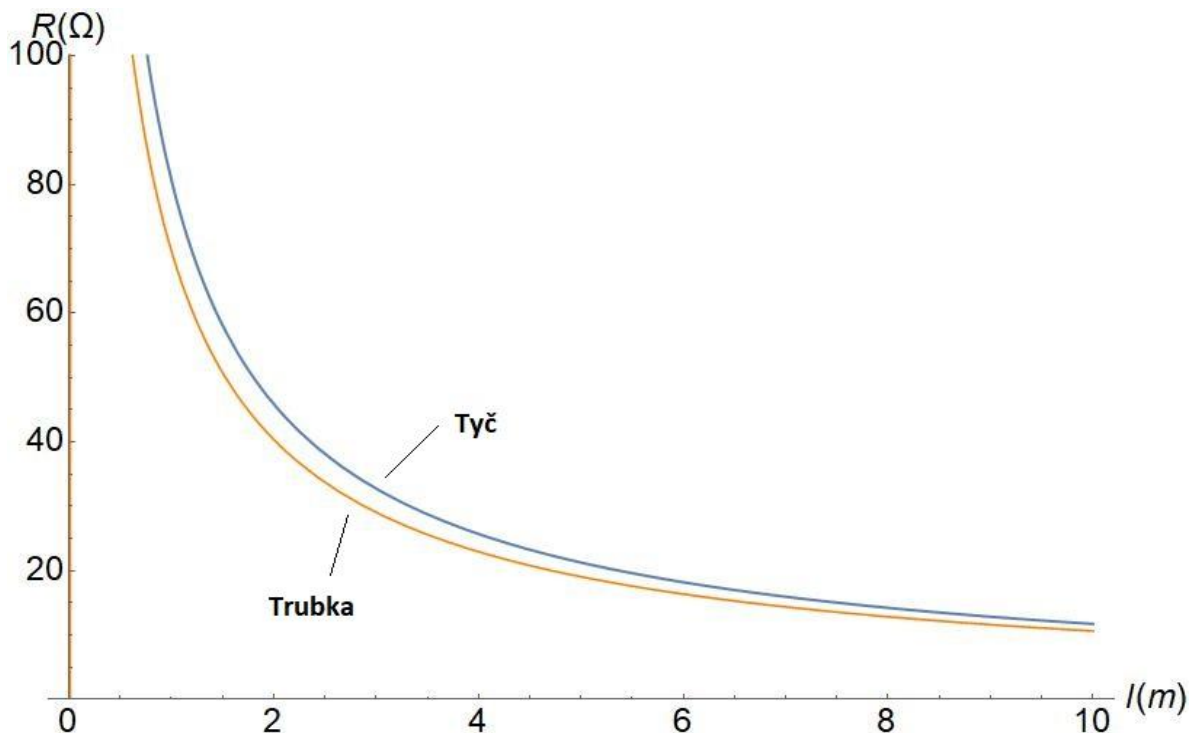
$$R = \frac{\rho}{2\pi * l} * \ln \frac{4l}{d} \quad [\Omega; \Omega m; -; m; m; m] \quad (3.3)$$

K porovnání obou typů hloubkových zemnicích elektrod využijeme opět grafického vyjádření. Rezistivitu půdy zvolím, podobně jako v podkapitole 3.2.1, $\rho = 100 \Omega m$. Průměr zinkované tyče je $d = 25$ mm, zatímco průměr zinkované trubky zvolím dvojnásobný (50 mm).

⁴³ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 56-59

⁴⁴ NOVOTNÝ, Václav. *Uzemnění a jeho měření*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1973. Praktické elektrotechnické příručky. ISBN 04-502-73

⁴⁵ KOČVARA, Antonín. *Uzemňování elektrických zařízení*. Praha: IN-EL, 1995. Knihovnice Elektro.



Obr. 3.4: Vliv délky a odporu hloubkových zemničů na zemním odporu

Ze vzorce (3.3) tedy vyplývá, že se zvyšujícím průměrem a délkou trubky se snižuje zemní odpor. Z výpočtů vyplynulo, že s dvojnásobným zvýšením průměru zinkované trubky o průměru 2 m poklesl zemní odpor o 12,5 %. Dalším zvyšováním průměru trubky bychom dosáhli pro různé hodnoty délek odlišné zemní odpory. Například při osminásobném zvýšení průměru klesne zemní odpor pro trubku s $d = 0,6$ m o 29 %, zatímco pro trubku s $d = 3$ m pouze o 48 %. Z toho vyplývá, že je pro dosažení co nejmenší hodnoty zemních odporů žádoucí použít trubku o větší délce a průměru.^{46 47}

Význam vertikálních hloubkových zemničů je především ve městech, kde je nedostatek volného prostoru a hustá zástavba. Používá se také při zlepšování podmínek uzemnění v místech se staršími, již nevyhovujícími zemničímí soustavami.⁴⁸

⁴⁶ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 52-56

⁴⁷ KAVULÁK, Josef: *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové. Fakulta přírodovědecká

⁴⁸ MARKIEWICZ, Henryk a KLAJN, Antoni. *Uzemnění & EMC - Uzemňovací systémy*. Wrocław: Wrocław University of Technology, 2005. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16975436-Kvalita-elektricke-energie-pruvodce.html>

3.2.3 Deskové zemniče

V dřívějších dobách byly využívány k zemnění i desky, které se zasazovaly svisle do země. V současnosti k instalaci již téměř nedochází z důvodu malé účinnosti, vysoké materiálové náročnosti a s tím související ekonomickou neefektivitou. Pro zvýšení účinnosti je výhodnější využít více malých desek spojených paralelně, než jednu velkou, z důvodu nižší materiálové náročnosti. Dle platných norem se instalace deskových zemničů nedoporučuje.⁴⁹

Při případné instalaci by desky měly mít povrch nejméně 1 m² s tloušťkou 1 mm u měděných a 3 mm u ocelových pozinkovaných desek. Dbát by se mělo i na správné vodorovné podélné zasazení do země z důvodu zvýšení pravděpodobnosti, že bude deska uložena ve vodivějším pásu půdy. Osvědčené zemničí výsledky vykazuje tento typ zemniče pouze v místech, kde je dobrá vodivost půdy v hloubce 1 - 2 m.

V praxi se nejčastěji setkáme s dvěma typy desek: čtvercové a obdélníkové. Hospodárnější variantou jsou obdélníkové desky například o rozměrech 200 x 25 cm. Jejich výhodou je, že tvoří přechod mezi deskou a hospodárnou pásovou elektrodou.⁵⁰

3.2.4 Sdružené zemniče

Instalací jednoho zemniče obvykle nedosáhneme požadované velikosti zemního odporu. Proto se hojně využívá paralelní kombinace několika zemničů, jejichž vzájemná vzdálenost bývá určena tak, aby v ideálním případě nedošlo k rušení jejich účinků. Vzdálenost zemničů je dána jejich délkou. Pásky bývají vzdáleny alespoň 1m, tyče 2m a desky 3m. Pokud bychom použili větší množství zemničů, dojde již k téměř nulovému snížení zemního odporu a soustava se stává značně nevhodná. Výsledný účinek je také menší, jsou-li elektrody uloženy v kratší vzdálenosti od sebe.^{51 52}

K sdružování dochází především u více zemničích tyčí (vertikální), zemničích pásků (horizontální) nebo jejich kombinací.

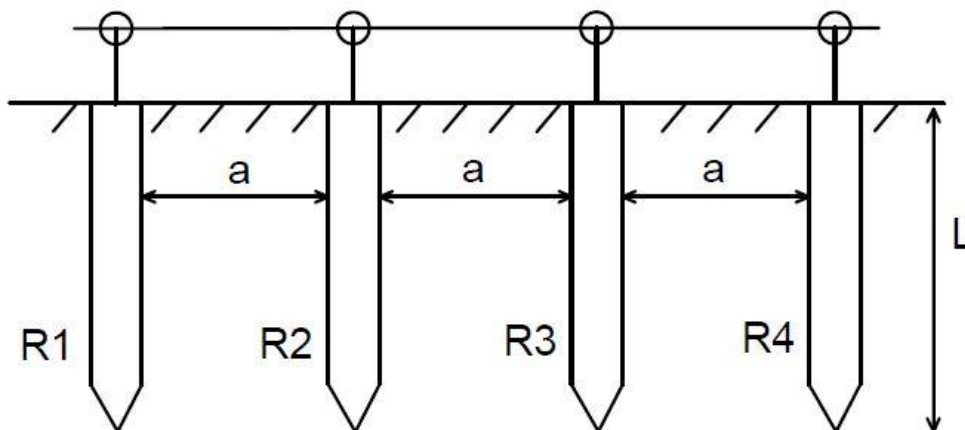
⁴⁹ ČSN 33 2000-5-54, ED. 3 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče*. 2012

⁵⁰ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 49-52

⁵¹ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 59-65

⁵² KAVULÁK, Josef: *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové. Fakulta přírodovědecká

Minimální vzájemná vzdálenost dvou a více vertikálních zemničů je dána jejich délkou. V případě, že máme dostatečně velkou volnou plochu, je vhodné zvýšit rozteč tyčí na dvojnásobek, až čtyřnásobek jejich délky.



Obr. 3.5: Paralelní uložení čtyř tyčových zemničů vertikálně do půdy⁵³

Druhou variantou je spojení několika zemničích pásků. Zvyšování koncentrace pásů v prostoru není účelné, a proto se vytváří svody, které se následně spojují. Snahou je utvořit co největší efektivní plochu. Pásky mohou být ukládány například kolem ocelových sloupů. V ideálním případě by mělo být uspořádání rovnoměrné a paprskovité a obvykle se používají 3 nebo 4 pásky. Použití více, než 4 pásků, by bylo již ekonomicky nevýhodné z důvodu malého ovlivnění velikosti zemního odporu. Při výpočtu zemního odporu soustavy hraje roli konfigurace uzemňovacích elektrod, kdy se s každým zapojením mění koeficient účinnosti η . Samostatná elektroda má koeficient účinnosti $\eta = 1$, zatímco čtyřpaprsková elektroda $\eta = 0,736$. V praxi se setkáme s velikostí koeficientu účinnosti přibližně od 0,5 do 1.^{54 55}

⁵³ MARKIEWICZ, Henryk a KLAJN, Antoni. *Uzemnění & EMC - Uzemňovací systémy*. Wrocław: Wrocław University of Technology, 2005. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16975436-Kvalita-elektricke-energie-pruvodce.html>, str. 6

⁵⁴ KAVULÁK, Josef: *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové. Fakulta přírodovědecká

⁵⁵ MARKIEWICZ, Henryk a KLAJN, Antoni. *Uzemnění & EMC - Uzemňovací systémy*. Wrocław: Wrocław University of Technology, 2005. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16975436-Kvalita-elektricke-energie-pruvodce.html>

Vzorec pro výpočet zemního odporu sdruženého zemniče je následující:

$$R_v = \frac{R_o}{n \cdot \eta} \quad [\Omega; \Omega; -; -] \quad (3.4)$$

R_o - zemní odporu jedné elektrody

n - počet zemničů

η - koeficient účinnosti

Třetí variantou je kombinace pásu a trubek. Vertikálně uložené trubky jsou svorkami nebo svařením připojeny k sobě pásovou ocelí. Zemní odpor soustavy lze vypočítat ze vztahu:

$$R_s = \frac{1}{\frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot n}{R_1} + \frac{1}{R_o}} \quad [\Omega; -; -; -; \Omega; \Omega] \quad (3.5)$$

R_s - zemní odpor soustavy

R_1 - zemní odpor jedné trubky/tyče

R_o - zemní odporu spojovacího pásu

n - počet trubek

η_1 - koeficient účinnosti trubek/tyčí

η_2 - koeficient účinnosti vzájemného působení trubek a spojovacího pásu

Celkový výsledek je ovlivněn hned několika veličinami. Účinnost trubek/tyčí se určuje v závislosti na jejich délce. Například spojením 40 tyčí o délce $l = 3$ m je $\eta_1 = 0,72$, zatímco při délce $l = 0,5$ m je $\eta_1 = 0,47$. Optimální vzdálenost dvou tyčí a byla po zkouškách určena jako trojnásobek délky tyčí. Koeficient účinnosti vzájemného působení trubek a spojovacího pásu se zvyšuje s vyšší distancí celé zemničí soustavy. To je způsobeno omezením vzájemných negativních vlivů. Účinnosti η_2 se pohybuje okolo 0,9.^{56 57 58}

3.2.5 Mřížové zemniče

Základním účelem budování mřížových sítí je snížení hustoty zemního proudu a rovnoměrné rozložení potenciálu v půdě. Bývají rozprostřeny na území o větších rozměrech.

V důsledku průchodu elektrického proudu vodivým prostředím půdy dochází k napěťovému spádu. Problém s rozložením potenciálu v půdě registrujeme například v okolí vertikálních a

⁵⁶ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 59-65

⁵⁷ Tamtéž, co 52

⁵⁸ Tamtéž, co 53

horizontálních zemničů. Dochází k tvorbě krokového napětí, které může být nebezpečné pro zdraví živých organismů.

Rozložení potenciálu definuje vztah:

$$V_x = \frac{\rho * I_E}{2\pi * l} * \ln \frac{\sqrt{l^2 + 4h^2 + 4x^2} + l}{\sqrt{l^2 + 4h^2 + 4x^2} - l} \quad [V; \Omega m; A; -, m; m; m; m; m; m; m; m; m; m; m] \quad (3.6)$$

V_x - povrchový potenciál země

ρ - měrný zemní odpor

I_E - zemní proud

l - délka uzemňovací elektrody

h - hloubka uzemňovací elektrody

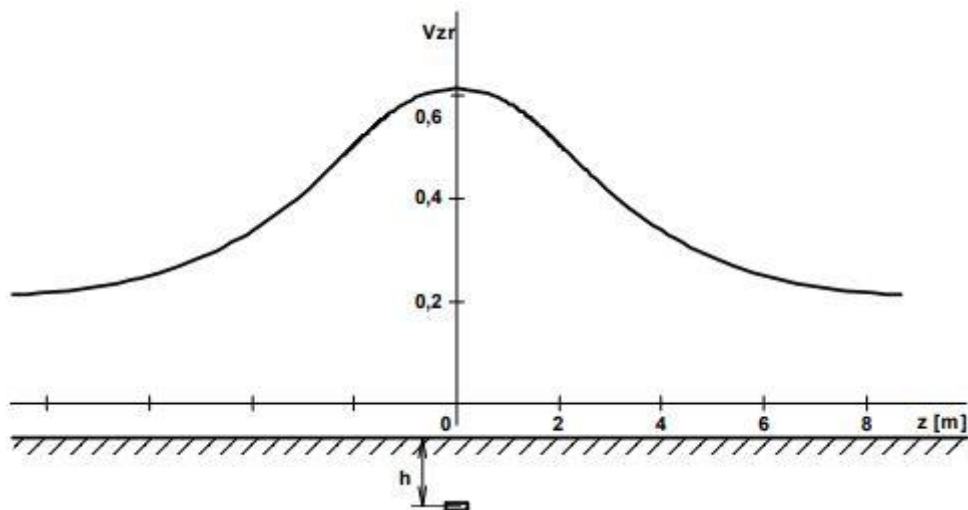
x - vzdálenost od elektrody

Relativní hodnota potenciálu pak je:

$$V_x^* = \frac{V_x}{V_E} \quad [-; V; V] \quad (3.7)$$

V_E - potenciál zemnicí elektrody

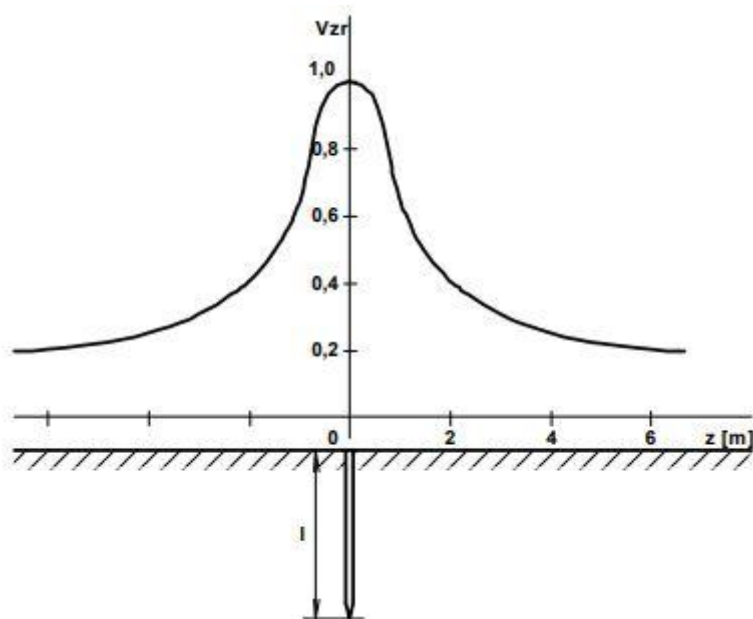
Pro horizontální zemnič vypadá rozložení povrchového potenciálu následovně:



Obr. 3.6: Rozložení potenciálu na povrchu nad horizontálním zemničem⁵⁹

⁵⁹ MARKIEWICZ, Henryk a KLAJN, Antoni. *Uzemnění & EMC - Uzemňovací systémy*. Wrocław: Wrocław University of Technology, 2005. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16975436-Kvalita-elektricke-energie-pruvodce.html>, str. 3

Rozložení povrchového potenciálu pro vertikální zemnič vypadá takto:



Obr. 3.7: Rozložení potenciálu na povrchu nad vertikálním zemničem⁶⁰

Z Obr. 3.6 a Obr. 3.7 vyplývá, že pro vertikální zemniče vychází relativní hodnota napětí vyšší. Proto se tyčové zemniče často využívají v kombinaci s mřížovou sítí, která rozložení povrchového potenciálu na potřebném území vyrovnává. U horizontálních zemničů je postup trochu jiný. Propojené pásy se pravidelně rozloží a po připojení k vodivé části dojde k vyrovnání potenciálu oproti uzemněným elektrodám. Potenciálové rozdíly tedy odstraňujeme vhodným zapojením tak, aby nedošlo k ohrožení živých bytostí.^{61 62}

Přibližný vztah pro odpor mřížové sítě vychází z Laurentova vztahu:

$$R_E = \frac{\rho}{4r_e} + \frac{\rho}{l_\Sigma} \quad [\Omega; \Omega\text{m}; \text{m}; \Omega\text{m}; \text{m}] \quad (3.8)$$

r_e - ekvivalentní poloměr

l_Σ - součet délek všech stran mřížové sítě

ρ - měrný zemní odpor

⁶⁰ MARKIEWICZ, Henryk a KLAJN, Antoni. *Uzemnění & EMC - Uzemňovací systémy*. Wrocław: Wrocław University of Technology, 2005. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16975436-Kvalita-elektricke-energie-pruvodce.html>, str. 5

⁶¹ KAVULÁK, Josef: *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové. Fakulta přírodovědecká

⁶² MARKIEWICZ, Henryk a KLAJN, Antoni. *Uzemnění & EMC - Uzemňovací systémy*. Wrocław: Wrocław University of Technology, 2005. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16975436-Kvalita-elektricke-energie-pruvodce.html>

První člen v rovnici (3.8) vyjadřuje odpor plné desky. Druhý člen značí zvětšení odporu oproti plné desce z důvodu různé hustoty v zemní síti.

V mřížové síti se setkáme s nerovnoměrně rozloženou proudovou hustotou. Největší hodnoty zemních proudů protékají okrajovými vodiči a obvodové vodiče mívají vyšší hodnoty zemních odporů. K zlepšení uzemnění se mohou instalovat hloubkové elektrody na obvod chráněné oblasti. Jejich význam je ale téměř zanedbatelný vzhledem k tomu, že délka tyčí by musela být značná.^{63 64}

⁶³ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 66-68

⁶⁴ Tamtéž, co 62

4. Metody měření zemních odporů

S příchodem nových technologií, znalostí a testování v oblasti zemnění byly v polovině 20. století vytvořeny základní metody a měřicí přístroje, jejichž snahou bylo co nejefektivněji a nepřesněji změřit velikosti zemních odporů.

Změna odporu měřené zemní elektrody se projevuje z větší části do několika metrů. Přibližně 20 metrů od elektrody již nedochází téměř k zvyšování, tudíž můžeme tuto vzdálenost prohlásit za odpor zemní elektrody. Vzhledem k tomu, že zemní odpor nemůžeme odseparovat, měříme ho nepřímou metodou. K měření se využívají pomocné elektrody, kdy buď využijeme dvě proudové, nebo jednu proudovou a jednu napěťovou sondu. Přesnost měření je dána správným umístěním obou elektrod. Dobré umístění sond je nezbytné pro určení skutečného odporu. Při přípravě je nutné uložit pomocné elektrody dostatečně hluboko do půdy tak, aby zkušební proud proběhl všemi vrstvami půdy, kde se projeví zemní odpor elektrody. Pomocné elektrody zároveň nesmí být příliš blízko od elektrody zkoušené, jelikož by došlo ke zkreslení poměrných hodnot a výsledný zemní odpor by vyšel nesprávně. Následující tabulka Tab. 4.1 ukazuje, jak přesně bude změřen odpor v závislosti na vzdálenosti pomocné proudové elektrody od zemní elektrody (trubky) při různých tloušťkách a hloubce.^{65 66}

⁶⁵ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 636-638

⁶⁶ KAVULÁK, Josef: *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové. Fakulta přírodovědecká

Zemní elektroda	Případající část celkového odporu [%]	Vzdálenost zemniče od pomocné elektrody [m]
3/4'' trubka 1 m hluboko	90	1,8
	95	3,6
	98	10
	99	20
3/4'' trubka 1,5 m hluboko	90	2,7
	95	5,4
	98	13,5
	99	27
1'' trubka 2 m hluboko	90	3,6
	95	7,2
	98	18
	99	36
1 1/4'' trubka 3 m hluboko	90	5,4
	95	10,8
	98	26,4
	99	54
1 1/2'' trubka 4 m hluboko	90	7,2
	95	14,4
	98	36
	99	72
2'' trubka 5 m hluboko	90	9
	95	18
	98	45
	99	90
2 1/2'' trubka 6 m hluboko	90	10,5
	95	21
	98	52,5
	99	105

Tab. 4.1: Přesnost měření odporu v závislosti na vzdálenosti pomocné proudové elektrody⁶⁷

Z Tab. 4.1 vyplývá, že čím větší vzdálenost, tím přesnější měření. Při vyšší vzdálenosti mezi zemní a pomocnou elektrodou již však odpor téměř neroste a případné prodlužování vzdálenosti je víceméně neefektivní. Se zvyšujícím průměrem dochází k natahování vzdálenosti k umístění obou pomocných elektrod. Pro rozsáhlá uzemnění se může teoreticky jednat řádově i o stovky metrů. Nezanedbatelný problém při měření mohou způsobit i kovová potrubí poblíž testovaných zemničů. V takovém případě je záhodno opět prodloužit vzdálenost pro vyšší přesnost.

⁶⁷ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 639

Při samotném měření se používá výhradně střídavý proud. Použitím stejnosměrného proudu by docházelo k chybě způsobenou polarizací elektrod. Volba frekvence kmitů nemá na měření takový vliv. Žádoucí je odlišit se od evropského standardu 50 Hz, jelikož půdou, například v blízkosti větších elektráren, mohou vést bludné střídavé proudy, které by mohly způsobit zkreslení výsledků. Doporučuje se nižší pásmo 36 - 42 Hz nebo naopak vyšší 65 - 78 Hz. Druhou možností je vhodné nastavení přístrojů k měření zemních odporů.

Podstatnou roli při měření zemních odporů hrají i vlastnosti prostředí nebo podnebí. Měření se má provádět jak v mokru, tak suchu. Naopak ihned po uložení zemní elektrody by se mělo měření oddálit z důvodu změny odporu při sedání si do půdy. Odlišné hodnoty v mírném podnebí vykazuje zemní odpor i v letním a zimním období. Proto provádíme zkoušky jak při vyschnuté, tak zmrznuté půdě. Kontroly zemního odporu je žádoucí provádět i po nenadálých událostech, jako jsou zásahy bleskem nebo proražení sítí VN, NN. Naopak v případě blížící se bouřky je měření zemních odporů zakázáno z důvodu bezpečnosti techniků provádějících kontroly.^{68 69}

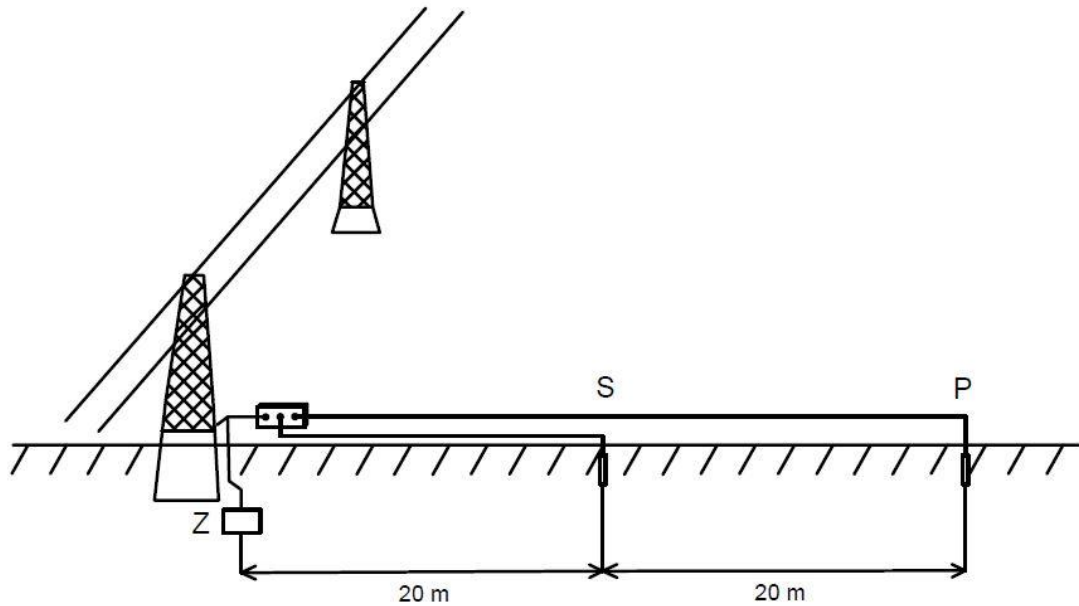
Samotné měřicí přístroje je vhodné kvůli odporu přívodního vodiče umístit co nejbližně zkoušené zemnicí elektrodě. Pokud přívod není dostatečně silný a krátký, nebo je hodnota odporu zemniče příliš nízká, je nutno provést korekci měřicího přístroje, aby nedošlo ke zkreslení. Přívodní vodiče by v ideálním případě měly být izolované a jednotné.

Jak již bylo zmíněno, stěžejní je eliminovat jakékoliv rušení a chyby tak, aby byla odchylka od skutečné hodnoty co nejmenší. Proto se zemnič měří v ideálním případě ve stavu bez napětí a proudu. V blízkosti velkých elektrárenských provozoven může dojít ke vzniku zemních proudů mezi elektrodami, což je pro toto měření nechtěné. V praxi můžeme případnou přítomnost zemních proudů otestovat ampérmetrem či voltmetrem při spojení elektrod. Důraz se klade i na velikost odporů pomocných sond. Ten můžeme snižovat navlhčením okolní půdy slanou vodou, zaražením tyčí do větší hloubky nebo spojením více pomocných elektrod v jednom směru za sebou. Aby nedošlo k rušivým vlivům například ostatních ocelových stožárů, umísťujeme pomocné elektrody kolmo ke směru vedení. Měření probíhá pokaždé minimálně dvakrát, kdy se testuje rozdílná vzdálenost a směr pomocných elektrod. Snahou je získat minimálně dvojici

⁶⁸ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 640-644

⁶⁹ KAVULÁK, Josef: *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové. Fakulta přírodovědecká

stejných výsledků, která nám potvrdí správnou volbu vzdálenosti pomocných sond od testovaného zemniče.^{70 71}



Obr. 4.1: Umístění zemních elektrod při měření zemního odporu stožárů⁷²

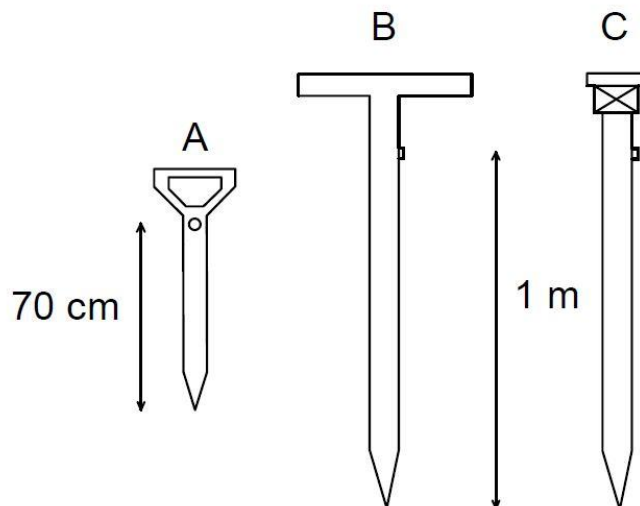
Jako pomocné sondy se používají tyče a trubky. Jejich délka a tvar jsou dány vlastnostmi půdy. V měkčích půdách s dobrou vodivostí si můžeme dovolit využít kratší sondy (A). Naopak u tvrdých, špatně vodivých půd je nutné použít dlouhé tyče zatlačované rukama (B) nebo zarážena kladivy (C). Na vrchu tyče bývají madla pro snazší manipulaci.⁷³

⁷⁰ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 640-644

⁷¹ Tamtéž, co 70

⁷² OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 643

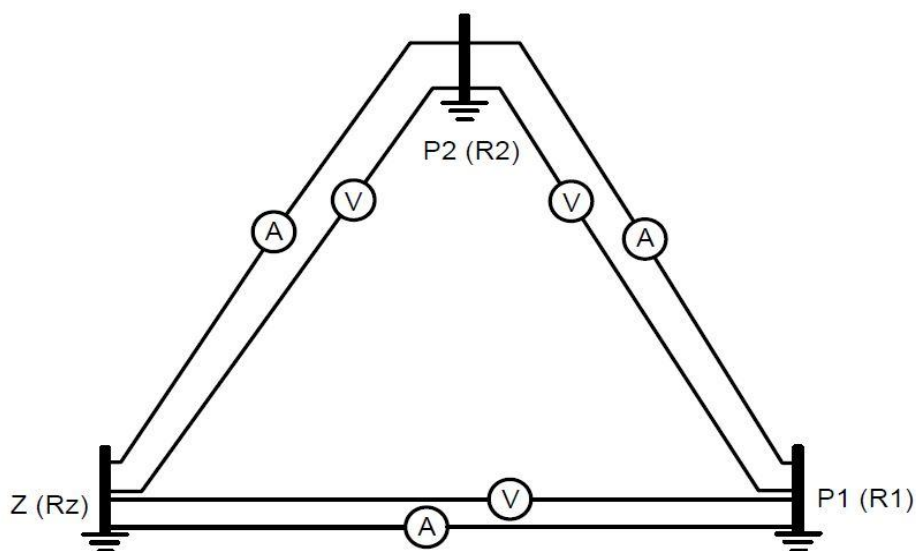
⁷³ Tamtéž



Obr. 4.2: Příklady pomocných zemničů⁷⁴

4.1 Měření dvěma pomocnými proudovými sondami

Jak již bylo v úvodu této kapitoly zmíněno, měření zemních odporů probíhá se dvěma pomocnými elektrodami. Již pouze v ojedinělých případech se můžeme setkat s variantou využití dvou elektrod proudových. Obě elektrody jsou rozmístěny tak, aby vznikl v ideálním případě rovnostranný trojúhelník. Vzdálenost jednotlivých elektrod by měla odpovídat platným normám. V praxi počítáme s distancí minimálně 20 metrů, v ideálním případě alespoň 30 metrů.



Obr. 4.3: Měření dvěma pomocnými proudovými sondami⁷⁵

⁷⁴ Tamtéž

⁷⁵ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 645

K zjištění hodnoty zemního odporu využijeme buď můstek, nebo zjistíme hodnoty proudu a napětí. Postupně je nutné zjistit hodnoty odporu mezi jednotlivými dvojicemi elektrod (T a T1, T a T2, T1 a T2). Následně hodnoty odporů sečteme a získáme výslednou hodnotu zemního odporu měřeného zemniče. Vztahy pro výpočet vypadají následovně:

$$R_{1Z} = R_1 + R_Z \quad [\Omega; \Omega; \Omega] \quad (4.1)$$

$$R_{2Z} = R_2 + R_Z \quad [\Omega; \Omega; \Omega] \quad (4.2)$$

$$R_{12} = R_1 + R_2 \quad [\Omega; \Omega; \Omega] \quad (4.3)$$

Pro výpočet výsledného zemního odporu platí:

$$R_X = \frac{R_{1Z} + R_{2Z} - R_{12}}{2} \quad [\Omega; \Omega; \Omega; \Omega] \quad (4.4)$$

Výsledek je tedy dán součtem polovin odporů od zkoušeného zemniče k zemničům pomocným a odečtením poloviny odporu mezi pomocnými zemniči. K nízkému používání dochází důsledkem vzniklé chyby, která se projeví v případě, že zemní odpory pomocných elektrod (R_1 a R_2) se značně liší od zemního odporu měřeného zemniče (R_Z). Je-li například R_1 a R_2 10x větší, než R_Z , pak se chyba oproti rovnosti odporů zvýší přibližně 7x. Za předpokladu, že odpor měřeného zemniče bude malý, musí být kladen důraz na dodržení minimální vzdálenosti tak, aby se neprojevila byť malá nepřesnost.^{76 77}

Tato metoda je v současnosti nevyužívaná. Kromě vysoké časové náročnosti a již zmíněného rizika chyby měření, je pracovní plocha příliš velká, a tudíž jsou ostatní metody mnohem efektivnější.

4.2 Měření pomocnou proudovou a napěťovou sondou

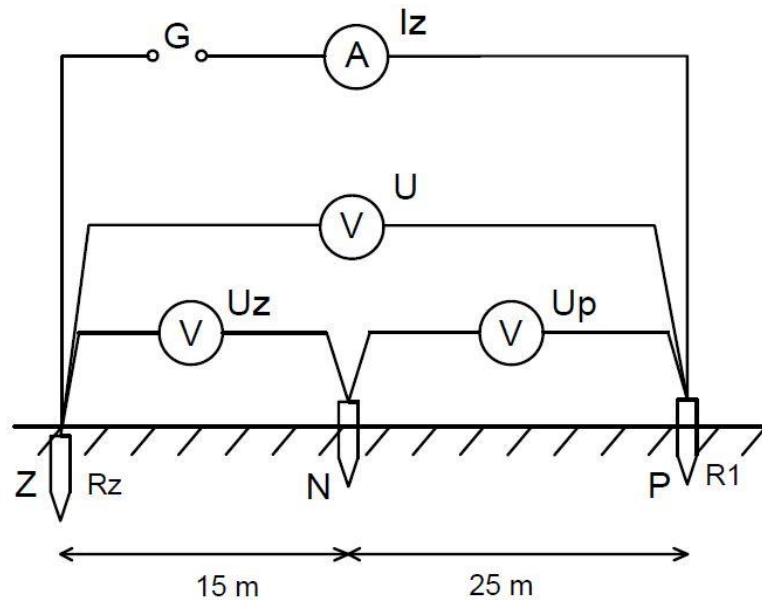
Častější variantou s vyšší přesností je měření jednou proudovou a jednou napěťovou pomocnou elektrodou. Celá soustava zemničů je napájena žádoucím zdrojem střídavého proudu, jako je transformátor. Reostatem jsou řízeny napětí a proud.

První vzdálenější pomocná proudová elektroda P se umístí dle platných norem PNE 33 0000-1 - *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě* a ČSN 33 2000-5-54 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče* čtyřicet metrů od měřené elektrody Z a druhá pomocná napěťová elektroda N 25 metrů od pomocného zemniče P tak, aby byla mezi Z

⁷⁶ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 645-646

⁷⁷ KAVULÁK, Josef: *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové. Fakulta přírodovědecká

P. Tento postup má být dodržen, pokud výrobce měřícího zařízení neurčí vzdálenost jinak. Pro ověření se provede ještě kontrolní měření, kdy se posune vzdálenost pomocných elektrod nejprve 6 metrů blíže ke zkoušené elektrodě a následně 6 metrů dále. Pokud se výsledky výrazně neliší, můžeme prohlásit jejich průměr za správnou hodnotu zemního odporu. V případě, že se výsledky liší, posuneme vzdálenost zemniče N od Z.^{78 79}



Obr. 4.4: Měření zemního odporu proudovou a napětovou sondou⁸⁰

Po instalaci elektrod přivádíme skrz pomocnou proudovou elektrodu střídavý proud a následně měříme napětí pomocnou napětovou elektrodou. Hodnoty napětí a proudu odečítáme z přiloženého voltmetru resp. ampérmetru. Pro měření napětí se používají elektromagnetické voltmetry z důvodu nízké spotřeby proudu (do 20 mA). Oproti metodě s dvěma pomocnými proudovými elektrodami v tomto případě určujeme pouze zemní odpory testované elektrody.⁸¹

Výpočet zemního odporu vychází z Ohmova zákona:

$$R = \frac{U}{I} = R_Z + R_1 \quad [\Omega; \Omega; \Omega] \quad (4.4)$$

⁷⁸ ČSN 33 2000-5-54, ED. 3 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče*. 2012

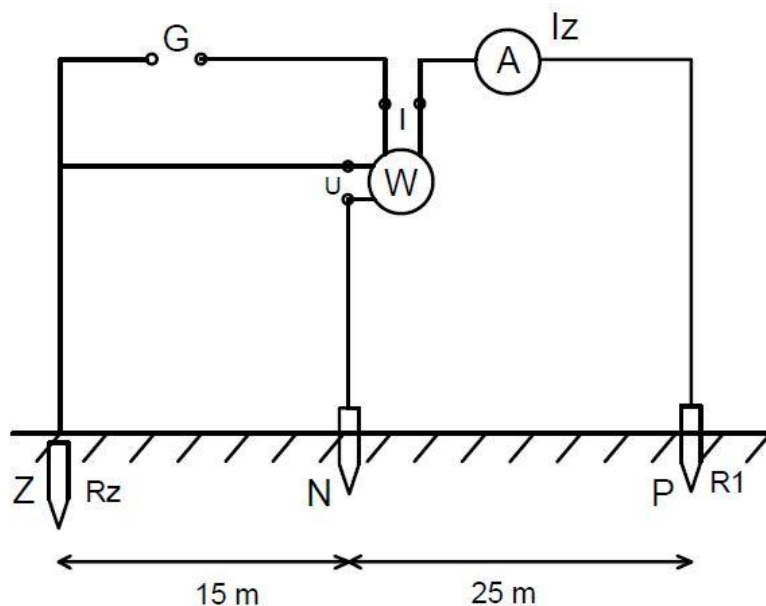
⁷⁹ PNE 33 000-1 - *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribuční soustavě dodavatele elektřiny*, 1998

⁸⁰ MACHÁČEK, Cyril. *Uzemnění a jeho kontrola*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958. Elektrotechnická minima., str. 141

⁸¹ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mírko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 647-648

4.2.1 Měření pomocí wattmetru

Problémy metody s měřením voltmetrem a ampérmetrem byly registrovány u rozsáhlých zemních soustav, kde jsou malé zemní odpory. To je dáno špatně odečitatelnými malými hodnotami na analogových voltmetrech, díky čemuž mohlo být měření nepřesné. V těchto případech bylo tedy žádoucí zaměnit voltmetr za wattmetr, čímž se zvýšila efektivita a přesnost měření. Umístění a složení jednotlivých elektrod zůstává stejné, jako v předchozím případě.



Obr. 4.5: Měření zemního odporu ampérmetrem a wattmetrem⁸²

Výpočet zemního odporu je dán vztahem:

$$R = \frac{W}{I^2} \quad [\Omega; J; A] \quad (4.5)$$

Tato metoda spočívá v přenosu proudu ze zdroje do wattmetru, ampérmetru a následně do pomocné elektrody a zkoušeného zemniče. Napěťová cívka wattmetru je připojena jak na zkoušenou elektrodu, tak na pomocnou napěťovou elektrodu. Je žádoucí, aby napěťovou elektrodou netekl elektrický proud, proto má wattmetr co nejvyšší odpor. Naopak malý odpor by měla mít vzhledem k potřebě měřícího proudu pomocná proudová sonda. Dále je také výhodné mít malý odpor u pomocné napěťové sondy z důvodu úbytku napětí ve wattmetru, čímž by došlo k zvýšení chyby měření.

⁸² MACHÁČEK, Cyril. *Uzemnění a jeho kontrola*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958. Elektrotechnická minima., str. 143

Užití wattmetru při metodě s proudovou a napěťovou sondou může sloužit i k odlišným měřením. U rozsáhlých soustav se dá měřit například přechodový odpor mezi strojenými zemními soustavami a vodovody.^{83 84}

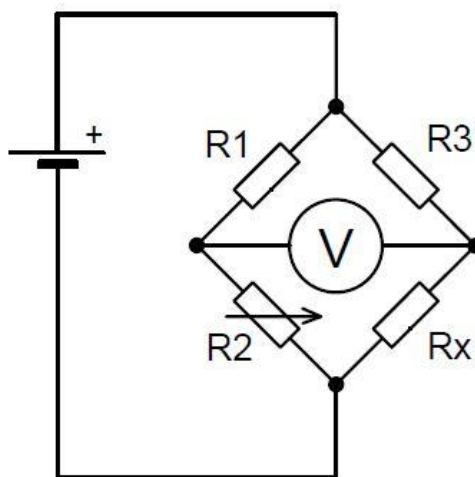
⁸³ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 648-649

⁸⁴ KAVULÁK, Josef: *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové. Fakulta přírodovědecká

5. Typy měřících přístrojů

Za poslední století došlo vlivem vývoje nových technologií i k vylepšení zařízení na měření zemních odporů a dalších veličin, které s tím přímo či nepřímo souvisí. Univerzální přístroje, jako voltmetr či ampérmetr, byly nahrazeny modernějšími zařízeními, jejichž výhody byly značné. Při použití voltmetrů a ampérmetrů bylo měření o poznání zdlouhavější, neefektivní, náročnější a při zapojování mohlo vlivem více přístrojů k propojení dojít ke zmatkům. Hodnoty z těchto měřících přístrojů se navíc musely dále zpracovávat a bylo nutno uvažovat i vyšší odchylku měření. Cílem nových, moderních přístrojů bylo především ulehčit a zrychlit měření tak, aby byly výsledky zároveň co nejpřesnější.

Opakovanými experimenty se nakonec osvědčily k měření zemních odporů dvě metody: můstková a metoda s upravenými ohmmetry. První, můstková metoda, funguje na principu zjišťování neznámého odporu vyvažováním můstku, který je složen ze 4 impedancí uzavřených do trojúhelníku. Na Obr. 5.1 si lze povšimnout schéma zapojení Wheatstoneovo můstku, které je využito například u Mášovo přístroje. Úbytek napětí je u odporů R_1 a R_3 při vyrovnaném můstku stejný a změnou odporu R_2 celý můstek vyrovnáváme. Tato metoda se v současnosti používá již jen v ojedinělých případech. Druhá metoda s upravenými ohmmetry je založená na přímém měření hodnoty zemního odporu v závislosti na nastavené velikosti napětí a proudu, jenž teče skrz měřící zařízení.⁸⁵



Obr. 5.1: Schéma Wheatstoneovo můstku pro měření zemního odporu R_x

⁸⁵ MACHÁČEK, Cyril. *Uzemnění a jeho kontrola*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958. Elektrotechnická minima.

Měřicí zařízení obvykle obsahuje i zdroj střídavého proudu, díky němuž je možné si nastavit předem potřebnou hodnotu, a ukazatele vyvážení či naměřených hodnot. V závislosti na typu metody byly součástí měřidla i ručkové měřicí přístroje sloužící buď v podobě galvanometru k vyvážení můstku (můstková metoda), nebo v podobě ohmmetru, přičemž rovnou změřily hodnotu zemního odporu (metoda s upravenými ohmmetry). V obou případech se k měření používá metoda s pomocnými sondami, které by měly být, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, od sebe minimálně ve vzdálenosti 20 metrů.⁸⁶

5.1 Historická zařízení

Během poválečné éry se v Československu začaly vyrábět inovativní přístroje na měření zemních odporů. Jedním z nich bylo zařízení vynalezené P. Mášou, tzv. Mášův přístroj. V principu se jedná o dvojitý Wheatstoneův můstek, kdy nastavením srovnávacích odporů dochází k vyvažování můstku pomocí galvanometru. V obvodu vzniká poměrně značný proud, jenž na jednotlivých odporech zapříčiňuje vznik úbytku napětí. Tento úbytek lze na vestavěném odporu měřit voltmetrem, pomocí něhož můžeme na odporové stupnici změřit i odpor v ohmech. Na Mášovo přístroji může být navíc změřena i velikost protékajícího proudu obvodem při zkratu. Pro samotné měření je vyžadován zdroj střídavého proudu a galvanometry by tedy měly taktéž být na střídavý proud. Pro přesnější měření se ovšem využívají galvanometry na stejnosměrný proud připojené na synchronní usměrňovače. Při měření je nutno počítat se skutečností, že obvodem protéká proud, který může způsobit elektrický úraz. Při nedokonalém uzemnění totiž v některých chráněných částech může vznikat dotykové napětí, které se někdy přenáší i na jiné vodivé předměty. V tehdejší době Mášův přístroj vykazoval relativně přesné výsledky měření. Problémy tkví v životnosti, kdy po určité době vlivem častého namáhání nedokázalo být vyvažování můstků stále stejně přesné. Tento přístroj našel své uplatnění i v případě sítí s nulovým vodičem. Kromě Mášovo přístroje se v těchto sítích k zjišťování zemních odporů používaly například i přístroje fy Reyrolle, nebo český nulomet METRA. V současné době se toto zařízení již nepoužívá.^{87 88}

⁸⁶ MACHÁČEK, Cyril. *Uzemnění a jeho kontrola*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958. Elektrotechnická minima.

⁸⁷ MACHÁČEK, Cyril. *Uzemnění a jeho kontrola*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958. Elektrotechnická minima.

⁸⁸ Kolektiv autorů: *Revize elektrických zařízení a hromosvodů*. Státní nakladatelství technické literatury, 1968

Druhým dříve používaným zařízením je Terromet. V tehdejší Československu tento přístroj vyráběla firma METRA Blansko. Princip vychází ze zařízení firmy Evershed Vignoles, Megger Earth Resistance Tester. Zjišťovaný odpor vychází přímo z podílu napětí a proudu. Přístroj se skládá z dvou cívek obvykle natočených na sebe kolmo, které se pohybují v poli permanentního magnetu. Induktorem vyráběný stejnosměrný proud je prvním točivým komutátorem přeměněn na střídavý proud, jenž protéká měřeným zemničem a pomocnými elektrodami. Stejnosměrný proud vzniká usměrněním zpětného proudu v druhém točivém komutátoru a napájí měřicí cívky poměrového deprezského měřidla.⁸⁹

Mezi další zařízení s induktorem používané v polovině 20. století patří například přístroj Siemens-Halske, který využíval princip nulové metody a lze skrze něj měřit i měrný odpor půdy. Problémem u těchto přístrojů bývají bludné stejnosměrné proudy, které nepříznivě ovlivňují přesnost měření. Vliv bludných stejnosměrných proudů lze odstranit zařazením kondenzátorů do okruhu pomocných elektrod nebo se usměrnují pouze proudy měřené přístrojem při frekvenci 75 Hz oproti cizím proudům při frekvenci 50 Hz, které přístroj nenaměří. Ve Vídni se kdysi vyráběl i další typ měřiče Goerz-Erdungsmesser. Jeho primární výhodou byla nízká citlivost na nechtěné zemní proudy, tudíž se dalo zařízení využít i v místech s velkou koncentrací bludných proudů.⁹⁰

Speciálním typem měřičů, vyráběných především v Sovětském svazu, byly přístroje vibrační. Měřicí proud je v tomto případě získáván transformací přerušovaného proudu z baterie a využívá se principu kompenzační metody. Jako nulový indikátor slouží sluchátko, které je zapojeno do okruhu sekundárního vinutí transformátoru. Minimální zvuk ve sluchátku je dosažen při rovnosti úbytku napětí a napětí na sekundárním vinutí transformátoru.⁹¹

5.2 Současná zařízení

Výše zmíněná zařízení jsou již v dnešní době nahrazena modernějšími, převážně digitálními měřiči zemních odporů, které mají v sobě většinou i zabudované systémy pro měření dalších souvisejících parametrů.

Princip těchto zařízení vychází z klasických metod pro měření zemních odporů uzemňovací soustavy nebo měrných odporů půdy. Například analogový přístroj od firmy METRA Blansko, PU431, využívá k zjištění hodnot zemních odporů čtyřvodičové či třívodičové metody. Pro spuštění tohoto zařízení do provozu je nutné vložit 8 ks napájecích baterií 1,5V. Před vlastním

⁸⁹ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 653-655

⁹⁰ Tamtéž, co 90

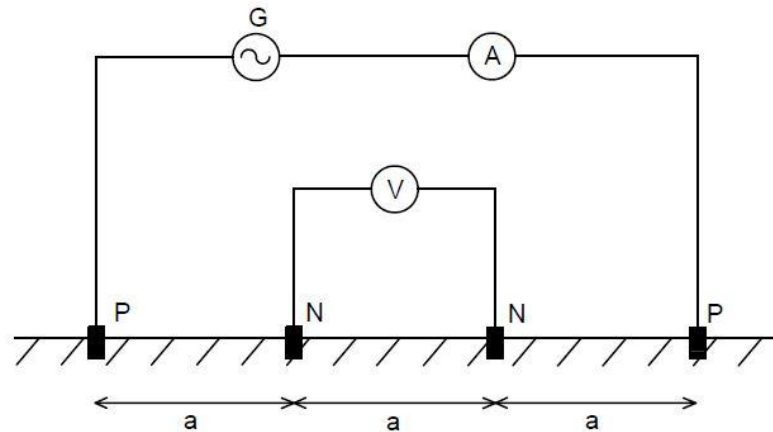
⁹¹ OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964., str. 656-658

měřením je nutné ještě zkontrolovat, zdali je ukazatel přístroje v levé klidové poloze a provést kalibraci pro daný rozsah. Po uvedení zařízení do provozu následně odečítáme naměřené hodnoty na stupnici v závislosti na zvoleném rozsahu. Výsledný zemní odpor je určen srovnávací metodou, kdy protékající měřicí proud vytváří úbytek napětí na odporu zemniče a na sériově řazeném měrném odporu v měřidle. Další využití zařízení PU431 tkví v zjišťování měrného odporu půdy na principu Wennerovy čtyřbodové metody. Ta spočívá v rozmístění čtyř zemních sond v jedné rovině, přičemž rozestupy mezi nimi jsou stejné. Hodnota měrného odporu ρ vychází ze vztahu:

$$\rho = 2\pi * a * R_m \quad [\Omega\text{m}; -; \text{m}; \Omega] \quad (5.1)$$

a - vzdálenost mezi elektrodami

R_m - změřená hodnota odporu



Obr. 5.2: Princip Wennerovy metody pro měření měrného odporu půdy⁹²

Jako zjevná nevýhoda oproti digitálním měřičům se jeví nutnost odečítat hodnoty z ukazatele, čímž vzniká odchylka měření. I z tohoto důvodu se stále více setkáváme v praxi s uživatelsky komfortnějšími moderními digitálními měřiči, jejichž devizou je rychlé a především přesné měření, kdy odchylka bývá maximálně 2 %.⁹³

V hustě zastavených oblastech nebo stísněných prostorech může být problém s využitím klasických metod měření, jelikož nelze správně umístit sondy a pomocné zemniče. V těchto případech je žádoucí využít alternativní metody či zařízení k určení zemních odporů. V praxi se nejvíce používají klešťové přístroje. Jedna z jejich výhod spočívá v měření v soustavě s více

⁹² ELVA - elektrevize. *Měření odporu zemniče a rezistivity půdy*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <http://www.revize-instalaci.cz/revize-elektro/mereni-odporu-zemnice-a-rezistivity-pudy/>

⁹³ METRA BLANSKO, s.r.o. *METRA PU 431 - návod k obsluze*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.metra.cz/wp-content/uploads/2018/09/navody-pu431.pdf>

paralelně zapojenými zemniči. Pomocí běžných metod zjistíme celkový odpor uzemňovací soustavy a pro zjištění hodnot odporů jednotlivých zemničů je zapotřebí jejich odpojení od soustavy a změřit samostatně. Tento proces je především časově velmi náročný a při vyšších vyrovnávacích proudech může být i nebezpečný. Tyto problémy můžeme vyřešit použitím dvou proudových kleští, kdy jedny kleště plní funkci vysílací a druhé měřicí. Generované napětí vysílací sondou vytváří proud, který je následně druhou sondou měřen.

Soustava skládající se ze dvou proudových kleští a vyhodnocovací jednotky je relativně velká a tím pádem ve stísněnějších prostorech i relativně nepraktická. Z tohoto důvodu byla celá soustava sloučena do jednoho zařízení, které se v dnešní době používá téměř výhradně. Jednoklešťové přístroje na měření zemních odporů mají kromě zefektivnění rozměrové stránky výhody i uživatelské a samotné měření probíhá rychleji. Vzhledem k tomu, že se nemusí při měření rozpojovat zkušební svorky k zemniči, odpadá nebezpečí poruch a poškození trvale uzemněných zařízení (např. vysílač). Zároveň je měření pomocí jednoklešťových přístrojů bezpečnější. Problém může nastat při nesprávném vyhodnocení výsledků, kdy může měření být značně zavádějící. Zároveň si musí člověk dát pozor na správné umístění klešťových přístrojů tak, aby nedošlo k měření falešných uzavřených smyček.⁹⁴

5.3 Používaná měřicí zařízení

Technici společnosti E.ON Distribuce, a.s., disponují v současnosti řadou přístrojů na měření zemních odporů od různých firem. Používají se běžně dostupná zařízení, která lze sehnat od distributorů na trhu. Tato zařízení mají buď jednoúčelový charakter, nebo se můžeme setkat i s víceúčelovými typy. Jedná se o digitální přístroje s tím, že část z nich jsou přístroje klešťové. Součástí balení digitálních přístrojů bývají kromě samotného zařízení často i sady měřících kabelů či zemních sond a výrobce přiloží obvykle navíc i tužkové baterie s manuálem na ovládání.

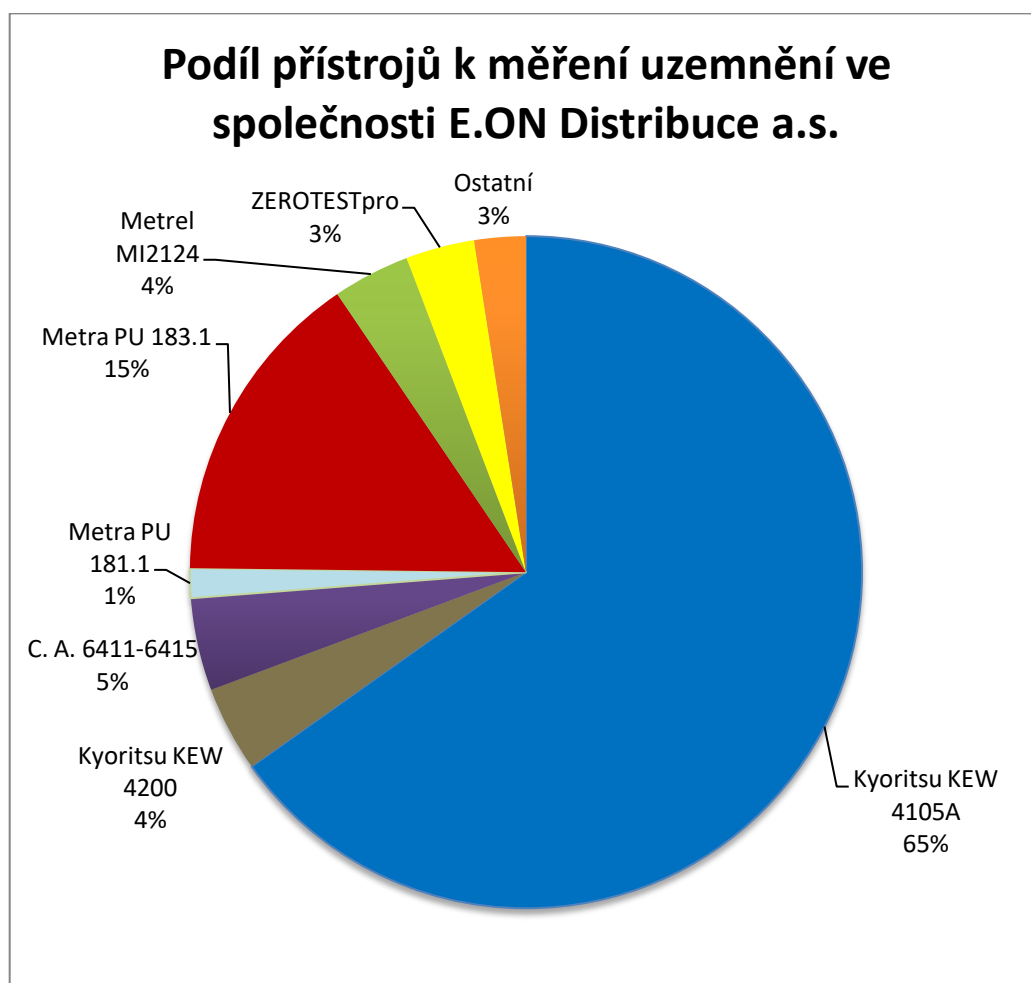
V rámci zpracování dat jsem narazil na problém, že technici někdy zapomínají do systému uvést název měřicího zařízení nebo jeho název často komolí. Někteří uvádějí pro změnu pouze výrobní číslo a přístroj je následně velmi obtížné dohledat. Z přibližně 132 tisíc revizí tak bylo zaznamenáno okolo 122 tisíc zařízení, což představuje dostačující vzorek, aby se dala udělat představa o používání konkrétních typů přístrojů. Největší zastoupení má jednoznačně dle Tab. 5.1 zařízení Kyoritsu KEW 4105A s 79 595 zaznamenanými revizemi a podílem 65 %. Druhým

⁹⁴ MACHÁČEK, Cyril. *Uzemnění a jeho kontrola*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958. Elektrotechnická minima.

nejpoužívanějším přístrojem je Metra PU 183.1 s 18 700 měřeními zemních odporů a dále technici používají i zařízení od firem Metrel, Chauvin Arnoux nebo ILLKO.

Zařízení	Počet revizí za období 2016 - 2019
Kyoritsu KEW 4105A	79 565
Kyoritsu KEW 4118A	169
Kyoritsu KEW 4200	5 024
C. A. 6411-6415	5 442
C. A. 6460	143
Metra PU 181.1	1 740
Metra PU 183.1	18 700
Metra PU 186	314
Metrel MI2124	4 525
ETCR 2000+	184
ZEROTESTpro	4 042
Ostatní	2 202

Tab. 5.1: Počet revizí zemních odporů jednotlivými přístroji ve společnosti E.ON Distribuce, a.s.



Obr. 5.3: Graf podílu přístrojů na měření uzemnění ve společnosti E.ON Distribuce, a.s.

5.3.1 Chauvin Arnoux

Vynález jednoklešťových přístrojů na měření uzemnění je připisováno francouzskému výrobcí Chauvin Arnoux. Ten jako první dokázal sjednotit dvě proudové kleště s vzájemně blízkým magnetickým polem do jednoho celku. Tato firma, působící na trhu již od počátku 20. století, vynalezla kromě jednoklešťových zařízení i například magnetoelektrický ohmmetr (1905) nebo univerzální měřič, první předchůdce dnes používaných multimetrů (1927).⁹⁵

V roce 1994 přišla firma s prvním zařízením, které je stále jedním z používaných ve společnosti E.ON Distribuce, a.s., C. A 6411. Tento digitální klešťový měřič nabízí rychlé a bezpečné měření zemních odporů s rozsahem od 1 do 1200 Ω . Bezpečnost je zajištěna stálostí uzemnění elektrické instalace i během testování. Pomocí tohoto typu přístroje je zároveň možné měřit i unikající proud do země.

Novější a pokročilejší variantou měřiče C.A 6411 je jeho nástupce C.A 6415. Oproti předchozí verzi obsahuje toto zařízení funkci alarm, který se akusticky projeví v případě překročení mezní hodnoty nastaveného rozsahu, a paměť pro uložení naměřených hodnot s kapacitou 99 měření. Průměr otvoru kleští je 32 mm, což umožňuje měřit na běžných zemnicích. Tato novější verze umožňuje měření zemních odporů s rozsahem 0,1 - 1200 Ω , výrobcem je doporučeno měřit při teplotě od -10 °C do 55 °C a při vlhkosti 0 - 75 %. Důležitou součástí výrobku je také možnost přidržení údaje na displeji HOLD či indikace otevřených kleští a rušivých proudů. V současné době jsou měřiče C.A 6411 a C.A 6415 nahrazovány novějšími zařízeními mající větší kapacity paměti, kvalitnější displeje a kromě zemních odporů a unikajících proudů měří například i napětí a indukčnosti. Různé firmy, specializující se na prodej měřičů revizních přístrojů, tak tyto dva produkty již nenabízí.⁹⁶

⁹⁵ Chauvin Arnoux. *Historie společnosti Chauvin Arnoux*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.chauvin-arnoux.com/en/historique>

⁹⁶ Chauvin Arnoux. *C.A 6415 - katalogový list*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: http://www.livingston-products.com/products/pdf/102332_1_en.pdf



Obr. 5.4: Klešťový měřič C.A 6415⁹⁷

Posledním zařízením od firmy Chauvin Arnoux, které se využívá k měření zemních odporů v E.ONu Distribuce, a.s., je digitální C.A 6460. Tento přístroj umožňuje kromě zemního odporu měřit specifický odpor půdy a k propojení dochází pomocí čtyřvodičové metody. Přístroj je uložen v robustním rázuvzdorném pouzdře odolnému dle protokolu IP53, tudíž ho lze využít i v náročnějších terénech a podmínkách. Měřicí rozsah je 0 - 2000 Ω a měření může probíhat i za přítomnosti parazitních napětí, tellurických proudů a velkých přechodových odporů sond. Tento přístroj vyniká rychlou, spolehlivou a přesnou diagnostikou. Výhodou je velký a uživatelsky přehledný LCD displej s podsvětlením, automatická kontrola chyb při měření, signalizace zdrojů rušení LED a podobně jako u C.A 6415 indikace překročení měřicího rozsahu. Kapacita baterií je v porovnání s klešťovým přístrojem s C.A 6415 podstatně vyšší. Výrobce udává 4500 měření po dobu 15 s. Přístroj C.A 6460 splňuje požadavky elektrické bezpečnosti normy ČSN EN 61010-1 ed. 2 - *Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení - Část 1: Všeobecné požadavky*, která vešla v platnost v roce 2011 a oproti předchozím klešťovým přístrojům ho lze stále koupit u prodejců revizních zařízení.⁹⁸

⁹⁷ Interní materiál E.ON Distribuce, a.s.

⁹⁸ Chauvin Arnoux. *C.A 6460 - katalogový list*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.ghvtrading.cz/merici-pristroje/revize/zemni-odpor/ca6460.html>



Obr. 5.5: Digitální měřicí přístroj C.A 6460⁹⁹

5.3.2 Kyoritsu

Na výrobu testovacích a měřících přístrojů, a tudíž i měřičů zemních odporů, se zaměřuje také japonská společnost Kyoritsu. Počátky této firmy sahají do roku 1940, kdy byla založena Takeo Kuramotem. Výrobky této firmy postupně expandovaly do Evropy a společnost E.ON distribuce, a.s., využívá na měření zemních odporů hned 3 různé typy zařízení.

Prvním z nich je přístroj KEW 4105A. Tento digitální měřič uzemnění umožňuje měření zemních odporů při stabilních parametrech, minimalizuje vliv průmyslové frekvence a je schopný mimo jiné měřit i zemní napětí. Toto zařízení je zároveň malé a lehké, což je výhodou při měření na více místech po sobě, kdy je potřeba přístroj přenášet. Při překročení rozsahu dochází k automatické signalizaci a vzhledem k nízkému měřicímu proudu (2 mA) lze použít KEW 4105A i na obvodech vybavených proudovými chrániči. Displej je podobně jako u C.A 6460 LCD, pracovní teplota se doporučuje 0 - 40 °C a měření by mělo probíhat maximálně při vlhkosti 75 %. Oproti již zmíněnému C.A 6460 zaujme u tohoto přístroje na první pohled

⁹⁹ Interní materiál E.ON Distribuce, a.s.

především několikanásobně nižší cena a hmotnost. Navíc v balení dostanete sadu příslušenství potřebnou k měření bez vynaložení dalších finančních prostředků.¹⁰⁰



Obr. 5.6: Digitální měřicí přístroj Kyoritsu KEW 4105A¹⁰¹

Dalším používaným přístrojem z řady Kyoritsu je KEW 4118A. Ten se používá jako měřič impedance proudové smyčky s nastavitelným rozsahem do 2000 Ω . Měřicí proud je i v tomto případě velmi malý (15 mA při 2000 Ω). Zařízení umožňuje spolehlivé a bezpečné měření jak impedance proudové smyčky, tak zemního napětí s tím, že jako u předchozího modelu obsahuje ochrany proti přehřátí a překročení mezní hodnoty rozsahu. Systém splňuje systém krytí IP54 a standardy platných norem. Oproti předchozímu modelu váží sice o pár set gramů více (750 g), avšak oproti přístroji C.A 6460 se jedná stále o čtvrtinovou hmotnost.¹⁰²

¹⁰⁰ Kyoritsu Electrical Instruments Works, Ltd. *KEW 4105A - informace o zařízení*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.kew-ltd.co.jp/en/products/detail/01155/>

¹⁰¹ Interní materiál E.ON Distribuce, a.s.

¹⁰² Kyoritsu Electrical Instruments Works, Ltd. *KEW 4118A - informace o zařízení*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.kew-ltd.co.jp/en/products/detail/00083/>



Obr. 5.7: Digitální měřicí přístroj Kyuritsu KEW 4118A¹⁰³

Posledním používaným typem od firmy Kyuritsu je na rozdíl od předešlých dvou klešťový měřič uzemnění a proudů KEW 4200. Přístrojem, jehož průměr otvoru je 32 mm, lze měřit proud (i unikající) v rozsahu 1 mA - 30 A v celkem třech rozsazích. Jeho výhodou, jako u ostatních klešťových přístrojů, je rychlé měření za provozu bez potřeby rozpojení soustavy. Jednotlivé funkce tohoto modelu se výrazně neliší od již popsaného C.A 6415 od společnosti Chauvin Arnoux. Tento model nabízí 4 rozsahy pro měření zemních odporů od 0,05 do 1200 Ω , paměť pro 99 naměřených hodnot, funkci HOLD a varovnou funkci nedovřených kleští při proudu vyšším, než 3 A. Zařízení KEW 4200 taktéž splňuje platné normy a standardy a v porovnání s klešťovými přístroji od firmy Chauvin Arnoux je o 250 g lehčí. Zatímco cena dvou předešlých digitálních přístrojů se pohybuje v řádech tisíců, KEW 4200 lze pořídit přibližně o 20 000 Kč draž.¹⁰⁴

¹⁰³ Interní materiál E.ON Distribuce, a.s.

¹⁰⁴ Kyoritsu Electrical Instruments Works, Ltd. *KEW 4200 - informace o zařízení*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.kew-ltd.co.jp/en/products/detail/00979/>



Obr. 5.8: Klešťový měřicí přístroj Kyuritsu KEW 4200¹⁰⁵

5.3.3 Metra Blansko

Českým zástupcem na poli přístrojů pro měření uzemnění je společnost Metra Blansko. Tato společnost, o které bylo zmíněno již v podkapitole 5.1, patří mezi uznávanou značku nejen v České republice. Metra byla založena v roce 1911 a za přispění českého vynálezce Ing. Ericha Roučky zažila v předválečném období značný rozmach na trhu. Rouček se za svůj život přihlásil k přibližně 850 patentovaným vynálezům a pod jeho vedením vzniklo velké množství inovativních elektrických měřicích přístrojů. V současnosti se tato firma zabývá vývojem, výrobou a prodejem zařízení na měření elektrických a neelektrických veličin.¹⁰⁶

První zařízení, kterým disponuje E.ON distribuce, a.s., je PU 181.1. Jedná se o relativně zastaralý model, jenž slouží ke zkoušení proudových chráničů. Zkušební proud se pohybuje mezi 10 - 500 mA, napětí 180 - 250 V a dotykové napětí 0 - 60 V. Na trhu se tento model v současné době již nenachází a nejvíce se tomuto modelu blíží novější typ ze stejné řady, PU 182.1, sloužící k měření izolačního odporu.

Pro měření zemních odporů, rezistivity půdy a ohmických odporů se používá přístroj PU 183.1.

¹⁰⁵ Interní materiál E.ON Distribuce, a.s.

¹⁰⁶ METRA BLANSKO, s.r.o. *Historie společnosti Metra Blansko*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.metra.cz/o-nas/>

Jeho vlastnosti jsou následující:

- nezávislost na síťovém napětí,
- potlačení rušivého vlivu síťového kmitočtu,
- ochrana vstupních a výstupních svorek,
- indikace vybití baterie a nabíjení,
- možnost dobíjení akumulátoru v přístroji,
- snadná obsluha,
- minimální potřeba údržby,
- splňuje požadavky všech norem a standardů,
- automaticky se po určité době vypíná,
- teplota prostředí: -5 °C až 40 °C,
- relativní vlhkost do 80 %.

Zařízení používá 3 rozsahy: 20 Ω , 200 Ω , 2000 Ω . Maximální výstupní napětí naprázdno je 30 V a jednotlivé měřicí proudy nakrátko pro odpory: 10 mA, 1 mA, 0,1 mA. Měřicí kmitočet je 128 Hz a hmotnost zařízení přibližně 500 g, což je v porovnání s ostatními přístroji nižší hodnota. Při samotném měření by neměl být přístroj vystaven větším otřesům a vibracím, aby nedošlo ke zkreslení výsledků.¹⁰⁷

¹⁰⁷ METRA BLANSKO, s.r.o. *Metra PU 183 - katalogový list*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: https://www.revizeshop.cz/fotky29448/fotov/_ps_82_ps_132PU183.pdf



Obr. 5.9: Měřicí přístroj Metra PU 183.1¹⁰⁸

Pro měření izolačních odporů do hodnoty 20 GΩ se používá přístroj PU 186. Toto zařízení dokáže zároveň kromě odporů měřit stejnosměrná i střídavá napětí. Jmenovitá měřicí napětí jsou dle zvoleného rozsahu odporu 500 V, 1000 V nebo 2500 V. Při měření odporu ochranného vodiče by měl být zvolený měřicí proud alespoň 200 mA. Přednosti tohoto typu měřiče jsou podobné, jako u ostatních přístrojů z řady PU 180. Kromě nízké hmotnosti a malých rozměrů, nezávislosti na síťovém napájení či snadné obsluhy a údržby, PU 186 například obsahuje indikátory podpětí napájecího zdroje a dokáže měřit i relativně malé odpory (do 10 Ω).¹⁰⁹

¹⁰⁸ Interní materiál E.ON Distribuce, a.s.

¹⁰⁹ METRA BLANSKO, s.r.o. *Metra PU 186 - návod k obsluze*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: https://www.revizeshop.cz/fotky29448/fotov/_ps_101Pristroje_pro_revize_a_telekomunikace-NPU186-web.pdf



Obr. 5.10: Měřicí přístroj Metra PU 186¹¹⁰

5.3.4 Metrel

Další firmou zabývající se vývojem a výrobou elektrických měřicích a testovacích přístrojů je Metrel. Tato slovinská společnost, založená v roce 1957, začínala jako menší lokální firma, která se svými výrobky postupně expandovala do více než 70 zemí světa.

Společnost E.ON distribuce, a.s., využívá zařízení Metrel MI 2124. Tento digitální měřič slouží k měření zemních odporů, rezistivity půdy a za pomoci kleští může měřit i proud. Zemní odpor se obvykle u tohoto přístroje zjišťuje čtyřvodičovou metodou. K zařízení připojujeme buď měřicí kabely, jedny kleště nebo dvoje kleště. V závislosti na typu připojovacích komponent se mění rozsahy měřených odporů. Zatímco v případě měřicích kabelů můžeme získat hodnoty 0 - 20 k Ω , při použití jedné kleště (typ Metrel A1018) je rozsah již jen 0 - 2 k Ω , a při dvou kleštích (typ Metrel A1018 a A1019) je rozsah pouze 0 - 100 Ω . Při připojení dvou kleští jsou zároveň výsledky více zkrácené a přesnost je $\pm 10\% + 2$ digity. U kabelů je přesnost $\pm 2\% + 3$ digity. Při měření měrného odporu půdy je rozsah 0 - 2 G Ω a výpočet probíhá dle výše

¹¹⁰ Interní materiál E.ON Distribuce, a.s.

zmíněných postupů. Pomocí kleští se dá měřit i efektivní hodnota střídavého proudu. Rozsah je 0 - 200 A, přesnost $\pm 5\%$ + 5 digitů a rozlišení 0.1, 1mA, 0.01, 0.1, 1 A.

Zařízení Metrel MI 2124 má celkem 4 rozlišení: 0.01, 0.1, 1 a 10 Ω . Měřicí frekvence je 125Hz a měřicí napětí by mělo být menší, než 40V. Tento přístroj nabízí možnost připojení k počítači přes sériovou sběrnici RS 232. Používané proudové kleště jsou nízkorozsahové A 1018 a standardní A 1019 od téže firmy. Jejich průměr otvoru je 55 mm, což je více v porovnání s předchozími zmíněnými modely jiných výrobců. Oproti jiným zařízením je tento model lehce těžší a váží přibližně 1,3 kg. V současnosti již výroba MI 2124 skončila a čeští prodejci tak tento typ přístroje již nenabízí.¹¹¹



Obr. 5.11: Digitální měřicí přístroj Metrel MI 2124¹¹²

5.3.5 ILLKO

Posledním výrobcem měřičů zemních odporů, využívaných ve společnosti E.ON distribuce, a.s., je česká firma ILLKO s.r.o. Ta se specializuje, podobně jako ostatní firmy, na vývoj, výrobu, dovoz, prodej, kalibraci a servis měřicích přístrojů pro elektrorevize. Kromě výroby zajišťují

¹¹¹ METREL d.d. *Metrel MI 2124 - katalogový list*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: https://www.revizeshop.cz/fotky29448/fotov/_ps_86_ps_153technicky-list.pdf

¹¹² Interní materiál E.ON Distribuce, a.s.

dovoz například zařízení od firmy Metrel. Tato společnost, jejíž začátky se datují k roku 1991, si postupně vybudovala své místo na trhu a nyní dováží vlastní výrobky do zemí po celém světě.

Technici společnosti E.ON Distribuce, a.s. používají digitální měřič IL 1720 - ZEROTESTpro, který lze využít pro měření impedance poruchové smyčky, impedance sítě, zkratových proudů a napětí sítě. Pro účely přesného měření zemních odporů tak nelze toto zařízení přímo použít. Tento přístroj disponuje vícebarevným OLED displejem a umožňuje osvětlit měřený objekt LED diodou, což může být výhodou v tmavém prostředí. Rozsah impedancí je 0 - 200 Ω , rozlišovací schopnost pro různé rozsahy 0.01, 0.1, 1 Ω a přesnost $\pm 3\%$. Při měření zkratového proudu je rozsah 0 - 23 kA a jednotlivé rozlišovací schopnosti 1, 100 a 1000 A. U měření efektivního střídavého napětí je rozsah 24 - 260 V s rozlišovací schopností 0,1 V.

Oproti jiným modelům patří tento typ k novějším a s hmotností přibližně 0,36 kg je zároveň nejlehčí. Měření by mělo probíhat při teplotách mezi 0 a 40 $^{\circ}\text{C}$ a maximální relativní vlhkost je 85 %. Přístroj je určen pro síťová napětí 190 - 260 V a síťové frekvence 48 - 52 Hz. Stupeň krytí je IP43, což je v porovnání s některými ostatními digitálními měřiči poněkud menší. IL 1720 - ZEROTESTpro je běžně dostupný na českém trhu a společnost ILLKO ho například nabízí na svých webových stránkách.¹¹³



Obr. 5.12: Digitální měřicí přístroj IL 1720 - ZEROTESTpro¹¹⁴

¹¹³ ILLKO, s.r.o. *IL 1720 - ZEROTESTpro - návod k obsluze*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.illko.cz/images/dokumenty/navod-zerotest-pro.pdf>

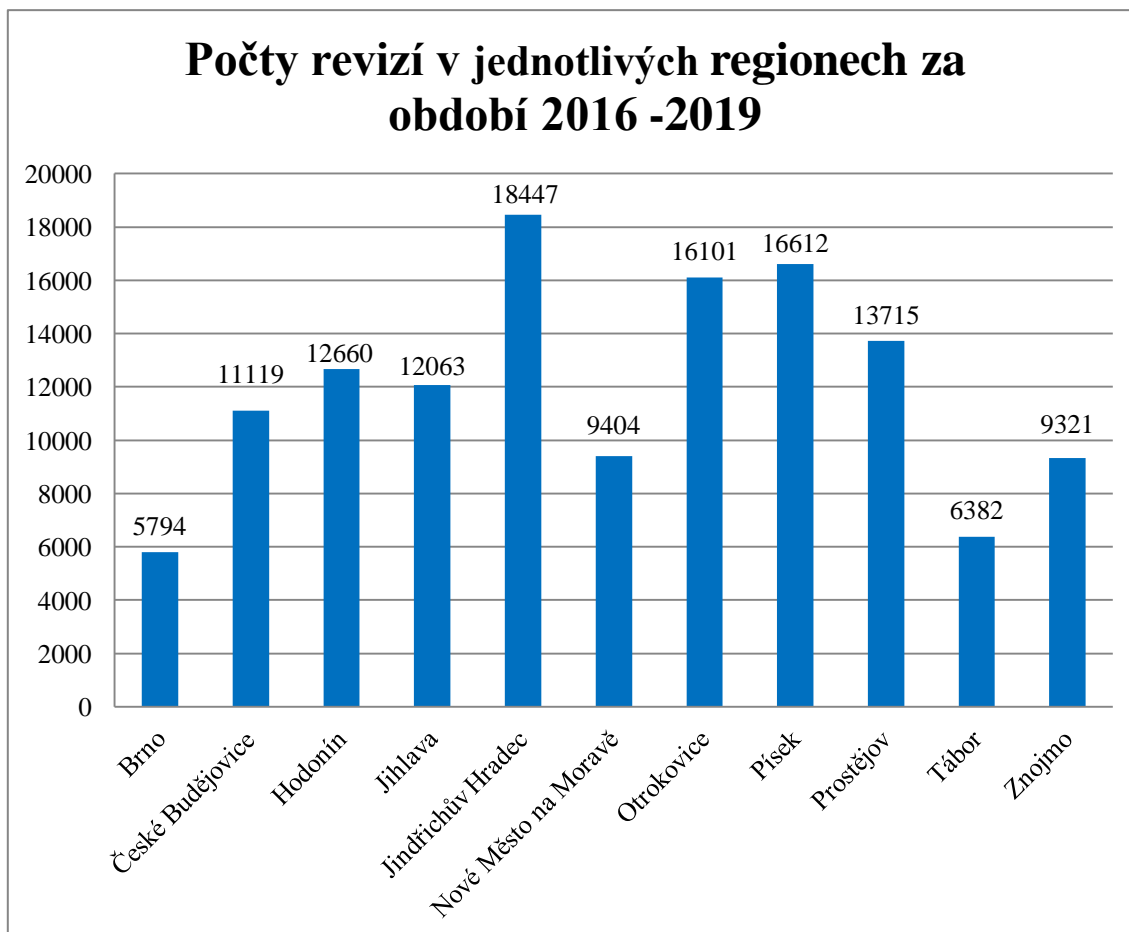
¹¹⁴ Interní materiál E.ON Distribuce, a.s.

6. Měření uzemnění v distribuční soustavě

Teorie z předchozích kapitol tvoří základ pro samotné měření v reálné distribuční soustavě. Ve spolupráci se společností E.ON Distribuce, a.s., mi bylo umožněno nahlédnout do systému GIS a zanalyzovat hodnoty měření zemních odporů od října roku 2016 do února 2019 na celém distribučním území. Za období necelých tří let bylo provedeno přibližně 132 tisíc revizních měření zemních odporů na distribučních trafostanicích, podpěrných bodech a kabelových skříních. Technici by měli každé měření vykazovat podle nového identifikačního čísla, zvolit typ měření, naměřenou hodnotu, typ použitého přístroje a venkovní teplotu. Z těchto údajů se následně dalo zjistit, jaká měřicí zařízení technici používají, zdali jsou hodnoty zemních odporů v souladu s normou, případně jestli technici zvolili správnou metodu měření. Mým úkolem bylo zanalyzovat tato data a vytipovat případné lokace pro otestování nejpoužívanějších měřicích zařízeních. Následně bylo potřeba si daná zařízení zajistit a s technikem provést měření na předem určeném území pronajímaném tímto distributorem.

6.1 Analýza dříve naměřených hodnot

Důležitou součástí této práce bylo nashromáždit data za minulé roky a zjistit, pomocí kterých zařízení technici hodnoty zemních odporů měřili. Již v úvodu této kapitoly bylo zmíněno, že jsem si z používaného systému společnosti E.ON Distribuce, a.s. pro zápis revizí stáhl data od října roku 2016 do února 2019 o celkovém počtu 132 tisíc měření. Tyto data obsahovaly kromě typů přístrojů další důležité parametry, které mi pomohly vybrat zajímavá místa na provedení měření při mé účasti. Pomocí jednotlivých identifikačních čísel dané revize bylo možné při použití dalšího privátního programu společnosti nalézt přesnou lokalitu, typ zařízení, na kterém bylo měření uzemnění provedeno, nebo v případě měření podpěrného bodu jeho označení. Celkový počet měření v jednotlivých regionech za dané období je zobrazeno v Obr. 6.1.

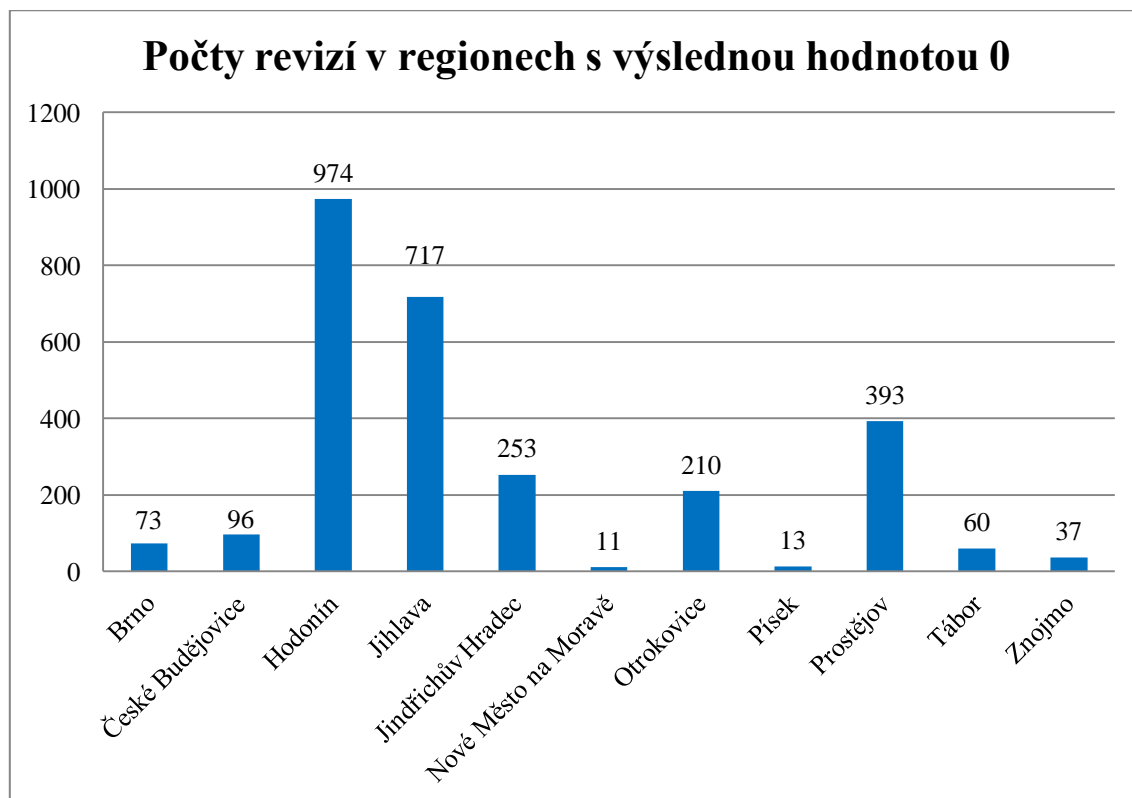


Obr. 6.1: Počty revizí v jednotlivých regionech společnosti E.ON Distribuce, a.s. za období 2016 - 2019

Během zpracování souboru v programu Microsoft Excel 2007 bylo nalezeno několik podezřelých hodnot zemních odporů. Technici v některých případech zadávali do systému hodnotu 0 nebo se relativně často stávalo, že se hodnoty pohybovaly několikanásobně výše, než jsou z výpočtů vycházející povolené limity. Pro vlastní měření mi tyto případy přišly zajímavé na otestování měřicích zařízení s možností zjištění případných pochybení techniků při měření nebo potvrzení vysokých nepřijatelných hodnot zemního odporu.

Zadaná hodnota 0 do systému se nejčastěji týkala měření kabelových skříní. Nabízela se otázka, proč technici nulu zadávají, když je nemožné takové hodnoty při měření dosáhnout. Jednou z možností bylo, že systém při zápisu hodnoty menší, než $0,5 \Omega$ zaokrouhloval směrem dolů. Tato varianta byla však vyloučena, jelikož systém umožňuje dlouhodobě zapisovat hodnoty na několik desetinných čar. Další dvě varianty se týkaly možné chyby technika, který buď zaokrouhlil hodnoty sám, nebo například nebyl schopný dané místo v konkrétní den z určitého důvodu změřit a do systému zapsal nulovou hodnotu. Celkový počet takto zapsaných hodnot v systému byl za období necelých tří let 2837, což je přibližně 2,15 % všech celkových revizí.

Z Obr. 6.2 je vidět, že nejvíce nulových hodnot bylo zapsáno na Hodonínsku a Jihlavsku. Nutno konstatovat, že záleží především na konkrétním technikovi, jelikož v některých regionech byli například pouze 2 technici s těmito výsledky. Jednalo se o Nové Město na Moravě (11 revizí) a Písek (13 revizí).

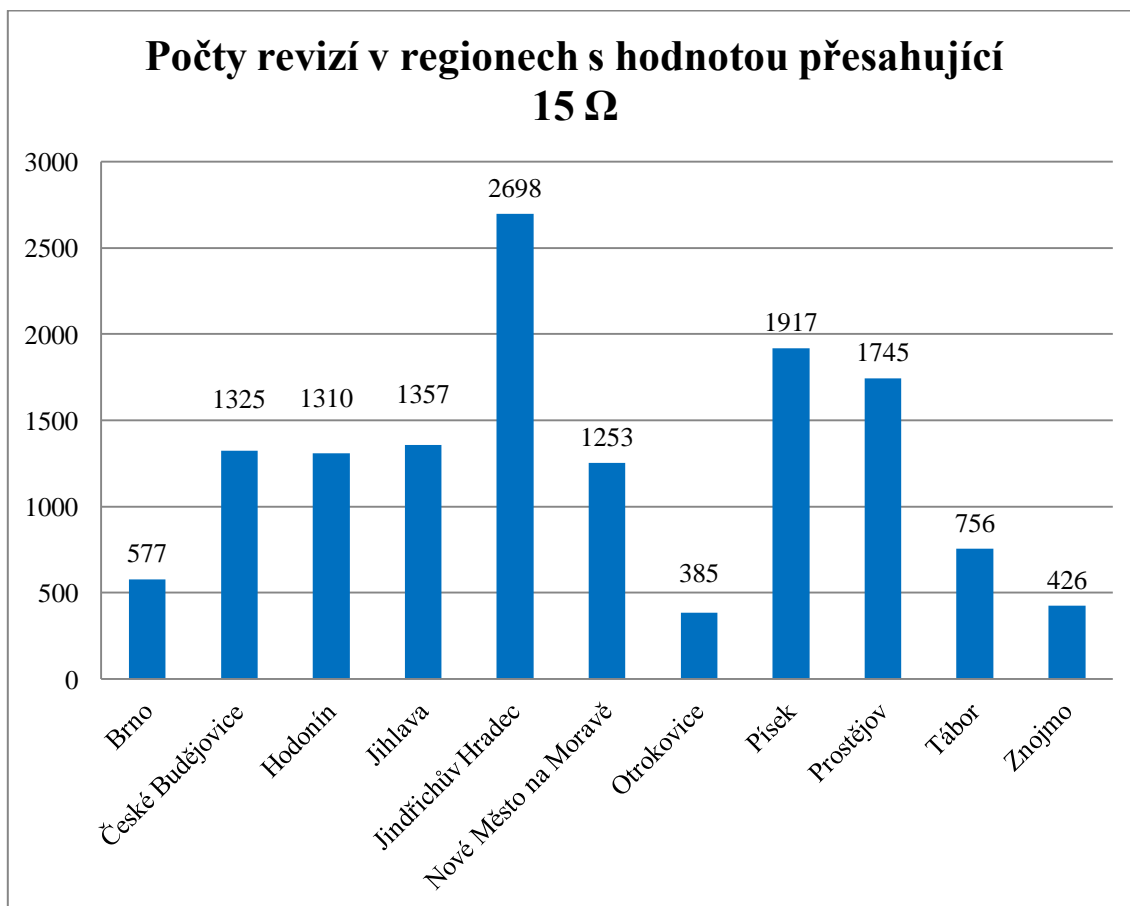


Obr. 6.2: Graf počtu revizí v jednotlivých regionech s výslednou nulovou hodnotou v systému

Hodnoty zemních odporů přesahujících 15Ω se týkaly naopak především podpěrných bodů. V některých případech zemní odpory dosahovaly dokonce mnohonásobně vyšších hodnot v řádech stovek i tisíc ohmů. V tomto případě bylo záhodné se podívat, v jakých podmínkách se daný den pracovalo. Pomocí údajů z blízkých rozveden jsem prověřil venkovní podmínky ve dnech měření v oblasti České Budějovice - venkov a Český Krumlov. Bylo zjištěno, že vyšší hodnoty vycházely jak při velmi horkých a suchých letních dnech, tak i při měření v teplotách hluboce pod nulou. Při velmi nízkých teplotách je z důvodu zmrzlé půdy rezistivita podstatně vyšší a je otázkou, jestli technik dokázal pomocné elektrody zapíchnout dostatečně hluboko do země a zdali přístroje, které obvykle garantují správnost měření při teplotách v mezích $0 - 40^\circ\text{C}$, ukázaly správnou hodnotu. Rolí vyšších hodnot zemních odporů hraje i typ půdy a s tím související měrný odpor půdy.

Z Obr. 6.3 je patrné, že oproti nulovým hodnotám je v tomto případě procento přesahujících 15Ω značně vyšší. Při celkovém množství 13 749 zjištěných případů se jedná o 10,42%. Nejvíce případů bylo zaznamenáno na Jindřichohradecku (2698 revizí) a Písecku (1917 revizí). Otázkou

je, od jaké hodnoty by se měla společnost E.ON Distribuce, a.s., touto skutečností zaobírat. Vliv obsahu vlhkosti v půdě, koncentrace solí v půdě, teploty vzduchu a dalších různých faktorů mohou způsobit značnou odchylku v daný den měření a při další kontrole mohou být hodnoty již v normou stanovených mezích. V rámci měření jsem se tak pokusil klást důraz i na tuto skutečnost a vnímat různé zhoršující faktory, které se v měřených lokalitách mohly v době měření objevit.



Obr. 6.3: Graf počtu revizí v jednotlivých regionech s hodnotou zemního odporu přesahující 15 Ω

Hodnota maximálního povoleného zemního odporu vychází z naměřených hodnot zemních kapacitních proudů v laditelné tlumivce v uzlu napájecího transformátoru, dotykového napětí a typu zemního pásku. Tato problematika byla probrána v podkapitolách 2.4 a 2.5 a pro výpočet je zásadní vzorec (2.9). Jak již bylo v těchto podkapitolách zmíněno, u jednotlivých podpěrných bodů musíme uvažovat, zdali se člověk může poblíž procházet s bosýma nohama nebo zahrneme i odpor mezi podrážkou bot a zemí.

Pro potřeby mého měření a kontroly zemních odporů bylo uvažováno, že se podpěrné body nachází především na loukách a polích, tudíž použijeme hodnotu dotykového napětí 150 V. V případě obecně naměřených hodnot však není jisté, kde se všechny podpěrné body nachází. Z důvodu bezpečnosti jsem proto vybral dovolené dotykové napětí 75 V, u něhož vychází

hodnota maximálního zemního odporu pro zemnicí tyče a pásy průměrně 15 Ω , kterou považují pro analýzu dříve naměřených dat jako referenční. Pro dotykové napětí 150V jsou průměrné hodnoty přibližně dvojnásobné, tudíž maximální povolená hodnota zemních odporů je přibližně 30 Ω . Tyto hodnoty však závisí na řadě parametrů včetně podloží. Každý vývod 22 kV vykazuje různé výsledky kompenzačních proudů a z hlediska měření je důležité zjišťovat aktuální informace v dané rozvodně. Stav vyladění tlumivky lze zjistit na pracovišti dispečinku 22 kV. Z dříve zjištěných hodnot kompenzačních proudů v námi zvolených lokalitách jsem čerpal pro účely této práce.

Vliv na maximální zemní odpor má ze vztahu (2.9) i součinitel tvaru zemniče. Jednotlivé hodnoty jsou popsány v Tab. 6.1. Nejčastěji se v praxi u podpěrných bodů setkáváme s prvními dvěma případy neboli se zemnicí tvaru tyče nebo pásku. Pokud nelze z dokumentace zjistit, jaký je tvar stávajícího zemniče, uvažujeme součinitel $k = 2$ pro paprskový zemnič.

Tvar zemniče	k
Tyčový nebo hloubkový	1,5
Páskový paprskový	2
Páskový obvodový	3
2 ekvipotenciální kruhy	5
3 ekvipotenciální kruhy	7

Tab. 6.1: Jednotlivé součinitele pro různý tvar zemniče¹¹⁵

6.2 Vlastní měření

Po analýze dříve naměřených hodnot na distribučním území společnosti E.ON Distribuce, a.s., bylo potřeba přistoupit k samotnému měření v terénu. Jelikož nemám dle platných norem, zákonů a interních pravidel společnosti oprávnění sám měřit uzemnění trafostanic, podpěrných bodů a kabelových skříní, bylo pro účely mé práce nutné jít měřit v roli pozorovatele dohromady s techniky.

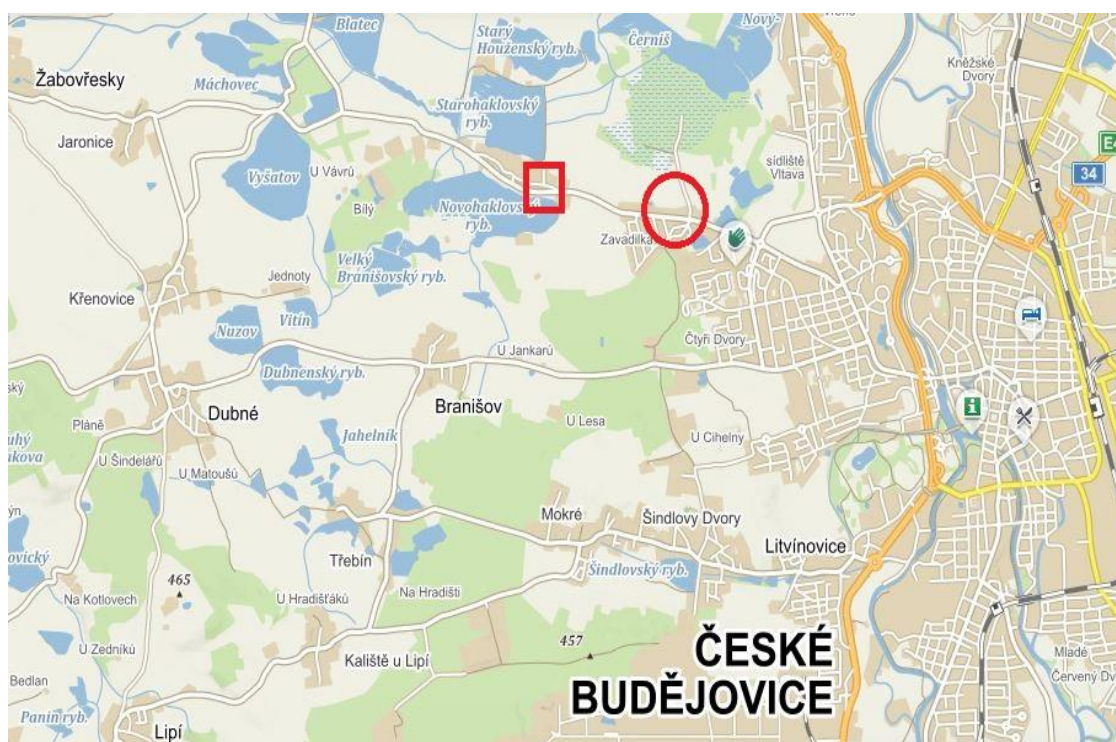
6.2.1 První měření

Prvnímu měření předcházela konzultace s oběma techniky. Již v předchozí podkapitole bylo zmíněno, že jsem se zaměřil na oblast České Budějovice, odkud pocházím, a Český Krumlov. Během schůzky jsem se s nimi musel domluvit na přesné lokalitě, jaké typy uzemňovaných zařízení měřit, poprosit je o zajištění všech jejich používaných přístrojů v rámci OPD České

¹¹⁵ PNE 33 000-1 - Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribuční soustavě dodavatele elektřiny, 1998

Budějovice a vybrat vhodný termín. Zároveň bylo rozhodnuto, že toto měření bude spíše demonstrativního charakteru, abych v praxi viděl postupy techniků při měření všech tří typů uzemněných zařízení. Pro účely tohoto měření bylo také žádoucí, aby technici mohli využít tyto hodnoty v rámci kontroly dle ŘPÚ, jelikož by se měly hodnoty zemních odporů podpěrných bodů, kabelových skříní, či distribučních trafostanic kontrolovat pravidelně jednou za 4 roky.

Místem měření tak byla čtvrť Zavadilka a Haklovy Dvory, což jsou okrajové části Českých Budějovic ležící severozápadně. Z konzultace vyplynulo, že technici již několik let k měření zemního odporu využívají pouze zařízení od firmy Kyoritsu, KEW 4105A. V ojedinělých případech, jako jsou městské zástavby, kde není možnost zapichovat pomocné elektrody do země, využívají další produkt od Kyoritsu, klešťový měřič KEW 4200. Z minulé podkapitoly však vyplývá, že někteří jiní technici využívali v této oblasti i zařízení od společnosti Metra Blansko. Především se jednalo o dva přístroje: PU 181 a PU 123. Tato zařízení jsou však značně zastaralá a na trhu již nejsou dostupné. Pro testování a porovnání hodnot více typů přístrojů tak byl nakonec použit další, avšak stále dostupný a kvalitnější přístroj od Metra Blansko, PU 293.



Obr. 6.4: Lokalita prvního měření¹¹⁶

Datum měření bylo stanoveno na čtvrtek 7. 5. 2020 dopoledne. Tento den bylo počasí jasno s teplotou okolo 18 °C. Z Obr. 6.4 vyplývají přesná místa, kde se měření uskutečnila. V oblasti

¹¹⁶ Dostupné z: <https://mapy.cz/>

červeného kruhu se nachází oba podpěrné body a kabelová skříň. Čtvercem je označeno místo s měřenou distribuční trafostanicí, která se nachází již v Haklových Dvorech.

Hned při měření prvního podpěrného bodu jsem si všiml, že s přístrojem KEW 4105A je oproti PU 293 práce mnohem rychlejší a díky kratším potřebným vzdálenostem od sloupů také prostorově jednodušší. V obou případech byla použita čtyřvodičová metoda, která byla popsána v předchozích kapitolách. Přístroj PU 293 nabízí i měření třívodičovou metodou, která byla použita ve dvou případech pro otestování přesnosti a správnosti zapojení. Naměřené hodnoty lze vidět v Tab. 6.2. Z tabulky vyplývá, že hodnota prvního podpěrného bodu vyšla v rámci mezi a všechny tři přístroje se s hodnotou od sebe příliš nelišily.

1. Podpěrný bod	Zařízení	R_{zem} [Ω]
	Kyoritsu 4105A	3,22
	Kyoritsu KEW 4200	3,61
	Metra PU 293	2,84 (4vodič), 2,99 (3vodič)
2. Podpěrný bod	Zařízení	R_{zem} [Ω]
	Kyoritsu 4105A	19,63
	Kyoritsu KEW 4200	0,05
	Metra PU 293	20,6
Kabelová skříň	Zařízení	R_{zem} [Ω]
	Kyoritsu 4105A	0,59
	Metra PU 293	0,58
Trafostanice	Zařízení	R_{zem} [Ω]
	Kyoritsu 4105A	0,54
	Metra PU 293	0,53 (4vodič), 0,45 (3vodič)

Tab. 6.2: Výsledky prvního měření s techniky 7. 5. 2020

U druhého podpěrného bodu nebylo tentokrát k zjištění zemního odporu možné použít všechny tři měřicí zařízení, jelikož se oko klešťového měřiče KEW 4200 neprotáhlo mezerou mezi sloupem a zemním páskem. Změřená hodnota tímto přístrojem 0,05 Ω se vztahuje ke smyčce okolo sloupu, která nemá se zemním odporem podpěrného bodu nic společného. Klešťové přístroje naleznou, jak již bylo zmíněno, spíše uplatnění v městské zástavbě nebo při měření odporu uzemnění hromosvodů. Dle zjištěných kapacitních proudů z dispečinku by v této lokalitě měl být maximální zemní odpor 16 Ω , což bylo podle Tab. 6.2 překročeno oběma digitálními měřiči. Výsledné hodnoty vyšly zprůměrované ze tří hodnot, kdy byla přesunuta pomocná elektroda S od původního místa nejprve o několik metrů blíž a následně dál. V obou případech byla využita čtyřvodičová metoda zapojení. Důvodem vyšší naměřené hodnoty může být velké sucho v období dubna a začátku května 2020 nebo složení půdy. V této oblasti převládá kambizem, neboli hnědá (lesní) půda, a glejosol, což je půda s velkým obsahem podzemní vody. Z analýzy složení půdy by mělo být téměř jisté, že rezistivita půdy bude v této

oblasti maximálně v řádu stovek Ω m. Hodnotu rezistivity půdy by šlo také zjistit měřením Wennerovou metodou. Otázkou je, zdali se v tomto případě vyplatí při vytíženosti techniků postupovat tímto způsobem nebo se spokojit s tím, že o pár dní později by pravděpodobně mohl zemní odpor klesnout na hodnotu v povolených mezích.

Třetím případem prvního měření bylo zjištění zemního odporu kabelové skříně. Při tomto měření by obvykle technici měli vypínat proud a zjišťovat hodnoty samostatné kabelové skříně. V našem případě však neměli technici souhlas s vypnutím, a tak jsme se museli spokojit s naměřením hodnot společných v rámci paprskové sítě. Výsledky tak vyšly velmi nízké a oproti měření ve vypnutém stavu pravděpodobně zkrácené. Vezmeme-li však výsledky jakožto celek paprskové sítě, vyšly v pořádku.

Posledním typem zařízení, u kterého se provádí techniky E.Onu Distribuce, a.s., měření zemních odporů, je distribuční trafostanice. Podobně jako u kabelových skříní se zde obvykle měří ze stejných důvodů při vypnutém stavu. Bohužel opět nebylo možné této skutečnosti využít, jelikož vypínání trafostanic a měření zemních odporů se provádí jen při formálních kontrolách jednou za 4 roky dle ŘPÚ. Hodnoty zde vyšly v podstatě stejné jako u kabelových skříní a nepřišlo se tak na žádnou závažnou nesrovnalost v této paprskové síti.

6.2.2 Druhé měření

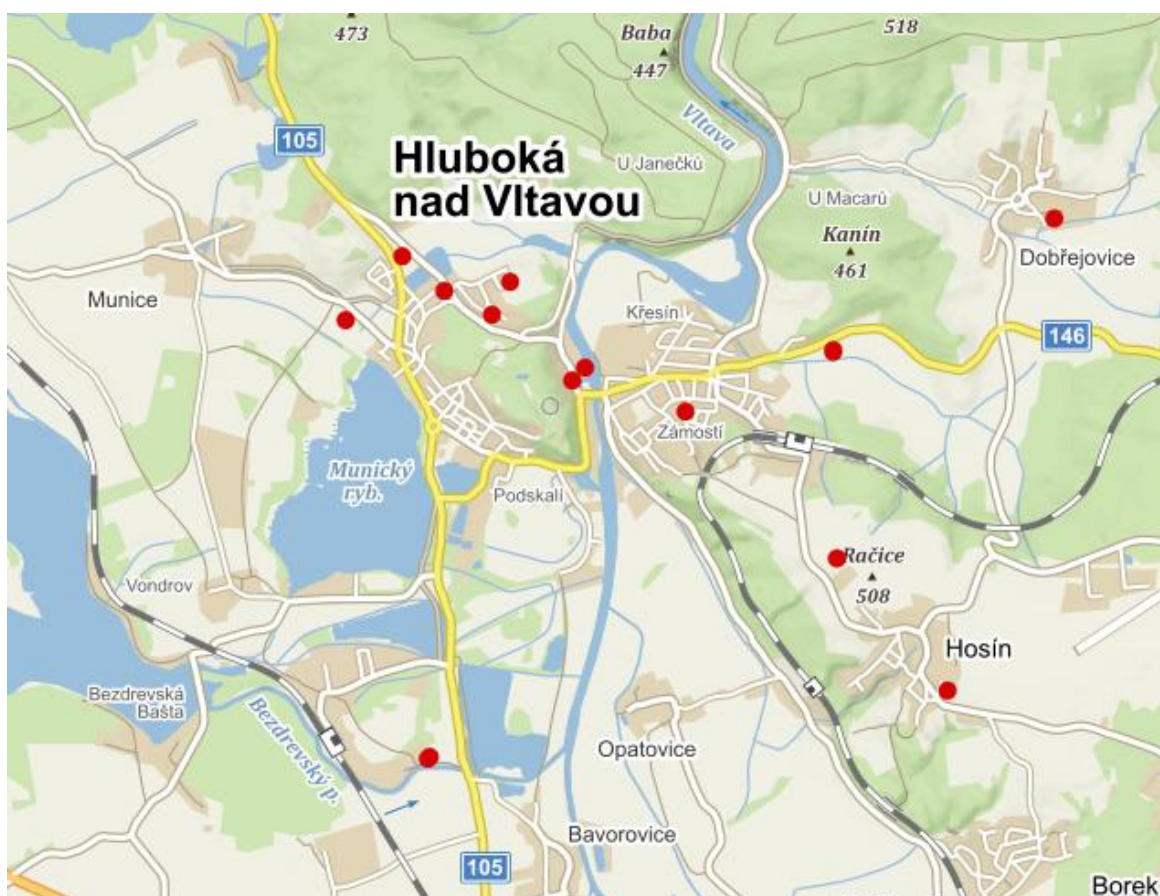
Po prvním zkušebním měření, během kterého jsem zjistil, jakým způsobem technici měří, jaká zařízení k tomu používají a u jakých silových zařízení mají povinnost hodnoty naměřit, jsem se pokusil z poskytnutých dat vybrat vhodnou lokalitu na otestování měřicích přístrojů od dvou firem, které mají ve společnosti E.ON Distribuce, a.s., zdaleka nejvyšší zastoupení. Použity byly zařízení od Kyoritsu KEW 4105A a PU 293 od Metra Blansko. Klešťový měřič nebyl pro další měření uvažován z důvodu zmíněných v předchozí podkapitole.

Účelem tohoto měření tak byla jak kontrola nestandardních hodnot, tak míst s relativně přijatelnými hodnotami zemního odporu a zároveň porovnání chování obou měřicích přístrojů v různých složitých či méně složitých terénech. Vybrána byla lokalita poblíž statutárního města České Budějovice, kde bydlím, a kde mají technici základnu. Vzhledem k časové náročnosti měření bylo výhodné najít místa, kam se nebude obtížné v krátkém časovém úseku dostat autem tak, aby se stihlo otestovat co nejvíce silových zařízení distribuční soustavy během jednoho pracovního dne.

Tyto podmínky splňovala lokalita nacházející se severovýchodně od Českých Budějovic, kde v posledních třech letech naměřilo několik techniků nezávisle na sobě hned 90 hodnot zemních odporů neslučujících se s povoleným limitem normy, a v 60 případech byla zadána do systému

nulová hodnota. Největší koncentrace obou případů připadla na Hlubokou nad Vltavou a blízké okolí, kam bylo celé měření směřováno. V letech 2017 a 2018 zde technici naměřili vyšší hodnoty zemních odporů podpěrných bodů i kabelových skříní a zároveň tu bylo zaznamenáno 35 kabelových skříní s hodnotou 0.

Hluboká nad Vltavou a okolí spadá pod rozvodnu Mydlovary s názvem vývodu 22 kV Hluboká. Z dispečinkových hodnot kapacitních proudů z laditelné tlumivky vychází, že pro dotykové napětí 75 V by měla být maximální hodnota zemního odporu 10 Ω (tyč) nebo 13 Ω (pásek). Námi měřené podpěrné body se nacházely mimo městskou zástavbu na loukách a na poli, tudíž uvažujeme dotykové napětí 150 V. V našem případě tak počítáme s maximem 20 Ω (tyč) a 27 Ω (pásek).



Obr. 6.5: Mapa se zaznačenými měřnými lokalitami v oblasti severovýchodně od Českých Budějovic¹¹⁷

Samotné měření probíhalo 21. 5. 2020. V tento den bylo skoro jasno s teplotou pohybující se okolo 20 °C. V předchozích dnech i týdnech bylo navíc velmi sucho, tudíž byl předpoklad, že budou naměřené hodnoty trochu vyšší. V místech měření se nacházela především kambizem,

¹¹⁷ Dostupné z: <https://mapy.cz/>

neboli půda skládající se z horní hlinité vrstvy a spodní, převážně kamenité vrstvy. Přítomnost tohoto typu podloží se při samotném měření potvrdila. Pomocné elektrody tak bylo v některých případech velmi těžké dostat do potřebné hloubky. Rezistivitu půdy odhaduji na většině míst od 100 do 300 Ω m. Výjimku tvoří měření podpěrného bodu u zastávky Poříčská u silnice II/105 a podpěrný bod na konci ulice Fügnerova na Hluboké nad Vltavou. Zde byl odhadnut vzhledem k půdnímu podloží měrný odpor půdy menší, než 100 Ω m. Jediné nezaznamenané místo na Obr. 6.5 je jedno měření jižně od fotbalového hřiště v Kamenném Újezdu. Zde v minulosti vyšla hodnota zemního odporu podpěrného bodu přesahující povolený limit jedenáctkrát, tudíž to bylo z hlediska společnosti E.ON Distribuce, a.s., zajímavé přeměřit a zkontrolovat.

Během jednotlivých měření, kterých jsem se bohužel kvůli pravidlům společnosti E.ON Distribuce, a.s., a zákonům účastnil pouze jako pozorovatel, bylo záměrem sledovat, jak se technikům s oběma zařízeními pracuje, a jaké hodnoty zařízení naměřily. Na první pohled bylo znatelné, že přístroj KEW 4105A je lehčí, skladnější a jeho zapojení bylo o poznání lehčí a rychlejší. Využita byla tříkabelová metoda zapojení, kdy se zelený měřicí kabel zapojí k testovací zemnicí elektrodě E, žlutý k pomocnému zemniči P a červený k pomocnému zemniči C. Následně je nutné všechny 3 kabely vložit do správných zdírek přístroje podle názvu E, P a C. Kabely byly v porovnání s PU 293 výrazně kratší, což se možná projevilo následně při naměření hodnot zemních odporů. Výsledky zemních odporů na displeji KEW 4105A dost často skákaly v řádu jednotek a u výše naměřených hodnot dokonce v řádu desítek. Bylo nutné proto provést více měření s posunem pomocného zemniče P a následně hodnoty zprůměrovat.

Naopak přístroj PU 293 od Metra Blansko je na první pohled modernější a dražší variantou. Umožňuje naměřit hodnoty zemních odporů tří nebo čtyřvodičovou metodou, oproti KEW 4105A jsou zde čtyři zdířky a zatímco přístroj od Kyoritsu umí pouze změřit zemní odpor a napětí, PU 293 dokáže při správném zapojení změřit i rezistivitu půdy, impedanci smyčky, případně střídavé a stejnosměrné napětí. Dle manuálu navíc garantuje správnou funkčnost při větším teplotním rozsahu (-15 až 40 °C) a větší vlhkosti (až 80 % při 23 °C). Jak již bylo zmíněno, jako největší nevýhodu tohoto zařízení považují delší pomocné kabely, kdy by se měla v tomto případě dodržovat vzdálenost 25 metrů pro bližší pomocný zemnič (S) a 40 metrů pro delší pomocný zemnič (H). Samotné měření tak probíhá delší dobu a v místech zástavby může být obtížnější manipulace a hledání místa, kam lze pomocné elektrody upevnit dostatečně hluboko do země. PU 293 vykazovalo při všech měřeních velkou přesnost a výsledky vycházely při posunu elektrod nebo změně metody na třívodičovou s velmi malým rozdílem. Výsledky udávané v Tab. 7.1 jsou všechny zprůměrované a vychází z čtyřvodičové metody zapojení.

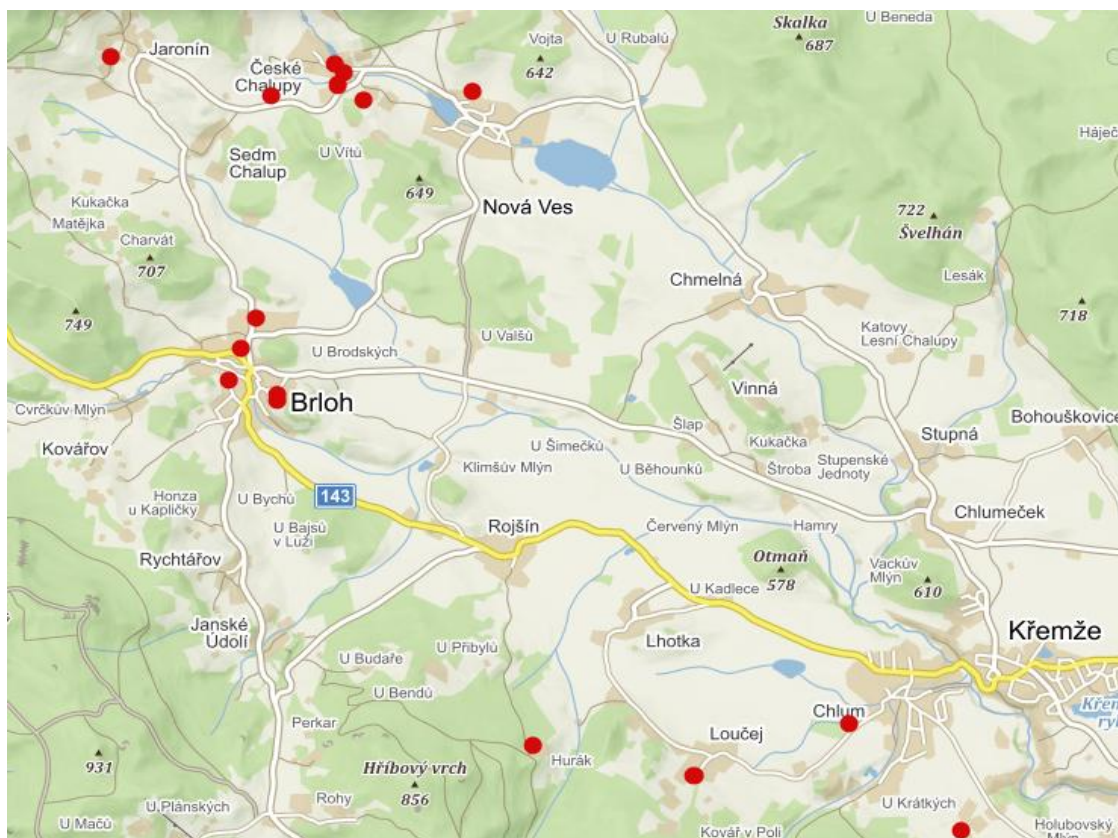
6.2.3 Třetí měření

Zatímco u předchozího měření bylo hlavním cílem porovnat dvě různá měřicí zařízení, v tomto případě šlo především o kontrolu špatně vycházejících hodnot zemních odporů v oblasti jihozápadně od Českých Budějovic. Zde totiž poslední naměřené hodnoty dosahovaly i řádově stovek Ω a ve čtyřech případech se dokonce jednalo o výsledek přesahující tisíc Ω , což je velký extrém a bylo nutné to řešit. Využití pouze jednoho zařízení ušetřilo cenný čas, jelikož byl na toto měření vyhrazen opět jeden den.

K dispozici bylo hned několik měřicích přístrojů, ze kterých jsem si s techniky měl vybrat jeden, kterým budeme provádět měření. Po dohodě padla volba na zařízení PU 293 od firmy Metra Blansko, které se při prvních dvou měřeních osvědčilo a i ve složitých terénech vykazovalo konzistentně přesvědčivé výsledky. U přístroje KEW 4105A od firmy Kyoritsu byla obava, že při vyšších naměřených hodnotách bude potřeba u každého podpěrného bodu pomocné elektrody různě natáčet a hledáním zprůměrované hodnoty tak zbytečně ztrácet drahocenný čas. Použití klešťových měřičů by bylo samozřejmě nejrychlejší variantou, ale při předchozích měřeních jsem si všiml, že u skoro žádného podpěrného bodu by nešlo oko měřiče obepnout okolo zemnicího pásku nebo kabelu a tím pádem by nešlo měření praktikovat. Ostatní dostupná zařízení nebyla mnou a ani technikem, se kterým jsem jezdil měřit, ozkoušené a výrobky od firem Chauvin Arnoux nebo Metrel tak zůstaly nevyužity.

Jak již bylo zmíněno, toto, v pořadí třetí měření, se týkalo především kontroly zemních odporů u dříve extrémně vycházejících hodnot. V okolí vesnic Nová Ves, Brloh a městyse Křemže bylo zjištěno 50 případů, kdy hodnota zemních odporů vyšla vyšší, než 45 Ω . Z těchto 50 případů se naměřila hned dvacetkrát hodnota přesahující 100 Ω a v pěti případech dokonce hodnota naměřeného zemního odporu přesahovala 1000 Ω . Tato oblast spadá pod českobudějovickou rozvodnu Západ s vývodem 22kV Rájov. Z naměřených hodnot na tlumivkách vyplývá, že maximální dovolený zemní odpor je pro tuto oblast při uvažovaném dotykovém napětí 150V pouhých 12 Ω (tyč) nebo 16 Ω (pásek). Předěslá měření zemních odporů tak výrazně přesahují povolené meze.

Naším společným cílem s technikem tak bylo vzít nejvyšší hodnoty, najít souřadnice podpěrného bodu či kabelové skříně a přeměřit uzemnění daného silového zařízení. Následně jsem měl podle výsledků stanovit důvod, proč dříve vyšla hodnota uzemnění tak vysoká a v případě, že bude vyšší hodnota potvrzena, najít vhodný způsob k snížení zemního odporu.



Obr. 6.6: Mapa se zaznačenými měřenými lokalitami v oblasti jihovýchodně od Českých Budějovic¹¹⁸

Samotné měření proběhlo 3. 6. 2020. Venkovní teplota se pohybovala tento den mezi 18 - 21 °C a bylo polojasno. Oproti předchozímu měření byla půda především v ranních hodinách navlhla, jelikož v noci z 2. na 3. června pršelo. Hned u prvních dvou podpěrných bodů ve vesnici Mřič (dříve naměřené hodnoty 1350 Ω a 50 Ω), které jsme chtěli s technikem změřit, nastal problém se špatnou dostupností. Jedinou variantou, jak se k podpěrným bodům dostat, bylo projít přes soukromý pozemek, což jsme bez povolení majitele nepraktikovali. Na tato místa se tak doporučuji technikům zaměřit v roce 2021, až zde budou provádět měření v rámci řádu preventivní údržby.

U kabelových skříní byla stanovena hypotéza, že technici zadávají do systému 0 ve dvou případech. Buď kvůli chybějícímu zemnicímu pásku či kabelu, nebo z určitého důvodu nešla skříň odpojit od sítě tak, aby se dalo uzemnění změřit podle ŘPÚ samostatně. Z deseti potenciálních kabelových skříní s nulovou hodnotou tak byly vybrány 4 v obci Brloh, kde místo měření proběhla pouze zběžná kontrola, zdali je ve skříní vše tak, jak má.

Při měření podpěrných bodů jsem si povšiml, že půdní podloží v okolí Brlohu a Nové Vsi je značně kamenité a je zde proto předpoklad vyšší rezistivity, a tím i vyššího zemního odporu. Mé

¹¹⁸ Dostupné z: <https://mapy.cz/>

předpoklady byly potvrzeny při nahlédnutí do geologických map. Pod ornou zemědělskou půdou se nachází na většině území této oblasti silná kamenitá vrstva. Vedení v této oblasti je VN i NN. V případě sítě NN bylo zapotřebí k měření zemního odporu samostatně odpojit daný podpěrný bod od sítě, což jsme bohužel nebyli oprávněni učinit. Proto jsme v několika případech byli nuceni změřit pouze společný zemní odpor pro celou paprskovitou síť. Jednotlivé výsledky obou měření s technikem v terénu je popsáno v kapitole 7.

6.3 Postup kontroly zemních odporů

Během tří měření jsem se naučil pracovat celkem se třemi přístroji používaných techniky ve společnosti E.ON Distribuce, a.s., k měření zemních odporů. Zároveň jsem si udělal obrázek o vycházejících hodnotách uzemnění, vyplňování revizních hlášení a častých chybách, které jsou s tímto typem měření spojeny. Technikům bych tak rád po nastudování technických norem, analýze dat z předchozích měření a manuálů od výrobců použitých zařízení, předal návod na postup při konání revizí uzemnění.

Nejprve bych se zaměřil na využití samotných měřicích zařízení. Pro měření zemních odporů by se měly využívat zařízení k tomu určené. Norma ČSN 33 2000-6 ed. 2 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 6: Revize* sice uvádí, že se k zjištění zemního odporu dají využít i přístroje, které jsou primárně určené k měření impedance smyčky (například ZEROTESTpro). Hodnoty zemních odporů vychází však u těchto přístrojů mírně zkreslené a je proto lepší použít zařízení přesnější s primárním účelem měření uzemnění.

Každý technik by se měl výhradně řídit pokyny zmíněnými v manuálech výrobců. V manuálech se nachází schéma zapojení, jaké metody zapojení se mohou využít, jak se zařízením pracovat, a jaké by měly být vzdálenosti pomocných elektrod od zemniče. Co výrobci v manuálech nezmiňují je, jak mají vycházet hodnoty zemních odporů pro daný zemnič. Tato hodnota vychází z několika faktorů, z nichž hlavním je měrný odpor půdy. Povolená hodnota zemních odporů vychází ze zjištěných hodnot kapacitních proudů v dispečinku rozvodny, pod kterou podpěrný bod VN spadá. Zemní odpor pak lze vypočítat ze vztahu (2.9) s tím, že hodnoty součinitele tvaru zemniče jsou popsány v Tab. 6.1. Dotykové napětí volíme 75 V nebo 150 V v závislosti na přístupu podpěrného bodu. Napětí 75 V zvolíme v místech, kde se lidé mohou pohybovat bez bot, naopak 150 V použijeme v místech mimo městskou zástavbu, kde nepředpokládáme pohyb bosých osob (například louka nebo pole). Pokud technik naměří hodnotu zemních odporů vyšší, než jsou povolené limity, měl by do revizní zprávy do poznámky uvést, jaký může být důvod této skutečnosti. Kromě rezistivity půdy může hrát roli zemnicí pásek/kabel ve špatném stavu (mechanická degradace nebo koroze), aktuální podnebí nebo nemožnost techniků z důvodu zástavby posunout pomocnou elektrodu pro získání více hodnot, které se následně zprůměrují. Pokud se najde místo s uzemněním výrazně přesahující

povolený limit (o 50 Ω), je doporučeno nahlásit daný zemnič nadřiznému a pokusit se vysoké hodnoty omezit přidáním robustnějšího strojeného zemniče. Možností je na dané lokalitě provést dodatečně měření k zjištění měrného odporu půdy. Většina novějších zařízení to již pomocí Wennerovy metody zapojení umožňuje.¹¹⁹

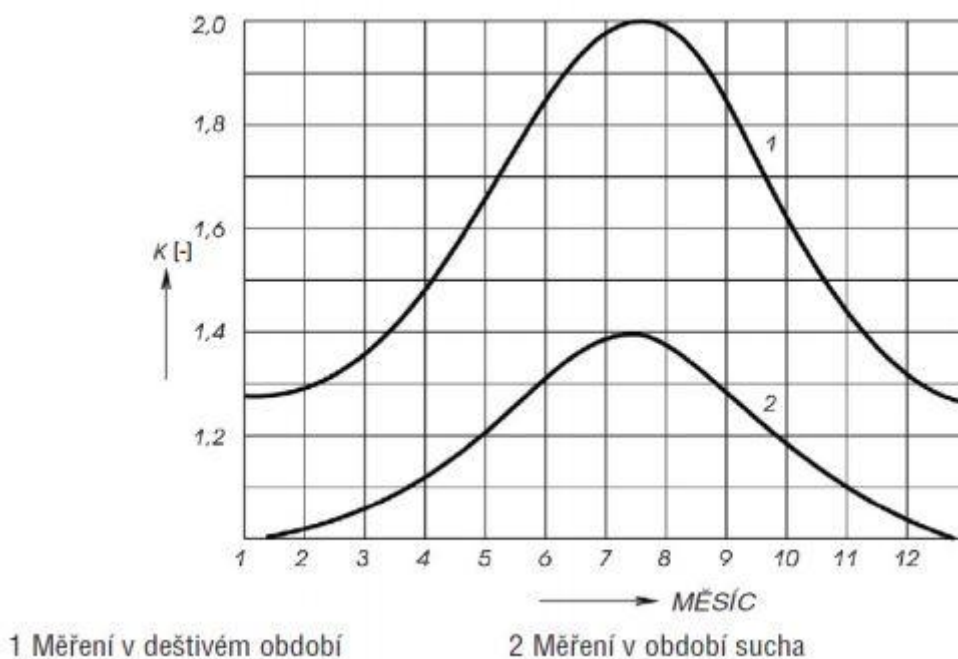
Při samotném měření by se měl technik držet, jak již bylo zmíněno, manuálu. Některé přístroje (například Metra PU 293) umožňují měřit uzemnění třívodičovou nebo čtyřvodičovou metodou. Osobně doporučuji provést měření čtyřvodičovou metodou, která dává přesné a spolehlivé výsledky. V případě třívodičové metody se může stát, že odpor vodiče mezi svorkou E a měřeným zemničem nelze zanedbat a dostaneme tak zkreslené výsledky. Pro ověření správnosti měření hodnot zemního odporu se doporučují dvě metody. První metodou je měření s dvěma pomocnými elektrodami v jedné linii. Zarazíme-li delší proudovou elektrodu do země například 40 metrů od zemniče, pak druhá napěťová elektroda je zapíchnuta do země přesně mezi zemničem a proudovou elektrodou ve vzdálenosti 20 metrů od obou. V poloviční vzdálenosti by se měla nacházet tzv. neutrální zem neboli místo, kde se zjišťuje správná hodnota zemního odporu zemniče. Abychom přítomnost neutrální země ověřili, posuneme napěťovou elektrodu nejprve o 6 metrů blíže k měřenému zemniči a následně od středu o 6 metrů blíže k proudové elektrodě. Jsou-li všechny tři hodnoty srovnatelné, tak je prostřední sonda v neutrální zemi a zprůměrovaná hodnota všech tří měření může být považována za relevantní. Druhou variantou je zarážení sond do země ve tvaru trojúhelníka, kdy se opět průměrují podle posunu sond tři hodnoty. Úhel mezi sondami by měl být přibližně 30°. Tato varianta je méně častá a používá se především v místech, kde je obtížné z důvodu zástavby použít první zmíněnou metodu.

Měření by mělo být prováděno vždy samostatně, což znamená, že je nutné skříň, distribuční trafostanici nebo podpěrný bod v síti NN odpojit od sítě, aby došlo k změření správné hodnoty uzemnění. Moderní kabelové skříně již například umožňují změřit správně hodnotu zemního odporu i při zapnutém stavu. Pokud by k rozpojení nedošlo, změřená hodnota by se týkala celé společné paprskové sítě, tudíž by měla hodnota vycházet podstatně nižší, než pouze pro daný zemnič. Kromě toho, že je tento výsledek pro naše potřeby zkreslený, není tento typ měření v rámci řádu preventivní údržby vyžadován.

Z manuálů vychází, při jakých pracovních podmínkách zařízení mohou pracovat. Nedoporučuje se tak měřit při velkých mrazech a velkých vedrech (výrobci obvykle garantují přesnost přístrojů při teplotách 0 - 40 °C). Měření se naopak může provádět jak v suchých, tak mokřích podmínkách. Předpokládá se, že při vyšší vlhkosti vychází zemní odpor o trochu nižší vzhledem

¹¹⁹ ČSN 33 2000-6, ED. 2 – *Elektrické instalace nízkého napětí – Revize*. 2017

k nižší rezistivitě půdy. Vliv na velikost měrného odporu půdy a s tím souvisejících zemních odporů má v našem podnebí i roční období. Předpokládá se, že v zimě jsou hodnoty uzemnění vyšší, než v létě, a proto by se letní hodnoty rezistivity půdy měly násobit koeficientem K , daným z Obr. 6.6. Velikost koeficientu závisí právě i na suchosti. Striktní zákaz měřit uzemnění je ve chvíli blížící se bouřky nebo při bouřce samotné. Případný atmosférický výboj by mohl být životu nebezpečný.



Obr. 6.7: Závislost činitele K na ročním období a míře sucha¹²⁰

V analýze dříve naměřených dat, která byla podrobněji rozebrána v podkapitole 6.2, bylo nalezeno několik překlepů nebo různé variace zápisu údajů, které mi při snaze detailně rozebrat data velmi ztěžovaly práci. Technikům bych proto doporučil zapisovat všechny položky pečlivěji, aby v budoucnu bylo jednodušší zpětně jejich naměřená data prozkoumávat. Někteří technici například zadávají hodnoty zemních odporů s desetinnou čárkou, zatímco jiní používají desetinnou tečku. Osobně bych doporučil pro přehlednost sjednotit hodnoty tak, aby technici zapisovali výsledky s desetinnou čárkou. Problémový je i zápis měřicích zařízení. Dost často se stává, že technik napíše pouze výrobce a zapomene již zmínit konkrétní typ přístroje. Složitější názvy přístrojů jsou navíc dost často komoleny. Osobně bych doporučil IT oddělení společnosti zvážit vytvoření nabídky v systému o velikosti přibližně 10 zařízení, které technici používají.

¹²⁰ ELVA - elektrovizie. *Měření odporu zemniče a rezistivity půdy*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <http://www.revize-instalaci.cz/revize-elektro/mereni-odporu-zemnice-a-rezistivity-pudy/>

Ti by poté nemuseli po každém měření zadávat celý název přístroje a pouze by vybrali z několika možností typ, kterým zrovna měřili.

Zároveň apeluji na všechny techniky, aby důsledně hlásili nadřizeným hodnoty zemních odporů výrazně přesahující povolené limity, dávali informace o špatném stavu zemnicích pásků/kabelů, chybějícímu zemnění nebo jiných problémech souvisejících s měřením uzemnění podle řádu preventivní údržby. Jedině tak je možné v co nejkratší době problémy vyřešit a udržet stav uzemnění distribuční soustavy korespondující s platnými normami, systémem a pravidly společnosti. Technici by zároveň neměli chodit měřit při velkých teplotních extrémech. Zařízení poté pracují mimo pracovní rozsah udávaný výrobcem a bylo objeveno několik případů, kdy přístroje při teplotě pod nulou ukazovaly zkreslené výsledky.

7. Zhodnocení výsledků

Po naměření hodnot zemních odporů ve dvou lokalitách poblíž města České Budějovice bylo nutné výsledky zpracovat a vyhodnotit. Poznatky z druhého měření jsou vidět v Tab. 7.1. V této lokalitě prováděli měření v minulosti především dva technici, přičemž oba využívali zařízení PU 183.1 od Metra Blansko. U druhého měření jsme se setkali u podpěrných bodů VN ve všech případech s instalovanými zemnicími páskami.

Na první pohled je jasné, že až na výjimky zde nebyly primárně testovány dříve naměřené extrémní hodnoty zemních odporů. Důvodem je, že se toto měření týkalo především porovnání měřicích zařízení a zjištění, jak se s nimi pracuje, a jak moc lišící hodnoty s nimi vychází. Výrobci obou použitých přístrojů, KEW 4105A a PU 293, garantují přesnost $\pm 2 \%$ s tím, že u hodnot přesahujících 100Ω to je $\pm 5 \%$. Ve většině případů tak bylo potvrzeno, že oba přístroje změřily zemní odpor přesně. Výsledky se mohly lišit z důvodu rozdílné vzdálenosti pomocné napěťové či proudové sondy. Půdní podloží se totiž může v některých lokalitách výrazně lišit, čímž se mění na krátkých vzdálenostech i rezistivita půdy. V městských zástavbách je zároveň problém s posunem napěťové elektrody blíže k zemniči nebo naopak dále, tudíž jsme se museli spokojit například pouze jedním měřením, případně dvěma. Vyšší odchylky vyšly u distribuční trafostanice na Hosíně, u podpěrného bodu v ulici Hamry na Hluboké nad Vltavou a u podpěrného bodu u silnice III/10579 směrem z Hluboké nad Vltavou do Munic. V druhém případě šlo o síť NN a měřen byl společný zemní odpor paprskové sítě, který by ideálně měl být do 2Ω . Oba měřicí přístroje tento limit splnily, tudíž se dá odchylka odpustit. Měření navíc probíhalo hned u silnice a usazování pomocných elektrod do země nebylo jednoduché, tudíž nešlo otestovat správnost naměřených hodnot s posunem napěťové elektrody.

U druhého podpěrného bodu a trafostanice vyšly však hodnoty přesahující povolené limity. U trafostanice na Hosíně byla velmi tvrdá půda, což se zjistilo při zarážení pomocných elektrod. V tomto případě bych doporučil technikům při další povinné kontrole zkontrolovat i měrný odpor půdy, přestože to není v řádu preventivní údržby, a případně vyměnil zemnicí pásek za kvalitnější (tlustší, pozinkovaná ocel). Otázkou je, jestli by to při velké rezistivitě půdy mělo z ekonomického hlediska smysl. U podpěrného bodu poblíž silnice mezi Municemi a Hlubokou nad Vltavou mě zarážela původní naměřená hodnota 820Ω . V den, kdy byla tato hodnota naměřena, se teploty pohybovaly mezi -13 až $-8 \text{ }^\circ\text{C}$, tudíž bylo dost možné, že zjištěných 820Ω bylo zavádějících z důvodu měření mimo pracovní teplotní rozsah měřiče. Námi změřené hodnoty sice vyšly o poznání nižší, avšak stále přesahovaly 100Ω , což je přibližně pětkrát více, než povolené limity. U tohoto měření se projevil horší vlastnosti přístroje KEW 4105A, kdy se hodnota na displeji ani po delší době neustálila a měnila se až o desítky Ω . Tímto přístrojem

proto bylo podniknuto několik dodatkových měření, z kterých vzešla zprůměrovaná hodnota přibližně o 20 Ω menší, než s PU 293. Toto místo sice neleží přímo v zástavbě a nemyslím si, že by zde byl nějaký pohyb osob, ale na druhou stranu by mělo být povinností společnosti E.ON Distribuce, a.s., se takovými místy zabývat a pokusit se extrémní hodnoty eliminovat. Z tohoto důvodu byly hodnoty předány nadřízenému a v této době technici pracují na opravě.

Měřený prvek distribuční soustavy	Lokalita	Použitá měřicí zařízení		Původní hodnota R_{zem} [Ω]	Datum původního měření	Původní měřicí zařízení
		KEW 4105A	PU 293			
Podpěrný bod	U kravína, Hosín	16,16	17,65	21	19. 01. 2018	PU 183.1
Distribuční trafostanice	U samoty 102, Hosín	46,2	33,4	30	30. 05. 2018	PU 183.1
Podpěrný bod	U samoty 102, Hosín	34,9	33,6	57	19. 01. 2018	PU 183.1
Kabelová skříň	Zahradní 796, Hluboká	0,75	0,6	0	24. 11. 2017	PU 183.1
Podpěrný bod	Pod Kánínem, Hluboká	117,6	124,5	75	23. 01. 2018	PU 183.1
Podpěrný bod	Dobřejovice	19,7	20,2	19	22. 01. 2018	PU 183.1
Kabelová skříň	Přístaviště Hluboká	1,21	0,91	0	06. 06. 2017	PU 183.1
Podpěrný bod	Hamry 188/189, Hluboká	0,93	0,39	0	06. 06. 2017	PU 183.1
Kabelová skříň	Třešňovka 1487, Hluboká	1,19	2,53	35	30. 05. 2017	PU 183.1
Kabelová skříň	Lesní 690, Hluboká	3,9	3,27	46	07. 06. 2017	PU 183.1
Kabelová skříň	Fügnerova 752, Hluboká	Skříň bez uzemnění		0	16. 05. 2017	PU 183.1
Podpěrný bod	Fügnerova, Hluboká	Odpadlý zemnicí pásek - hniloba/rez		23	17. 01. 2018	PU 183.1
Podpěrný bod	Fügnerova, Hluboká	22,1	19,34	21	17. 01. 2018	PU 183.1
Podpěrný bod	Hluboká, směr Munice	104,1	126,6	820	30. 01. 2017	PU 183.1
Podpěrný bod	zast. Poříčská, Hluboká	19,5	19,7	109	09. 02. 2018	PU 183.1
Podpěrný bod	U hřiště, Kamenný Újezd	5,95	6,09	169	12. 01. 2018	KEW 4200

Tab. 7.1: Výsledné naměřené hodnoty zemních odporů při druhém měření s technikem 21. 5. 2020

U druhého měření jsem si chtěl také ověřit, proč technici zapisují u kabelových skříní do systému hodnotu uzemnění 0 Ω . Otestovali jsme tak 4 kabelové skříně, z čehož v jednom případě chybělo zemnění, tudíž nešlo měření praktikovat. Ve všech třech dalších případech se opět měřil společný zemní odpor pro celou paprskovou síť, tudíž by měly hodnoty vyjít do 2 Ω a v rámci řádu preventivní údržby nemají tato data žádnou relevanci. Zásadní pro nás byla informace, že zde šlo měření provést. Má domněnka tak byla, že se nuly v systému objevují v případě, že chybí zemnění nebo technici z určitých důvodů nejsou schopni rozpojit uzemnění. Další ověření mé hypotézy proběhlo během v pořadí třetího měření.

Z ostatních měření mě zaujal podpěrný bod ve Fügnerově ulici na Hluboké nad Vltavou, kde nemohlo proběhnout měření z důvodu odpadlého zrezlého zemnicího pásku. Pásek a podpěrný bod byly proto vyfoceny a poslány nadřízenému. Na dané místo se vzápětí uzemnění opětovně přidělovalo. Hodnoty přesahující 100 Ω byly zaznamenány ještě u podpěrného bodu u silnice

II/146 kousek od Hluboké nad Vltavou. Zde bych volil postup analogicky s prvním zmíněným případem takto vysokého zemního odporu. Relativně překvapivé výsledky jsme zjistili u posledních dvou měření z Tab. 7.1. U zastávky Poříčská u Hluboké nad Vltavou byla námi naměřená hodnota zemního odporu u podpěrného bodu o téměř 90 Ω nižší, než při předchozím měření. V druhém případě nás s techniky zajímal ještě podpěrný bod jižně od Českých Budějovic v obci Kamenný Újezd. Zatímco v roce 2018 se zde naměřil zemní odpor 169 Ω , v našem případě se hodnoty pohybovaly okolo 6 Ω . V tomto místě mohla hrát při posledním měření roli kombinace venkovní teploty a použitého měřicího přístroje. Teplota se tento den pohybovala v rozmezí -2 až 0 $^{\circ}\text{C}$ a k měření byl použit klešťový měřič KEW 4200. Náš výsledek 6 Ω tudíž považuji za relevantní a uzemnění je v tomto případě v pořádku.

Ostatní výsledky spíše potvrdily původní naměřené hodnoty a z hlediska nápravy nejsou tolik významné. Podpěrný bod poblíž distribuční trafostanice na Hosíně (cca 34 Ω) potvrdil vyšší rezistivitu půdy v dané lokalitě a zemní odpory ostatních podpěrných bodů vycházely ještě do přijatelných 20 Ω . U těchto měření se navíc obě zařízení shodovala v hodnotách téměř přesně a markantní rozdíl nebyl ani zaznamenán v porovnání s původním měřením. V tomto místě se navíc nepředpokládá, že by zde člověk chodil s bosýma nohama, tudíž je povolený limit zemního odporu vyšší.

Toto, v pořadí druhé měření považuji za velmi úspěšné, jelikož jsem otestoval chování obou přístrojů od firem s největším zastoupením ve společnosti E.ON Distribuce, a.s., a zároveň bylo nalezeno několik nesrovnalostí, které technici vzápětí napravili.

Při třetím měření byl použit pouze přístroj PU 293 od Metra Blansko, přičemž důvody byly popsány v podkapitole 6.2.3. Výsledky tohoto měření jsou popsány v Tab. 7.2. Všechny původní měření byly provedeny zařízením od firmy Kyoritsu KEW 4105A. Podobně jako u předchozího měření jsme se setkali u podpěrných bodů VN se zemnicími páskami. Výjimku tvořil podpěrný bod v lokalitě České Chalupy 8, kde byl instalován zemnicí kabel.

Měřený prvek distribuční soustavy	Lokalita	Naměřená hodnota	Původní hodnota R_{zem} [Ω]	Datum původního měření
Podpěrný bod	Chlum, směr na Loučež	165,1	140	28. 02. 2017
Podpěrný bod	Loučež 39	1,1	68	28. 02. 2017
Podpěrný bod	Hurák	14,4	151	08. 03. 2017
Kabelová skříň	Jaronín 51	10,3	549	23. 05. 2017
Podpěrný bod	České Chalupy 56	1,2	2000	10. 04. 2017
Podpěrný bod	České Chalupy, za potokem	28,9	2000	10. 04. 2017
Podpěrný bod	České Chalupy, za 56	289	180	05. 09. 2017
Podpěrný bod	České Chalupy 8	5,25	2000	10. 04. 2017
Podpěrný bod	České Chalupy, jihovýchod	72,2	116	10. 04. 2017
Podpěrný bod	Mezi Chlumem a Holubovem	2,44	156	10. 03. 2017
Podpěrný bod	Severně od Nové Vsi	3,02	183	29. 08. 2017

Tab. 7.2: Výsledné naměřené hodnoty zemních odporů při třetím měření s technikem 3. 6. 2020

Výsledky v této oblasti ovlivnil fakt, že i řada podpěrných bodů, u kterých byla kdysi naměřena vysoká hodnota mnohonásobně přesahující povolené limity, byla na hladině NN. To znamenalo, že by bylo nutné ve skříni zařízení rozpojit a měřit správně podle řádu preventivní údržby podpěrný bod samostatně. Na to jsme však opět povolení neměli a museli jsme se tak spokojit s naměřením společných hodnot pro celou paprskovou síť. Předpokládalo se, že v těchto případech budou vycházet hodnoty řádově nižší. Silová zařízení na hladině NN jsou v Tab. 7.2 zaznačena rudou barvou.

Na první pohled je z Tab. 7.2 vidět, že oproti předchozímu měření byly testovány místa s extrémněji vycházejícími hodnotami zemních odporů. Technici v minulosti v okolí především obce České Chalupy naměřili dokonce hodnotu R_{zem} 2000 Ω , což přitáhlo mou pozornost. V této oblasti bylo zjištěno, že elektrická infrastruktura je velmi zastaralá a podpěrné body nebyly v příliš dobrém stavu. Zemní pásy nebo kabely jsou zde často zrezlé, sloupy byly ze dřeva a v některých případech lehce chátraly. Z tohoto důvodu se v těchto místech začalo budovat nové podzemní kabelové vedení, které dává ve zdejší krajině větší smysl. Rezistivita půdy byla vzhledem k tvrdému podloží odhadnuta na stovky Ω m, což potvrzovaly námi naměřené hodnoty. Největší extrémy v Českých Chalupách vyšly u podpěrného bodu za domem č. p. 56, kde byl naměřen zemní odpor 289 Ω a závažnější hodnotou je i 72,2 Ω u podpěrného bodu NN jihovýchodně od této vesnice. Vinou vyšších zemních odporů je pravděpodobně již zmíněný měrný odpor půdy nebo může hrát roli stáří zemičů. V roce 2021 by se zde mělo dle řádu preventivní údržby provést další měření. Osobně očekávám, že už do té doby bude plně funkční nové kabelové vedení a některé zastaralé podpěrné body tak budou nahrazeny.

Ostatní hodnoty zemních odporů vyšly překvapivě v povolených mezích. V případě podpěrného bodu v obci Loučež a na Huráku mohlo být příčinou vysokého zemního odporu měření při velmi

nízkých teplotách. Vzhledem k tomu, že noc před měřením se teploty pohybovaly pod bodem mrazu, mohla být v průběhu původního měření půda zmrzlá nebo přístroje nefungovaly přesně tak, jak měly. Jedinou výjimkou, kde nebyly povolené limity splněny, je naměřená hodnota u podpěrného bodu poblíž vesnice Chlum. Zde vyšel zemní odpor 165,1 Ω , což přibližně desetkrát přesahuje povolenou hodnotu. Na daném místě dochází ke křížení NN a VN linky, což mohlo mít na zjištěné hodnoty vliv. Půdou mohly například protékat bludné proudy. V tomto případě by také v roce 2021 mělo proběhnout další měření podle řádu preventivní údržby, a pokud se potvrdí i potřetí vysoké hodnoty zemního odporu, doporučil bych zde přidat větší a kvalitnější zemnění.

V druhé části tohoto měření jsem se pokusil zjistit, proč technici zadávají do systému nuly. Mé domněnky, proč tomu tak je, byly již rozebrány v úvodu této kapitoly. Z celkových 10 případů v této oblasti byly vybrány 4 kabelové skříně, kde jsme s technikem pouze zkoumali, jestli v nich nechybí zemnič. Samotné měření by nebylo relevantní, jelikož jsme nemohli skříně rozpojit. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 7.3. Ze 4 případů chyběl zemnič pouze v jedné skříně, tudíž může být má myšlenka do jisté míry pravdivá, avšak neúplně vysvětlující ostatní případy, kdy skříně zemnič obsahovala.

Kontrolovaný prvek distribuční soustavy	Lokalita	Uzemnění
Kabelová skříně	Brloh 190	Absence zemnění
Kabelová skříně	Brloh 216	Zemnicí pásek
Kabelová skříně	Brloh 215	Zemnicí kabel
Kabelová skříně	Brloh, u vepřína	Zemnicí kabel

Tab. 7.3: Zjišťování přítomnosti zemniče v kabelových skříních

Pro potvrzení mé hypotézy a zjištění dalších důvodů nulových hodnot v systému jsem proto napsal přibližně 20 technikům s dotazem, v jakých případech do systému 0 Ω zapisují. Z jejich odpovědí vyplynulo, že do systému musí vždy něco vyplnit, i když z určitého důvodu nelze uzemnění naměřit. Hlavním důvodem, proč nelze samostatný zemní odpor změřit, je nemožnost rozpojení uzemnění především u starých SR skříní z bezpečnostních důvodů. Zemnicí páska nebo kabel jsou zde často v zákrytu za fázovým vodičem a nelze tak odstranit propojovací pásku mezi zemnicí páskou a PEN vodičem. Technik tak do systému obvykle napíše 0 Ω s poznámkou, že danou kabelovou skříně nezměřil a dodá příčinu. Druhou variantou zadávání 0 Ω do systému je již zmíněný chybějící zemnicí pásek nebo kabel v kabelové skříně. Technici by i v tomto případě měli minimálně napsat příčinu do poznámky a ohlásit případně stav kabelové skříně nadřízenému.

U třetího měření se velmi osvědčilo zařízení PU 293, které i v občasných složitých podmínkách fungovalo bezproblémově a měřilo spolehlivě. Stav vedení v okolí obce České Chalupy sice není ideální, avšak stavba nového kabelového vedení by měla tuto situaci elegantně vyřešit. Společnosti E.ON Distribuce, a.s., bych doporučil se zaměřit na podpěrný bod u Chlumu směrem na Loučej, kde je námi změřený zemní odpor příliš vysoký.

7.1 Vhodné přístroje pro účely měření zemních odporů

Během vypracování praktické části této práce jsem měl možnost poznat řadu zařízení, která technici používají k měření zemních odporů. Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, snahou společnosti E.ON Distribuce, a.s., je sjednotit měřiče a vybrat několik vhodných typů na měření uzemnění do budoucna.

Pro účely měření distribučních trafostanic, podpěrných bodů či kabelových skříní bych nedoporučoval používat klešťové přístroje, kterými nelze dost často hodnoty naměřit, jelikož je oko měřiče příliš velké a nelze ho provléct mezi zemničem a například betonovým sloupem. Měření za pomoci kleští je sice o poznání rychlejší a méně pracné, ale ve chvíli, kdy se nedá měření provést, ztrácí kleště význam. Tento typ přístroje bych tak doporučil nadále využívat spíše pro měření uzemnění hromosvodů a případně v místech, kde nelze zapíchnout pomocné elektrody do země.

Výrobce	Název přístroje	Typ přístroje	Cena bez DPH [Kč]
Metra Blansko	PU 181.1	Měřič uzemnění se zemními sondami	Neprodává se
Metra Blansko	PU 183.1	Měřič uzemnění se zemními sondami	12 370
Kyoritsu	KEW 4105A	Měřič uzemnění se zemními sondami	5 370
Kyoritsu	KEW 4200	Klešťový měřič	20 400
Chauvin Arnoux	C.A 6415	Klešťový měřič	Neprodává se
Chauvin Arnoux	C.A 6460	Kombinovaný měřič uzemnění	22 400
Metrel	MI 2124	Měřič uzemnění se zemními sondami	Neprodává se
ETCR	2000+	Klešťový měřič	10 500
ILLKO	ZEROTESTpro	Měřič impedance poruchové smyčky	6 071

Tab. 7.4: Aktuální ceny současně používaných měřicích přístrojů uzemnění

Důležitým faktorem výběru měřiče uzemnění je ekonomické hledisko. Podíval jsem se tedy na servery internetových prodejců a zjišťoval, za kolik se používané měřicí přístroje v současnosti prodávají. Jednotlivé ceny bez DPH jsou zobrazeny v Tab. 7.4.

Na první pohled je zřejmé, že někteří technici používají relativně zastaralá zařízení, která již na trhu nejsou k dostání. Konkrétně se jedná o PU 181.1 od Metra Blansko, C.A 6415 od Chauvin Arnoux a MI 2124 od Metrelu. Tyto přístroje byly nahrazeny novějšími modely, o kterých ještě bude v této podkapitole zmínka. Cena námi používaného klešťového měřiče KEW 4200 je v

porovnání s měřičem se zemními sondami od stejné firmy, KEW 4105A, přibližně čtyřikrát vyšší, tudíž se tento typ měřiče nevyplatí ani z ekonomického hlediska. V případě, že by technik potřeboval nutně zakoupit kleště, tak bych spíše doporučil ty od firmy ETCR, která nabízí přibližně dvakrát levnější varianty a pro potřeby techniků by měly být funkce jejich přístrojů dostačující. Vysoké ceny a s tím očekávanou větší kvalitou nabízí u svých novějších modelů klešťových přístrojů i společnost Chauvin Arnoux. Opět bych se přikláněl k názoru, že není potřeba investovat pro potřebu měření uzemnění podpěrných bodů, trafostanic nebo kabelových skříní do takto drahého přístroje. Klešťové měřiče, které na trhu nabízí některé další firmy, nejsou techniky ve společnosti E.ON Distribuce, a.s., používány, a tudíž nemohu správně posoudit, jestli jsou nějaké z nich lepší, než jiné. Konkrétně se jedná o zařízení od společností Fluke, Uni-T a Megger. Porovnání cen jednotlivých klešťových přístrojů je popsáno v Tab. 7.5.

Výrobce	Název přístroje	Cena bez DPH [Kč]
Kyoritsu	KEW 4200	20 400
Kyoritsu	KEW 4202	28 000
ETCR	2000+	10 500
ETCR	2100+	9 250
Chauvin Arnoux	C.A 6416	29 900
Chauvin Arnoux	C.A 6418	33 100
Fluke	1630-2 FC	38 818
Uni-T	UT278A	11 820
Megger	DET24C	39 500

Tab. 7.5: Výběr nabízených klešťových měřičů na trhu s cenami (07/2020)

Při našem měření však nebyly klešťové měřiče využity, a tak bych se zaměřil především na zařízení se zemními sondami. S technikem jsme pracovali s KEW 4105A a PU 293. V předchozích podkapitolách bylo částečně zmíněno, v čem tkvěly výhody obou měřičů. KEW 4105A od firmy Kyoritsu je jedním z nejlevnějších zařízení na trhu, je velmi lehké, snadno se s ním manipuluje a měření proběhne oproti jiným měřičům se zemními sondami relativně rychle. Naopak nevýhodou je větší odchylka naměřených hodnot, kdy se při posunu napěťové sondy výsledky často o několik procent rozcházejí a zprůměrované hodnoty tak nebyly přesvědčivé, jako například u měřiče PU 293. Zároveň je KEW 4105A vesměs jednoúčelové zařízení, kdy kromě hodnoty zemního odporu lze již zjistit pouze zemní napětí. U přístroje PU 293 bylo znáto, že jeho cena je téměř trojnásobná. Při měření jsou více kladeny nároky na přesnou hodnotu, než časovou náročnost a přístroj nabízí slušnou variabilitu. Kromě testování zemního odporu třívodičovou nebo čtyřvodičovou metodou lze měřit i rezistivitu půdy, střídavé a stejnosměrné napětí, impedanci poruchové smyčky a zemní napětí. Toto zařízení se vyplatí používat v místech, kde vychází hodnoty zemních odporů extrémně vysoké ($> 100 \Omega$).

Překvapivým zjištěním pro mě při analýze dříve naměřených hodnot bylo, že technici k měření zemního odporu používají i zařízení, které primárně slouží k měření impedance smyčky. Jedná se například o ZEROTESTpro od firmy ILLKO nebo KEW 4118A od firmy Kyoritsu. Zejména první zmíněné zařízení se použilo v regionální správě Brno ve více, než 2000 případech. Z normy ČSN 33 2000-6 ed. 2 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 6: Revize* vychází, že měřiče impedance smyčky lze využít i k zjišťování hodnot uzemnění. Pouze malá část impedance zemní poruchové smyčky je odvozena od částí smyčky jiných, než od měřeného zemniče. Zjištěný výsledek tak můžeme vzít jako aproximaci odporu měřeného zemniče. Tato varianta však není optimální a využití přístrojů zaměřujících se přímo na zjištění hodnoty uzemnění je doporučeno.¹²¹

Kromě současně používaných modelů měřičů zemních odporů existuje od stejných i jiných výrobců řada novějších a modernějších zařízení. Za nové technologie si však uživatel velmi připlatí a cena některých nejnovějších modelů se vyšplhá i přes 100 tisíc Kč. V čem se však tyto měřiče liší například od námi používaného a levného KEW 4105A? Novější zařízení od firmy Kyoritsu, KEW 4106, které aktuální stojí o přibližně 27 tisíc Kč více, než KEW 4105A, nabízí větší variabilitu měření, garantuje vyšší přesnost, odolnost nebo paměť. V ostatních případech to je velmi podobné. Některé přístroje, například od firmy Chauvin Arnoux, se zaměřují na měření sloupů na hladině VVN a ZVN. Zde se dost často vzhledem k podloží předpokládají vyšší hodnoty zemních odporů, a pokud vyžadujeme přesnější výsledky, potřebujeme kvalitní měřič. Tyto testery většinou navíc umožňují měřit zemní odpor bez pomocných sond, kdy se k zařízení připojí kleště, a pokud lze okolo zemniče uzavřít smyčku, bude hodnota bez problémů naměřena. Pomocí kleští můžeme měřit i zařízeními od firem Metrel, Fluke nebo Megger, jejichž modely jsou zmíněny v Tab. 7.6. Porovná-li přístroje od 16 do 37,5 tisíce Kč, tak se příliš od sebe neliší. Dražší zařízení nabízí většinou větší měřicí rozsahy, mírně lepší přesnost, vyšší paměť, atd. Pro účely měření na hladině NN a VN jsou však tyto malé rozdíly nepřilíživě relevantní a ve výsledku rozhoduje pouze uživatelský komfort. Technik potřebuje přístroj, kterým dokáže co nejefektivněji a nejspolehlivěji provést diagnostiku, k čemuž nepotřebuje v distribuční soustavě luxusní model za desítky tisíc Kč.

¹²¹ ČSN 33 2000-6, ED. 2 – *Elektrické instalace nízkého napětí – Revize*. 2017

Výrobce	Název přístroje	Cena bez DPH [Kč]
Kyoritsu	KEW 4105A	5 370
Kyoritsu	KEW 4106	32 650
Metra Blansko	PU 293	15 980
Chauvin Arnoux	C.A 6470	37 500
Chauvin Arnoux	C.A 6472	99 853
Metrel	MI 2088	18 991
Fluke	1623-2	35 800
Megger	DET3TC	18 700

Tab. 7.6: Výběr nabízených měřičů se zemními sondami na trhu s cenami (07/2020)

Osobně se kloním k názoru, že nejvýhodnějším zařízením ze všech hledisek je stále KEW 4105A. Nejedná se o nejnovější typ, měřené hodnoty občas mohou kolísat a přístroj negarantuje správně naměřené hodnoty při teplotách pod nulou, avšak jeho cena na trhu je bezkonkurenční. Další výhodou je, že v téměř 70 % případech již technici tento přístroj k měření zemního odporu využívají, tudíž nebude pro E.ON Distribuce, a.s., tak finančně nákladné pořídit tento model i ostatním technikům. KEW 4105A bych doporučil zakoupit především technikům v oblasti Brna, kde bylo provedeno přes 2000 měření zařízením ZEROTESTpro, které by mělo sloužit spíše pro měření impedance poruchové smyčky a pro účely testování zemních odporů se nehodí. Pokud již technici mají k dispozici i nějaký novější, dražší a kvalitnější model, tak bych ho na druhou stranu určitě neodstavoval, jelikož v některých případech by mohlo být žádoucí překontrolovat vysoké hodnoty zemního odporu, případně určit na dané lokalitě měrný odpor půdy. Pokud by přece jen nějaký technik uvažoval zakoupit nějaký kvalitnější a dražší model, mohu doporučit PU 293 od české firmy Metra Blansko, se kterým mám osobní zkušenost, a jeho cena není úplně závratně vysoká. Jedná se o spolehlivé a uživatelsky přijatelné zařízení, pomocí kterého dokážou správně naměřit i hodnoty zemních odporů přesahující 100 Ω .

8 Závěr

Cílem teoretické části této práce bylo popsat typy zemničů, zjistit, jakým způsobem se měří zemní odpor, a které přístroje se pro účely měření používají. Tyto znalosti jsem následně využil v praxi, kdy jsem si nejprve zanalyzoval poskytnutá data a následně provedl jedno kratší demonstrativní a dvě z dat vycházející měření. Kromě zhodnocení výsledků těchto měření jsou v práci vysvětleny i postupy kontroly zemních odporů, které by technici měli bezvýhradně dodržovat, aby plnili české technické normy, podnikové normy energetiky a interní pravidla společnosti E.ON Distribuce, a.s., V závěru jsou zmíněné mnou doporučené modely měřičů, které by měly být vyhovovat jak z technického, tak ekonomického hlediska a dle mého názoru představují nejlepší poměr ceny a výkonu.

Během měření jsem společně s technikou našel několik nesrovnalostí buď v systému, nebo v terénu při měření zemničů. Technici například při měření uzemnění kabelové skříně do systému zapisovali nulovou hodnotu, přestože ve skříně žádný zemnič nebyl. Po konzultaci s technikou bylo zjištěno, že musí pole "Naměřená hodnota" vyplnit, jinak by systém neuznal měření v rámci řádu preventivní údržby za splněné. Tento problém byl předán IT oddělení a následně vyřešen. Seznam nalezených kabelových skříní, kde nešlo z určitých důvodů zemní odpor naměřit, byl také předán nadřízeným, kteří se zaručili, že v jednotlivých regionech situaci napraví.

Při měření bylo naopak také nalezeno několik lokalit, kde hodnoty zemních odporů mnohonásobně přesahovaly povolené limity. Pokud by technici při příštím měření, které probíhá jednou za 4 roky, zjistili opět vysoké hodnoty uzemnění, doporučil bych jim nejprve změřit modernějším zařízením rezistivitu půdy, vyhledat maximální dovolené hodnoty zemního odporu v závislosti na dříve naměřených hodnotách kapacitního proudu, typu zemniče a dotykového napětí, a v případě nesouladu tuto skutečnost neprodleně nahlásit nadřízenému. V zájmu společnosti E.ON Distribuce, a.s., je v těchto místech případně posílit uzemnění přidáním kvalitního zemničího pásku, kabelu nebo tyče o větším průměru a délce. Tento postup byl zvolen v jednom případě, kdy jsme poblíž Hluboké nad Vltavou naměřili s technikem hodnotu přesahující 100 Ω a původní naměřená hodnota byla dokonce 820 Ω . Zde došlo k přidání kvalitnějšího pozinkovaného ocelového zemničího pásku a při příštím měření během následujícího roku 2021 by snad uzemnění mělo vycházet v povolených mezích.

Během měření podpěrných bodů jsme společně s technikem narazili i na tři případy, kdy byl buď na poli vyoraný zemničí pásek, odpadlý zrezlý zemničí pásek, nebo velmi zrezlý zemničí kabel. Všechny tři situace byly nafoceny a ihned předány nadřízenému. Ve všech třech

případech došlo k okamžité nápravě a podpěrné body tak v současné době opět disponují kvalitními zemniči.

Po otestování několika měřicích zařízení jsem se rozhodl doporučit pro účely měření zemních odporů v distribuční soustavě měřicí přístroj KEW 4105A od firmy Kyoritsu. Naměřené hodnoty tímto zařízením sice vykazovaly největší odchylku, avšak nikdy se nejednalo o hodnotu vyšší, než 10 %. V případě, že hodnoty nevychází v povolených mezích, doporučuji technikům posunout několikrát pomocnou napěťovou elektrodu a najít tak optimální zprůměrovanou hodnotu. Měření tímto přístrojem probíhá rychle, je lehké, snadno skladovatelné a uživatelsky příjemné. Jednoznačnou výhodou, proč toto zařízení do budoucna využívat, je jeho cena (cca 6000 Kč). Tento model stojí v porovnání s ostatními měřiči několikrát méně a zároveň je jeho výhodou, že v 65 % revizi byl tento typ přístroje použit. Malou nevýhodou je, že je toto zařízení jednoúčelové. To znamená, že bude-li technik chtít zjistit rezistivitu půdy, musí využít jiný model. Pro tyto účely bych doporučil model PU 293 od firmy Metra Blansko, který se při našich měřeních velmi osvědčil. Tento model je v porovnání s konkurencí opět levnější (cca 16 000 Kč) a oproti KEW 4105A můžeme měřit uzemnění třívodičovou i čtyřvodičovou metodou, rezistivitu půdy nebo impedanci ochranné smyčky. Tento model bych technikům doporučil pouze v případě, že již nedisponují přístrojem s podobnými funkcemi. Jedná se o zařízení od firmy Chauvin Arnoux nebo Metrel.

Pro kontrolu zemních odporů bych naopak nepoužíval přístroje od firmy ILLKO (ZEROTESTpro, ZEROTEST 46N) a KEW 4118A od firmy Kyoritsu. Tyto modely slouží primárně pro měření impedance ochranné smyčky, a přestože podle normy je výsledná impedance většinou aproximací zemního odporu, výsledky mohou být značně zkreslené a nepřesné. Vzhledem k tomu, že probíhá měření v rámci řádu preventivní údržby pouze na podpěrných bodech, kabelových skříních a distribučních trafostanicích, bych nedoporučoval ani použití klešťových přístrojů. Nejvíce technici měřili s KEW 4200 od firmy Kyoritsu a s modely C.A 6411, C.A 6412, C.A 6415 od Chauvin Arnoux. Ne všude lze provléct oko klešťového měřiče okolo zemnicího pásku nebo kabelu a tudíž by stejně bylo nutné mít v danou chvíli k dispozici měřič se zemnicími sondami. Klešťové měřiče bych tedy využil spíše v městské zástavbě, kde nelze pomocné sondy upevnit do země nebo při měření uzemnění hromosvodů, které však není náplní této práce.

Doufám, že bude společnost do budoucna z této práce čerpat a případně mé poznatky využije i nadále při nápravě uzemňovací soustavy. Zároveň předpokládám, že technici budou poučení, jak hodnoty správně nejen naměřit, ale i zadávat do systému. Na práci by dále šlo navázat měření v ostatních oblastech a regionálních správách společnosti. Měření probíhá v rámci řádu preventivní údržby jednou za 4 roky, tudíž se mohou problémy se zemniči nebo hodnotami

zemního odporu objevovat stále dokola. Důležité je proto problematické oblasti a hodnoty ihned hlásit nadřízeným a pokusit se je napravit co nejdříve.

Obsah práce splňuje všechny body zadání. Navíc přidává několik nových poznatků a nápravu nesrovnalostí, které byly při měření objeveny. Vypracování této diplomové práce mi přineslo řadu nových znalostí a zkušeností v oblasti uzemnění na hladině VN a NN v distribuční soustavě. Během práce jsem měl možnost se seznámit s několika lidmi, kteří mi velmi pomohli a předali mi řadu nových informací. Při spolupráci s techniky jsem zjistil, jakým způsobem se provádí měření zemních odporů, a jak probíhá vyplňování revizní zprávy. Díky spolupráci se společností E.ON Distribuce, a.s., jsem navíc mohl využít jejich interní systémy a programy, ve kterých jsem se zdokonalil a dokázal nalézt všechny potřebné informace k dokončení této práce. Nové znalosti s prací v interních programech bych navíc mohl následně využít v praxi, jelikož se plánuji ve společnosti E.ON Distribuce, a.s., po dokončení magisterského studia ucházet o práci.

Literatura

- [1] Ing. Martin GALETKA, Ph.D. *Vznik a vývoj přenosové soustavy elektrické energie*. [online]. 4.1.2016 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13645-vznik-a-vyvoj-prenosove-soustavy-elektricke-energie>
- [2] LHOTÁK, Jiří. *Návrh zemního systému pro nízké napětí*. Plzeň, 2014. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická
- [3] Jan MORAVEC. *Druhy rozvodných sítí*. [online]. 9.3.2015 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/rozvodne-site-tn-it-tt>
- [4] THOMSON, Elihu.: *Safety Device for Electrical Circuits*. US Patent No. 327,039, 1885. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: https://www.google.cz/url?url=http://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US327039.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=5mcUVeXyCNDvaKuugrgC&ved=0CBQQFjAA&usg=AFQjCNEq_Byk5gv21MVfgjHRfz8t0W2dWA
- [5] OSOLSOBĚ, Jan a ZAPLETAL, Mirko. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964.
- [6] KAVULÁK, Josef: *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové. Fakulta přírodovědecká
- [7] NOVOTNÝ, Václav. *Uzemnění a jeho měření*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1973. Praktické elektrotechnické příručky. ISBN 04-502-73
- [8] KOČVARA, Antonín. *Uzemňování elektrických zařízení*. Praha: IN-EL, 1995. Knižnice Elektro.
- [9] MARKIEWICZ, Henryk a KLAJN, Antoni. *Uzemnění & EMC - Uzemňovací systémy*. Wrocław: Wrocław University of Technology, 2005. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16975436-Kvalita-elektricke-energie-pruvodce.html>
- [10] MACHÁČEK, Cyril. *Uzemnění a jeho kontrola*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958. Elektrotechnická minima.
- [11] Kolektiv autorů: *Revize elektrických zařízení a hromosvodů*. Státní nakladatelství technické literatury, 1968
- [12] METRA BLANSKO, s.r.o. *METRA PU 431 - návod k obsluze*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.metra.cz/wp-content/uploads/2018/09/navody-pu431.pdf>

- [13] Chauvin Arnoux. *Historie společnosti Chauvin Arnoux*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.chauvin-arnoux.com/en/historique>
- [14] Chauvin Arnoux. *C.A 6415 - katalogový list*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: http://www.livingston-products.com/products/pdf/102332_1_en.pdf
- [15] Chauvin Arnoux. *C.A 6460 - katalogový list*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.ghvtrading.cz/merici-pristroje/revize/zemni-odpor/ca6460.html>
- [16] Kyoritsu Electrical Instruments Works, Ltd. *KEW 4105A - informace o zařízení*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.kew-ltd.co.jp/en/products/detail/01155/>
- [17] Kyoritsu Electrical Instruments Works, Ltd. *KEW 4118A - informace o zařízení*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.kew-ltd.co.jp/en/products/detail/00083/>
- [18] Kyoritsu Electrical Instruments Works, Ltd. *KEW 4200 - informace o zařízení*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.kew-ltd.co.jp/en/products/detail/00979/>
- [19] METRA BLANSKO, s.r.o. *Historie společnosti Metra Blansko*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.metra.cz/o-nas/>
- [20] METRA BLANSKO, s.r.o. *Metra PU 183 - katalogový list*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: https://www.revizeshop.cz/fotky29448/fotov/_ps_82_ps_132PU183.pdf
- [21] METRA BLANSKO, s.r.o. *Metra PU 186 - návod k obsluze*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: https://www.revizeshop.cz/fotky29448/fotov/_ps_101Pristroje_pro_revize_a_telekomunikace-NPU186-web.pdf
- [22] METREL d.d. *Metrel MI 2124 - katalogový list*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: https://www.revizeshop.cz/fotky29448/fotov/_ps_86_ps_153technicky-list.pdf
- [23] ILLKO, s.r.o. *IL 1720 - ZEROTESTpro - návod k obsluze*. [online, cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.illko.cz/images/dokumenty/navod-zerotest-pro.pdf>

Seznam norem

[N1] ČSN 33 2000-6, ED. 2 – *Elektrické instalace nízkého napětí – Revize*. 2017

[N2] ČSN 33 2000-5-54, ED. 3 - *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče*. 2012

[N3] PNE 33 000-1 - *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribuční soustavě dodavatele elektřiny*, 1998

[N4] ČSN 33 2000-4-41, ED. 3 - *Elektrické instalace nízkého napětí – Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. 2018

[N5] ČSN 33 3070: *Kompenzace kapacitních zemních proudů v sítích vysokého napětí*. ÚNM, Praha 1982

[N6] ČSN EN 50522 - *Uzemňování elektrických instalací AC nad 1 kV*, 2012

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Propojená soustava vedení v Československu v roce 1954.....	3
Obr. 1.2: Schéma elektrizační soustavy.....	4
Obr. 1.3: Mapa přenosové soustavy v České republice.....	6
Obr. 1.4: Rozdělení míst působnosti distributorů v České republice.....	7
Obr. 1.5: Schéma sítě IT s uzemněním přes velkou impedanci.....	9
Obr. 1.6: Schéma sítě TT.....	10
Obr. 1.7: Schéma sítě TN-C.....	11
Obr. 1.8: Schéma sítě TN-S.....	12
Obr. 1.9: Schéma sítě TN-C-S.....	13
Obr. 2.1: Rozptýlení proudového náboje v zemi.....	16
Obr. 2.2: Směr průchodu proudu od jedné zemnicí elektrody k druhé.....	17
Obr. 2.3: Zemní elektroda.....	18
Obr. 2.4: Závislost zemního odporu na poloměru zemnicí elektrody při určité vzdálenosti od elektrody.....	19
Obr. 2.5: Znázornění dotykového a krokového napětí v závislosti na potenciálu země.....	23
Obr. 3.1: Typy zemniců z hlediska uložení do půdy.....	26
Obr. 3.2: Příklady konstrukčních typů zemniců.....	26
Obr. 3.3: Vliv délky pásků na zemní odpor.....	28
Obr. 3.4: Vliv délky a odporu hloubkových zemniců na zemním odporu.....	30
Obr. 3.5: Paralelní uložení čtyř tyčových zemniců vertikálně do půdy.....	32
Obr. 3.6: Rozložení potenciálu na povrchu nad horizontálním zemnicem.....	34
Obr. 3.7: Rozložení potenciálu na povrchu nad vertikálním zemnicem.....	35
Obr. 4.1: Umístění zemních elektrod při měření zemního odporu stožárů.....	40
Obr. 4.2: Příklady pomocných zemniců.....	40
Obr. 4.3: Měření dvěma pomocnými proudovými sondami.....	41
Obr. 4.4: Měření zemního odporu proudovou a napět'ovou sondou.....	43
Obr. 4.5: Měření zemního odporu ampérmetrem a wattmetrem.....	44
Obr. 5.1: Schéma Wheatstonovo můstku pro měření zemního odporu R_x	46
Obr. 5.2: Princip Wennerovy metody pro měření měrného odporu půdy.....	49
Obr. 5.3: Graf podílu přístrojů na měření uzemnění ve společnosti E.ON Distribuce, a.s.....	51
Obr. 5.4: Klešťový měřič C.A 6415.....	53
Obr. 5.5: Digitální měřicí přístroj C.A 6460.....	54
Obr. 5.6: Digitální měřicí přístroj Kyoritsu KEW 4105A.....	55
Obr. 5.7: Digitální měřicí přístroj Kyoritsu KEW 4118A.....	56

Obr. 5.8: Klešťový měřicí přístroj Kyuritsu KEW 4200.....	57
Obr. 5.9: Měřicí přístroj Metra PU 183.1.....	59
Obr. 5.10: Měřicí přístroj Metra PU 186.....	60
Obr. 5.11: Digitální měřicí přístroj Metrel MI 2124.....	61
Obr. 5.12: Digitální měřicí přístroj IL 1720 - ZEROTESTpro.....	62
Obr. 6.1: Počty revizí v jednotlivých regionech společnosti E.ON Distribuce, a.s. za období 2016 - 2019.....	64
Obr. 6.2: Graf počtu revizí v jednotlivých regionech s výslednou nulovou hodnotou v systému.....	65
Obr. 6.3: Graf počtu revizí v jednotlivých regionech s hodnotou zemního odporu přesahující 15 Ω	66
Obr. 6.4: Lokalita prvního měření.....	68
Obr. 6.5: Mapa se zaznačenými měřenými lokalitami v oblasti severovýchodně od Českých Budějovic.....	71
Obr. 6.6: Mapa se zaznačenými měřenými lokalitami v oblasti jihovýchodně od Českých Budějovic.....	74
Obr. 6.7: Závislost koeficientu K na ročním období a míře sucha.....	77

Seznam tabulek

Tab. 1.1: První větší postavené elektrárny v Česku.....	3
Tab. 1.2: Délky vedení v závislosti na hladině napětí v přenosové soustavě v ČR.....	5
Tab. 1.3: Délky vedení jednotlivých společností v distribuční soustavě na hladinách vn a nn v roce 2018.....	7
Tab. 4.1: Přesnost měření odporu v závislosti na vzdálenosti pomocné proudové elektrody.....	38
Tab. 5.1: Počet revizí zemních odporů jednotlivými přístroji ve společnosti E.ON Distribuce, a.s.....	51
Tab. 6.1: Jednotlivé součinitele pro různý tvar zemniče.....	67
Tab. 6.2: Výsledky prvního měření s techniky 7. 5. 2020.....	69
Tab. 7.1: Výsledné naměřené hodnoty zemních odporů během druhého měření s techniky 21. 5. 2020.....	80
Tab. 7.2: Výsledné naměřené hodnoty zemních odporů během třetího měření s techniky 3. 6. 2020.....	82
Tab. 7.3: Zjišťování přítomnosti zemniče v kabelových skříních.....	83
Tab. 7.4: Aktuální ceny současně používaných měřicích přístrojů uzemnění.....	84
Tab. 7.5: Výběr nabízených klešťových měřičů na trhu s cenami (07/2020).....	85
Tab. 7.6: Výběr nabízených měřičů se zemními sondami na trhu s cenami (07/2020).....	87