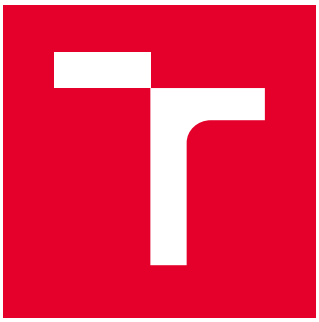


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

PROBLEMATIKA MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ ZEMNÍHO ODPORU

PROBLEMS OF MEASUREMENT AND EVALUATION OF EARTH RESISTANCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Petr Šindelář
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. František Veselka, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2019

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**
Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Petr Šindelář ***ID:*** 195637
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 018/19
NÁZEV TÉMATU:

PROBLEMATIKA MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ ZENÍHO ODPORU

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se základní normou pro provádění revizí u elektrických zařízení.
2. Definujte pojem „zemní odpor“ a jeho význam při zajišťování bezpečnosti elektrického zařízení.
3. Určete vliv přesnosti měření zemního odporu na činnost ochranných a jistících prvků a komentujte získané poznatky.
4. Změřte velikost zemního odporu s využitím různých měřicích přístrojů pro měření zemního odporu.
5. Vyhodnoťte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ČSN 33 1500, Elektrotechnické předpisy – Revize elektrických zařízení

[2] Veselka, F., Huzlík, R.: Inspekční a revizní činnost. Akademické nakladatelství CERM,s.r.o. Brno, Brno 2007,ISBN 978-80-7204-568-6

[3] Honys, V.: Bezpečná Elektrotechnika. IN – EL Praha, 1998

[4] Veselka, F., Huzlík, R.: Inspekční a revizní činnost, Laboratorní a numerická cvičení. Akademické nakladatelství CERM,s.r.o. Brno, Brno 2007, ISBN 978-80-7204-567-9

Termín zadání: 4.2.2019 ***Termín odevzdání:*** 22.5.2019

Vedoucí práce: doc. Ing. František Veselka, CSc.
Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato práce se zabývá měřením zemního odporu, definicí, látkami způsobující vodivost země, základními normami pro provádění revizí uzemnění a vliv zemního odporu na jistící a ochranné přístroje.

V úvodu této práce je proveden teoretický rozbor problematiky uzemnění a zásady pro měření parametrů důležitých z hlediska ochrany osob a zvířat před úrazem při dotyku neživých částí, ochrany zařízení před účinky velkých proudů a přepětí a zároveň správnou funkčnost připojených elektrických zařízení. Dále jsou blíže popsány metody měření uzemnění a měrného odporu půdy. Praktická část práce shrnuje výsledky měření z jednotlivých lokalit s pomocí různých měřicích přístrojů.

Klíčová slova

Zemní odpor, rezistivita, uzemňovací soustava, systém ochrany před bleskem, uzemňovací systém, mřížová síť, zemní potenciál, dotykové napětí, krokové napětí.

Abstract

This work deals with the measurement of earth resistance, definition, substances causing earth conductivity, basic norms for carrying out grounding revisions and effect of earth resistance on securing and protection element.

In the introduction there is theoretical analyzing of grounding issue and principles for the measurement of parameters, which are important for the protection of persons and animals in order not to touch exposed conductive part accidentally, protection of equipment against high fault current and dangerous surges while the correct function of the connected electrical equipment. In the next part there are described methods of earth resistance and soil resistivity measuring. The practical part of the work summarizes the results of practical measurements in individual places with different measuring device.

Keywords

Earth resistance, resistance, grounding system, lightning protection system, earthing system, grid network, Earth potential, touch voltage, step voltage.

Bibliografická citace:

ŠINDELÁŘ, Petr. *Problematika měření a vyhodnocování zemního odporu* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119639. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce František Veselka.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Problematika měření a vyhodnocování zemního odporu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **22. května 2019** ……

podpis autora

Poděkování

Zvláštní poděkování patří mému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Františku Veselkovi, CSc. za účinnou pomoc a podporu při zpracování mé bakalářské práce a za čas věnovaný při konzultaci této práce.
Dále bych chtěl poděkovat všem lidem, kteří mi během zpracování bakalářské práce poradili, nebo poskytli měřící přístroje a zařízení k tomu potřebná.

V Brně dne: 22. května 2019 ……

podpis autora

OBSAH

1 ÚVOD **10**

2 ZÁKLADNÍ NORMY PRO MONTÁŽ A REVIZI LPS **11**

2.1 ČSN EN 62305-3 ED.2 ..... **11**

2.1.1 REVIZE LPS 12

2.2 ČSN 33 2000-5-54 ED.3 ..... **13**

3 SYSTÉM OCHRANY PŘED BLESKEM **14**

3.1 VNĚJŠÍ SYSTÉM OCHRANY PŘED BLESKEM **15**

3.1.1 NÁHODNÉ SOUČÁSTI Z VODIVÝCH MATERIÁLŮ (LPS) 16

3.1.2 OCHRANA PROTI KOROZI 18

3.2 VNITŘNÍ SYSTÉM OCHRANY PŘED BLESKEM (LPS) **18**

4 NÁVRH A PROVEDENÍ UZEMNĚNÍ **20**

4.1 USPOŘÁDÁNÍ TYPU A **23**

4.2 USPOŘÁDÁNÍ TYPU B **24**

4.3 ZÁKLADOVÝ ZEMNIČ **25**

4.4 NÁHODNÝ ZEMNIČ **26**

5 ZEMNÍ ODPOR **27**

5.1 MĚRNÝ ODPOR (REZISTIVITA) PŮDY **28**

5.1.1 MĚŘENÍ REZISTIVITY PŮDY 30

5.1.2 VYHODNOCENÍ REZISTIVITY ZEMNIČŮ 31

5.2 MĚŘENÍ ZEMNÍHO ODPORU **34**

5.2.1 MĚŘENÍ VŮČI ZNÁMÉMU VODIČI 35

5.2.2 METODA POMOCNÝCH ELEKTROD 36

5.2.3 METODA PROUDU – NAPĚTÍ 38

5.2.4 METODA MĚŘÍCÍCH KLEŠTÍ 39

5.3 ELEKTRICKÉ POLE OKOLO ZEMNIČE **40**

5.4 DOTYKOVÁ A KROKOVÁ NAPĚTÍ **42**

6 VLIV ZEMNÍHO ODPORU NA ČINNOST OCHRANNÝCH A JISTÍCÍCH PRVKŮ **44**

6.1 TAVNÁ POJISTKA **44**

6.2 JISTIČ **45**

6.3 PROUDOVÝ CHRÁNIČ **46**

6.4 OCHRANA DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ **47**

7 MĚŘENÍ ZEMNÍHO ODPORU UZEMNĚNÍ **48**

7.1 MĚŘENÍ ZEMNÍHO ODPORU TERROMETREM **48**

7.2 MĚŘENÍ ZEMNÍHO ODPORU UNI-T UT-521 DIGITAL EARTH TESTER **51**

7.3 MĚŘENÍ ZEMNÍHO ODPORU MĚŘÍCÍMI KLEŠTĚMI UNI-T UT275 ..... **55**

8 ZÁVĚR **56**

Seznam obrázků

Obr. 4-1 Minimální délka l_1 každého zemniče podle třídy LPS [18].....24

Obr. 5-1 Křivky, podle nichž se eliminuje vliv počasí a ročního období na naměřený odpor uzemnění [Wettsteinovy křivky (ČSN 33 2000-5-54)] [2].....29

Obr. 5-2 Wennerova metoda [1].....30

Obr. 5-3 Změny rezistivity půdy v průběhu roku (vztaženo k maximální rezistivitě) křivka a – znázorňuje průběh po delším suchu, křivka b – průběh po deštivém období [20].....32

Obr. 5-4 Dvouvodičové měření odporu zemniče součtovou metodou [8].....35

Obr. 5-5 Metoda pomocných elektrod – možné způsoby připojení přístroje k měřenému uzemnění [1].....36

Obr. 5-6 Rozmístění elektrod do rovnostranného trojúhelníka [15].....38

Obr. 5-7 korekční graf [12].....38

Obr. 5-8 Měření dvěma kleštěmi [16].....39

Obr. 5-9 Měření dvěma měřícími kleštěmi s pomocnou soustavou [16].....40

Obr. 5-10 Selektivní měření odporu zemniče proudovými kleštěmi [8].....40

Obr. 5-21 Měření potenciálu zemniče [17].....41

Obr. 5-32 Měření zemního odporu s pomocným zemničem [17].....42

Obr. 5-43 Potenciálové pole v okolí zemniče [14.].....42

Obr. 6-1 Řez jističem s popisem jednotlivých částí [9].....45

Obr. 6-2Proudový chránič a jeho principiální schéma se součtovým rozdílovým transformátorem [9].....47

Obr. 7-1Uzemnění vědeckotechnologického parku profesora Lista. 48

Obr. 7-2 měřící přístroj TERROMET.....49

Obr. 7-3 Způsob zapojení měřícího přístroje TERROMETR.....50

Obr. 7-4 měřící přístroj UNI-T UT-521.....52

Obr. 7-5 Způsob zapojení měřícího přístroje UNI-T UT-521 Digital Earth Tester.....52

Obr. 7-6 zemniči č.1 rodinného domku.....54

Obr. 7-7 Měřící kleště UNI-T UT275.....55

Seznam tabulek

Tab. 2-1 Maximální interval mezi revizemi LPS [19]. *12*
Tab. 3-1 Vztah mezi hladinou ochrany (LPL) a třídou LPS (viz EN 62305-1) [19]. *14*
Tab. 4-1 Materiál, tvary a minimální rozměry zemničů [a, e] [19]. *21*
Tab. 4-2 Zemní odpor jednotlivých zemničů [22]. *23*
Tab. 5-1 Hodnoty rezistivity půdy [20]. *28*
Tab. 5-2 konfigurační konstanta k [23] *30*
Tab. 5-3 Střední hodnoty rezistivity běžných druhů půd [20]. *31*
Tab. 5-4 Odpor zemničů v různých druzích zemin [2] *33*
Tab. 7-1 Naměřené hodnoty zemního odporu zemniče s pomocí TERROMETRU *51*
Tab. 7-2 Naměřené hodnoty na zemniči č.1 ..... *54*
Tab. 7-3 Porovnání naměřených hodnot pro rodinný dům měřený dvěma různými přístroji *55*

1 ÚVOD

Veškerá dnešní elektroinstalace vyžaduje pro svůj bezpečný chod uzemnění s velmi nízkou hodnotou zemního odporu pro svedení nebezpečných proudů. Uzemnění nazýváme jako vodivé spojení určitého místa se zemí a jeho provedení je velice důležité k zajištění správné činnosti elektrických zařízení, ochraně před atmosférickým výbojem, ochraně před přepětím, ochraně před nebezpečným dotykem.

Ochrana před atmosférickým výbojem je provedena za pomocí hromosvodu, který svede nebezpečné atmosférické výboje do země, kde jej rozptýlí do jednotlivých povrchových vrstev země.

Ochrana před nepřímým dotykem osob, ochrana zařízení před údery bleskem a ochrana před přepětím, je provedena vyrovnáním potenciálů v domě za pomoci vnitřního pospojování uzemněných částí zařízení.

S rozvojem v oboru elektrotechniky, jsou kladeny čím dál větší nároky na bezpečnější elektroinstalaci a s tím souvisí a vetší nároky na správné provedení uzemnění a LPS. Aby byly tyto nebezpečné proudy co nejlépe svedeny do země, je zapotřebí řídit se podle stanovených norem, které tuto problematiku popisují a s postupným rozvojem v elektrotechnice se i rozšiřují o další bezpečnostní předpisy.

2 ZÁKLADNÍ NORMY PRO MONTÁŽ A REVIZI LPS

Správná instalace uzemnění se řídí mnoha pravidly, která nejsou sepsána v jedné normě či literatuře. Pro pochopení celé této problematiky je zapotřebí pročíst si několik zdrojů věnujícím se to problematice a poté podle následujících norem postupovat při jejich instalaci. Z norem, které se této problematice věnují, podle nichž se musí revizní a montážní technik řídit, jsou nejdůležitější normy:

- ČSN EN 62305-1 ed.2: Ochrana před bleskem - Část 1: Obecné principy;
- ČSN EN 62305-2 ed.2: Ochrana před bleskem - Část 2: Řízení rizika;
- ČSN EN 62305-3 ed.2: Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života;
- ČSN 33 2000-5-54 ed.3: Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče.

2.1 ČSN EN 62305-3 ed.2

Norma stanovuje požadavky na ochranu staveb před hmotnými škodami za pomoci systémů ochran před úderem blesku a ochranu živých bytostí před krokovým a dotykovým napětím v blízkosti LPS.

Dále jsou zde uvedeny tabulky minimálních rozměrů zemničů a materiálů používaných z hlediska koroze a mechanické pevnosti. Požadavky na uzemňovací přívody, hlavní ochranou svorku, nebo přípojnici na ochranné vodiče, vodiče PEN, ochranné pospojování, způsob výpočtu rezistivity strojených zemničů, provedení základových zemničů [1].

Norma platí pro [6]:

a) projektování, instalaci, revizi a údržbu LPS pro stavby bez omezení s ohledem na jejich výšku;
b) dosažení ochranných opatření před úrazem živých bytostí dotykovým a krokovým napětím.

2.1.1 Revize LPS

Revize zahrnuje kontrolu technické dokumentace, vizuální kontrolu, měření a zápis v revizní zprávě.

Účelem revizí je zjistit, zda:

- LPS v každém ohledu odpovídá projektu podle této normy;
- všechny součásti LPS jsou v dobrém technickém stavu a mohou plnit navrhované funkce a nejsou zkorodovány;
- všechny nově přidané inženýrské sítě nebo konstrukce jsou začleněny do LPS.

Revize by měly být prováděny tímto způsobem:

- po instalaci LPS;
- pravidelně, v intervalech stanovených podle tabulky 1;
- po změnách nebo opravách, nebo je-li známo, že do stavby udeřil blesk.

V případě pravidelných kontrol a revizí norma stanovuje, jak často mají být prováděné revize částí LPS podle tabulky 2-1.

Tab. 2-1 Maximální interval mezi revizemi LPS [19].

Hladina ochrany	Vizuální kontrola rok	Úplná revize rok	Kritické systémy [a b] úplná revize rok
I a II	1	2	1
III a IV	2	4	1

[a] Systém ochrany před bleskem v aplikacích zahrnujících stavby s rizikem způsobovaným výbušnými materiály by měl být vizuálně kontrolován každých 6 měsíců. Elektrická měření instalace by měla být provedena jednou za rok. Přípustnou odchylkou od roční lhůty zkoušek by mohlo být provádění zkoušek ve lhůtách 14 až 15 měsíců tam, kde je účelné provádět měření zemního odporu v různých obdobích roku, aby se získaly údaje o sezonních změnách.

[b] Kritické systémy mohou zahrnovat stavby obsahující citlivé vnitřní systémy, kancelářské budovy, obchodní budovy nebo místa, kde může být přítomno velké množství lidí

V případě extrémních podmínek je doporučeno provádět revize častěji, než 1x ročně jak je uvedeno v tab. 2-1. Pokud je LPS součástí plánované údržby zákazníka, nebo se jedná o požadavek se strany pojišťovny musí být celková revize prováděna jednou ročně [1].

Během pravidelných revizí je obzvlášť důležité kontrolovat následující:

- zhoršení a korozi součástí jímací soustavy, vodičů a spojů;
- korozi zemničů;
- hodnotu zemního odporu uzemňovací soustavy;
- stav spojů, ekvipotenciálního pospojování a uchycení.

Pro revize jsou vyžadováni pracovníci, kteří:

- mají technické znalosti a po stránce teoretické i praktické rozumějí požadavkům na instalace v nebezpečných prostorech i požadavkům na zařízení LPS a jejich instalace;
- rozumějí požadavkům na prohlídky a kompletní revize, pokud se vztahují k namontovaným zařízením a instalacím LPS.

2.2 ČSN 33 2000-5-54 ed.3

Tato norma je dle [7] určena pro zřizování uzemnění a pro ochranné vodiče včetně vodičů ochranného pospojování tak, aby elektrická instalace byla bezpečná. Norma je zaměřená pro provedení uzemnění a pospojování v objektech a prostorech s elektrickou instalací.

Dále jsou zde uvedeny:

- vzorce pro výpočet zemního odporu strojených zemničů (příloha NB);
- proudová zatížitelnost, která nám definuje hodnoty dovolené proudové hustoty vztažené na plochu zemniče uloženého v půdě a dovolenou hustotu proudu vycházejícího z betonového zákrytu základového zemniče (tabulky NA.1 a NA.2);
- minimální rozměry běžných zemničů uložených v půdě nebo betonu uplatňované z hlediska předcházení korozi a k zajištění mechanické pevnosti;
- minimální průřezy ochranných vodičů;
- součinitel závisející na materiálu ochranného vodiče, jeho impedanci a na jeho ostatních částech, na jeho počátečních a konečných teplotách (viz příloha A v normě ČSN EN 62305-3 ed.2).

3 SYSTÉM OCHRANY PŘED BLESKEM

Jedná se o systém, který slouží ke snížení škod způsobených úderem blesku a jeho povinností je zachytit bleskový výboj a svézt ho do země, kde dojde k jeho rovnoměrnému rozložení.

Při atmosférickém výboji si elektrický proud začne hledat místo nejmenšího odporu. V ideálním případě je tímto místem jímač. Jímač je část hromosvodu sloužící jako přijímač bleskového výboje, který je zpravidla umísťován na nejvyšší bod, tak aby odvedl nebezpečný bleskový výboj a ochránil tak jiná zařízení, která by mohla být tímto výbojem zničena. Ve chvíli, kdy dojde k úderu blesku do jímače se proud vyvolaný tímto výbojem dále šíří nejkratší cestou do země. K tomuto vodivému spojení mezi jímačem a zemničem slouží svod. Umístění svodů se realizuje co nejkratší cestou s ohledem na okna, dveře či prostory pro shromažďování osob. V posledním stádiu je elektrický proud svedený do země za pomocí zemniče, který nám zprostředkovává vodivé spojení mezi hromosvodem a půdou.

Všechny tyto části hromosvodu musí být dostatečně odolné proti dynamickým silám a tepelným účinkům vyvolaným vysokým proudem procházejícím hromosvodem.

LPS dělíme do 4 tříd z nichž je každá speciálně určená pro konkrétní typy budov na základě možného nebezpečí výskytu atmosférického výboje a na základě hmotných škod, které mohou na dané budově vzniknout [13].

Třídu LPS určíme podle hladiny ochrany, jak je uvedeno v tabulce 3-1, kde na základě výpočtu rizika (viz EN 62305-2) určíme hladinu ochrany před bleskem.

Tab. 3-1 Vztah mezi hladinou ochrany (LPL) a třídou LPS (viz EN 62305-1) [19].

LPL	Třída LPS
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Podle normy ČSN EN 62305-3 ed.2 je každá třída charakterizována:

a) Daty závislými na třídě LPS:
   - Parametry blesku (viz tabulka 3 a 4 v EN 62305-1:2011);
   - Poloměrem valící se koule, velikostí mřížové soustavy a ochranným úhlem (viz EN 62305-3);
   - Typickými upřednostňovanými vzdálenostmi mezi svody (viz EN ČSN EN 62305-3 ed.2);
   - Oddělovací vzdáleností proti nebezpečnému jiskření (viz ČSN EN 62305-3 ed.2);
   - Minimální délkou zemničů.
b) Daty nezávislými na třídě LPS:
   - Ekvipotenciálním pospojování (vyrovnáním potenciálů);
   - Minimální tloušťka kovového oplechování nebo kovového potrubí v jímací soustavě;
   - Materiály LPS a podmínkami použití;
   - Materiály, uspořádáním a minimálními rozměry jímací soustavy, svodů a uzemňovací soustavy;
   - Minimální rozměry spojovacích vodičů.

LPS dělíme do dvou soustav, které jsou vodivě spojeny systémem vyrovnávání potenciálů:

- Vnější ochrana před bleskem (hromosvod), která je tvořena jímací soustavou, svody a uzemňovací soustavou.
- Vnitřní ochrana před bleskem, která je tvořena ekvipotenciálním pospojováním uvnitř budovy.

3.1 Vnější systém ochrany před bleskem

Vnější LPS je určen k jímání přímých úderů blesku do stavby včetně úderů do boku stavby a svedení bleskového proudu od boku úderu do země a k rozvedení bleskového proudu v zemi bez toho, aby vnikly tepelné a mechanické škody nebo nebezpečná jiskření, která mohou vyvolat požár nebo explozi.

Umístění vnějších vodičů LPS je základem pro návrh LPS a závisí na tvaru chráněné stavby, požadované hladině ochrany a geometrické metodě návrhu. Z návrhu soustavy vyplývá všeobecně návrh soustavy svodů, uzemňovací soustavy a návrh vnitřního LPS [19].

Výzkum ukázal, že pravděpodobnost úderu blesku o nízké amplitudě do svislých stran stavby nižší než 60 metrů je natolik nízká, že tyto údery není třeba uvažovat. Střechy a vodorovné výstupky musí být chráněny podle třídy LPS určené na základě výpočtu rizika v EN 62305-2. U staveb vyšších 60 metrů mohou blesky udeřit i do boku stavby obzvlášť do hrotů, hran a rohů vnějších ploch [19].

Mají-li sousední budovy LPS, měly by tyto LPS být, kde je to možné, připojeny k LPS dané budovy [19].

Při výběru počtu umístění a svodů by měla být brána na zřetel skutečnost, bude-li bleskový proud rozdělen do více svodů, že je sníženo nebezpečí bočních úderů a elektromagnetické pole uvnitř stavby. Z toho vyplývá, že by měly být svody rozmístěny, pokud možno rovnoměrně a symetricky po obvodu stavby. Rozdělení proudů sníží nejen zvýšení počtu svodů, ale také ekvipotenciální vzájemné propojení obvodovými vodiči [19].

Součásti jímací soustavy instalované na střeše musí být umístěny na rozích, exponovaných místech a hranách (především na horních dílech fasád), podle jedné nebo více následných metod. Přípustné metody pro stanovení umístění jímací soustavy jsou tyto [19]:

- metoda ochranného úhlu je vhodná pro jednoduché stavby, nebo pro malé části větších staveb. Tato metoda není vhodná pro stavby vyšší než poloměr valící se koule pro vybranou hladinu ochrany LPS;
- metoda valící se koule je vhodná pro všechny tvary budov;
- metoda mřížové soustavy je vhodná pro všeobecné účely, obzvlášť pro ochranu plochých střech.

Hodnoty pro ochranný úhel, poloměr valící se koule a velikost mřížové soustavy pro každou třídu LPS jsou uvedeny v tabulce 2 a na obrázku 1 v normě ČSN EN 62305-3 ed.2. Podrobnější informace pro uvedené metody lze nalézt v normě ČSN EN 62305-3 ed.2 příloha A.

3.1.1 Náhodné součásti z vodivých materiálů (LPS)

Jako součást LPS mohou být použity náhodné součásti z vodivých materiálů, pokud zůstanou součástí stavby a nebudou změněny (například vzájemná propojená ocelová výztuž, kovové opláštění stavby atd.). Jiné náhodné součásti by měly být považovány jako dodatečné LPS. Podle ČSN EN 62305-3 ed.2 mohou být náhodnými součástmi**:**

a) kovové oplechování chráněné stavby, pokud jsou dodrženy podmínky podle ČSN EN 62305-3 ed.2;
b) kovové součástky střešní konstrukce (nosníky, vzájemně spojené armování atd.) pod nekovovou krytinou, pokud je možno poškození této nekovové krytiny připustit;
c) kovové díly jako jsou ozdoby, zábradlí, rýny, potrubí, krytí parapetů atd., jejichž průřez není menší než průřez stanovený dle norem pro jímací soustavu;
d) kovová potrubí a nádrže na střeše, pokud jsou vyrobena z materiálů, jejichž tloušťka a průřez odpovídá tabulce 6 (viz ČSN EN 62305-3 ed.2);
e) kovová potrubí a nádrže, která obsahují lehce hořlavé nebo výbušné látky, pokud jsou vyrobeny z materiálů, jejichž tloušťka a průřez není menší než hodnota uvedená v tabulce 3 (viz ČSN EN 62305-3 ed.2) a zvýšení teploty na vnitřní straně v místě úderu nezpůsobí žádné nebezpečí.

Velké stavby, jako jsou výškové obytné budovy a administrativní a průmyslové stavby, které jsou často navrhovány z ocelového skeletu, železobetonového skeletu, železobetonu, kovového oplechovaní povrchu fasád, mohou být použity jako náhodné svody, pokud budou spolu vzájemně vodivě spojeny a jejich součásti jsou dobře vodivé a odolné [19].

V případě využití těchto náhodných svodů by celkový elektrický odpor spojitosti vodivých částí armování neměl být větší než 0,2 Ω. Tento odpor elektrického propojení armování se stanovuje elektrickou zkouškou mezi nejhorším dílem a úrovní země a v případě nedosažení této hodnoty nesmí být použito ocelové armování jako náhodný svod. V tomto případě se doporučuje instalovat vnější svody. U staveb z prefabrikátů musí být zajištěno spojení ocelového armování jednotlivých dílů sousedního prefabrikátu. Dále je potřeba aby tyto součásti propojení byly mechanicky a tepelně odolné při průchodu bleskového proudu [19].

Takovéto použití náhodných součástí s ocelovým armováním má mnoho výhod [19]:

- snižuje úbytek napětí mezi jímačem a uzemňovací soustavou;
- snižuje elektromagnetické rušení způsobené bleskovým proudem uvnitř stavby;
- celková impedance LPS pro takové stavby je značně nízká;
- nižší pořizovací náklady v případě využití těchto součástí jako náhodných svodů.

Z těchto výhod plyne účinná ochrana před bleskem pro vnitřní instalace.

Je-li jímací soustava spojena s vodivými částicemi sloupů uvnitř komplexu stavby a ekvipotenciálním pospojováním v úrovni terénu, teče část bleskového proudu vnitřními svody. Magnetická pole této části bleskového proudu ovlivňují okolní zařízení a mají se uvažovat při návrhu vnitřního LPS a elektrických a elektronických instalací [19].

3.1.2 Ochrana proti korozi

Materiál jímacích tyčí a drátů by měl být elektrochemicky shodný s materiálem součástí pro spojení a uchycení a měl by mít dobrou odolnost proti korozi. Různé materiály by se neměly spolu spojovat, pokud však není jiná možnost, musí se tyto spoje chránit [19].

Pokud není provedena ochrana proti korozi, neměli by se měděné části instalovat nad pozinkované, nebo hliníkové části. Důvodem je uvolňování extrémně jemných částic z měděné časti, čímž dochází k silnému koroznímu poškození pokovených částic i v případě, kdy měď a pokovené části nejsou v přímém kontaktu [19].

Hliníkové vodiče by neměly být v přímém kontaktu s vápennými plochami stavby, jako je beton a omítka z vápence a nikdy by neměly být použity v zemi [19].

3.2 Vnitřní systém ochrany před bleskem (LPS)

Vnitřní LPS musí bránit nebezpečným jiskřením uvnitř chráněné stavby, která mohou být způsobena průchodem bleskového proudu nejen ve vnějším LPS, ale také v jiných vodivých částech stavby

Nebezpečnému jiskření mezi rozdílnými částmi může být zabráněno [20]:

- ekvipotenciálním pospojování proti blesku, které musí být provedeno, pokud možno co nejkratší a nejpřímější cestou;
- elektrickou izolací, nebo oddálením.

V každé elektrické instalaci, ve které je použito ochranné pospojování, musí být hlavní ochranná svorka a musí k ní být připojeny vodiče ochranného pospojování, uzemňovací přívody, ochranné vodiče a uzemňovací přívody pracovního uzemnění, pokud to přichází v úvahu [20].

Průřez vodičů ochranného pospojování určených pro připojení k hlavní uzemňovací svorce nesmí být menší, než je polovina průřezu vodiče ochranného uzemnění, jehož průřez je v instalaci největší a nesmí být menší než 6 mm^2 pro měď, 16 mm^2 pro hliník a 50 mm^2 pro ocel [20].

V každé budově musejí být do tzv. ochranného pospojování vzájemně spojeny ochranné vodiče, uzemňovací přívody a níže uvedené vodivé části [21].:

- kovová potrubí uvnitř budovy pro zásobování např. plynem, vodou;
- konstrukční kovové části, pokud jsou při normálních použití použitelné, např. kovové ústřední topení a klimatizace;
- kovová konstrukční výztuž betonu v případech, kdy je tato výztuž přístupná a spolehlivě propojená.

Vzájemné spojení podle ČSN EN 62305-3 ed.2 může být provedeno:

- Vodiči pospojování, není-li dosaženo vodivého spojení náhodnými spoji;
- Přepěťovými ochrannými zařízeními (SPD), kde není možno provést přímé připojení vodičů pospojování;
- Oddělovacími jiskřišti (ISG), jestliže není dovoleno přímé spojení s vodiči pospojování.

Všechny vodiče každého provedení, by měly být pospojovány přímo, nebo přes SPD. Živé vodiče musí být pospojovány přes SPD pouze k přípojnici pospojování. Vodiče PE, nebo PEN v sítích TN musí být pospojovány přímo, nebo přes SPD k přípojnici pospojování [19].

4 NÁVRH A PROVEDENÍ UZEMNĚNÍ

Uzemnění se realizuje zemniči náhodnými, nebo strojenými a zřizuje se pro ochranu před úrazem elektrickým proudem, pro ochranu před bleskem a přepětím a pro správnou funkci elektrických zařízení. Požadavky na provedení uzemnění jsou zaměřeny na zajištění spojení se zemí, které vydrží zemní poruchové proudy a proudy ochranným vodičem k zemi, aniž by to vyvolalo nebezpečí tepelných, mechanických a elektromechanických namáhání. Dále je požadováno, aby bylo spolehlivé a vhodné z hlediska požadavků ochrany instalace a aby vydrželo vnější mechanické namáhání a korozní účinky.

Důležitým kritériem zemniče jsou jeho tvary a rozměry, které se volí tak, aby došlo k rozdělení bleskového proudu do země a aby byla zmenšena nebezpečná přepětí. Všeobecně je doporučen nízký zemní odpor (je-li možno, nižší než 10 Ω-měřený při nízkém kmitočtu). Ačkoliv norma nám pevně stanovuje hraniční hodnotu zemního odporu, tak hodnota odporu by měla být v každém případě co nejnižší, a to zvláště v případech budov s nebezpečnými výbušnými látkami. To samé platí při uplatnění ekvipotenciálního pospojování, kdy se nedoporučuje s touto hraniční hodnotou zemního odporu počítat [19].

Na zemniče a jejich provedení, je kladeno několik základních požadavků [19]:

- Zemniče by měly být v dostatečné vzdálenosti od vstupů a výstupů, kovových potrubí a od vnějších vodivých částí v zemi, jako jsou kabely.
- Hloubka uložení zemničů a typ zemničů musí být zvolen tak, aby byly minimalizovány vlivy koroze, vlhkosti, promrzání půdy, vysušování půdy a aby byl stabilní odpovídající zemní odpor půdy.
- Z hlediska promrzání půdy je doporučeno brát první metr svislého zemniče jako neúčinnou délku.
- Zkušební spojky by měly být umístěny na každém připojení svodu k uzemňovací soustavě, mimo náhodné svody, které jsou spojeny se základovým zemničem. Za normálního provozu musí spojka zůstat spojena, ale pro účely měření musí být možno spojku rozpojit za pomocí nářadí.
- Z hlediska ochrany před bleskem je nutno upřednostnit jednu integrovanou soustavu uzemnění objektu, která je vhodná pro všechny účely (například ochranu před bleskem, silové a telekomunikační systémy).
- Zemnič nesmí být ponořený v proudící vodě, řece, rybníku, jezeře a podobně.

- Průřez uzemňovacích přívodů nesmí být menší než 6 mm^2 pro měď, nebo 50 mm^2 pro ocel. Hliník se jako uzemňovací přívod nesmí používat.

Tab. 4-1 Materiál, tvary a minimální rozměry zemničů [a, e] [19].

Materiály	Tvary	Rozměry		
		Průměr zemnící tyče mm	Zemnící vodiče mm^2	Zemnící deska mm
Měď, pocínovaná měď	Lano		50	
	Tuhý drát	15	50	
	Tuhý pásek		50	
	Trubka	20		
	Tuhá deska			500 x 500
	Mřížovaná deska [c]			600 x 600
V žáru pozinkovaná ocel	Tuhý drát	14	78	
	Trubka	25		
	Tuhý pásek		90	
	Tuhá deska			500 x 500
	Mřížovaná deska [c]			600 x 600
	profil	[d]		
Tyčová ocel [b]	Slaněná		70	
	Tuhý drát		78	
	Tuhý pásek		75	
Mědí pokrytá ocel	Tuhý drát	14	50	
	Tuhý pásek		90	
Nerezová Ocel	Tuhý drát	15	78	
	Tuhý pásek		100	

[a] Mechanické a elektrické charakteristiky stejně jako vlastnosti protikorozní odolnosti musí splňovat požadavky budoucího souboru EN 50164.

[b] Musí být uložená v betonu minimálně v hloubce 50 mm.

[c] Mřížovaná deska provedená o celkové minimální délce vodiče 4,8 m

[d] Připouštějí se různé profily o průřezu 290 mm^2 a o minimální tloušťce 3 mm; např. příčný profil.

[e] V případě uspořádání základového zemniče typu B musí být zemnič řádně propojen s ocelovou výztuží každých 5 m.

Tabulka minimálních rozměrů běžných zemničů uložených v půdě nebo betonu uplatněné z hlediska předcházení korozi a k zajištění mechanické pevnosti je uvedena v normě ČSN EN 62305-3 ed.2.

Zemniče můžou sestávat z částí uložených v zemi provedených z [20]:

- oceli pozinkované v ohni;
- oceli pokryté mědí;
- oceli s elektrolyticky naneseným povlakem mědi;
- nerezové oceli;
- holé mědi.

Spojení mezi kovy rozdílné povahy se nesmí dostat do kontaktu s půdou. Všeobecně platí, že rozdílové kovy a slitiny by se neměly používat. Jestliže tomu nelze zabránit, musí být spojení provedeno exotermickým svářením, tlakovými konektory, svorkami, nebo jinými vhodnými mechanickými spojkami. Při čemž musíme mít na paměti, že jestliže se pro uzemnění používají různé materiály, je třeba uvažovat elektrolytickou korozi. V ČR se nedoporučuje používat měď a to z důvodů, že pokud by nebyla aplikována katodická ochrana, dochází v okruhu měděného zemniče k pozvolnému úbytku kovových částí z méně ušlechtilých materiálů, jakými je běžně pozinkovaná ocel [20].

Zemniče rozdělujeme do dvou uspořádání:

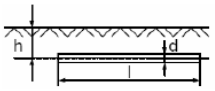
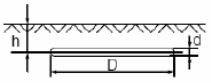
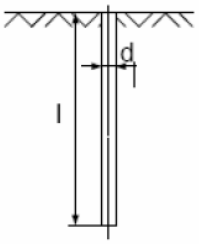
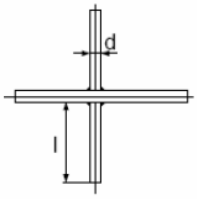
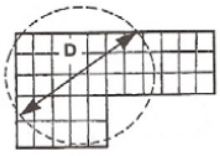
a) Uspořádání typu A.
b) Uspořádání typu B.

Uzemňovací soustava by měla plnit následující požadavky [19]:

- svést bleskový proud do země;
- ekvipotenciální pospojování mezi svody;
- řízení potenciálu v blízkosti vodivých stěn budovy.

Základový zemnič a obvodový zemnič typu B splňují všechny tyto požadavky. Paprskový (páskový) zemnič typu A nebo tyčový zemnič nesplňují tyto požadavky s ohledem na ekvipotenciální pospojování a řízení potenciálu.

Tab. 4-2 Zemní odpor jednotlivých zemničů [22].

Typ zemniče	Uložení	Zemní odpor [Ω] (přesnější vzorec)	Podmínky použití	Zemní odpor [Ω] (přibližný vzorec)	Podmínky použití
Páskový nebo drátový vodič		$R = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \ln\frac{l}{2h}\right)$	$l >> d$ $h << l/4$	$R = 2\frac{\rho}{l}$	$l >> d$ $h << l/4$ $l = 10 \div 50m$
Páskový nebo drátový vodič v kruhu		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D}\left(\ln\frac{8D}{d} + \ln\frac{\pi D}{2h}\right)$	$D >> d$ $h << D/4$	$R = 2{,}1\frac{\rho}{l}$	$D >> d$ $h << 2/d$ $D/h >> 10$
Tyč		$R = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d}$	$l >> d/2$	$R = 0{,}9\frac{\rho}{l}$	$l >> d/2$ $l = 1 \div 3m$
Páskový nebo drátový vodič paprskový		$R = \frac{\rho}{4\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + 1\right)$	$l >> d$	$R = 0{,}7\frac{\rho}{l}$	$l >> d$ $l << 30m$
Mřížová síť Celková délka vodičů l				$R = \frac{\rho}{2 \cdot D}$	

4.1 Uspořádání typu A

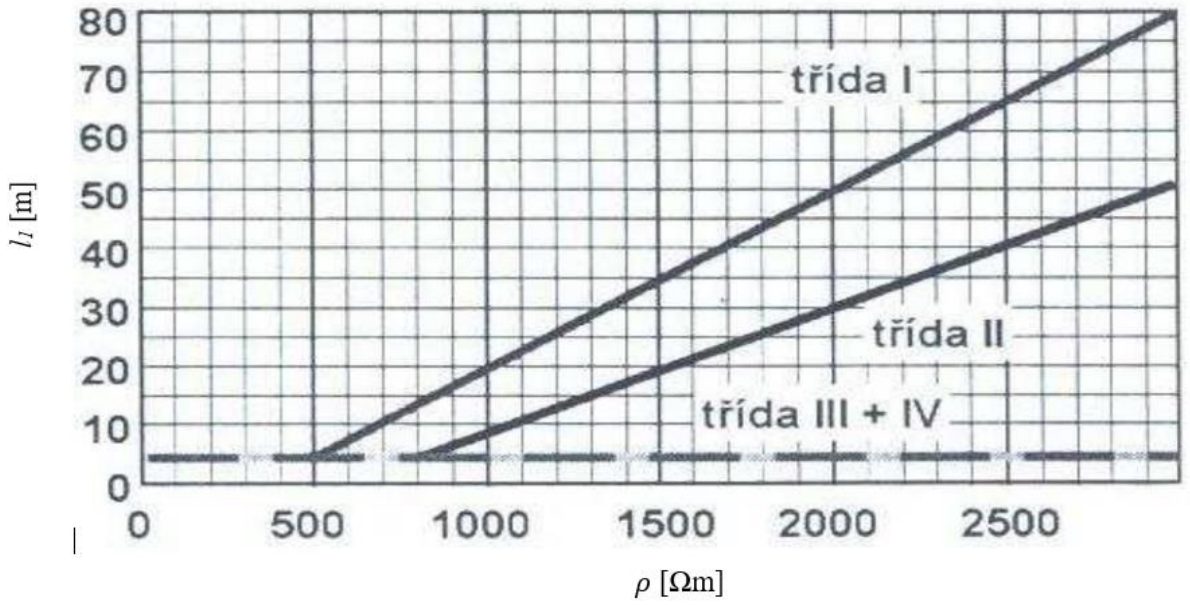
Toto uspořádání se skládá z vodorovných, svislých nebo základových zemničů, instalovaných vně chráněné stavby, které jsou připojeny ke svodům a netvoří uzavřenou smyčku. K tomuto uspořádání by měl připadnout minimálně jeden zemnič na jeden svod a na celý LPS nejméně da zemniče. Uzemňovací soustava typu A je vhodná pro nízké stavby (například pro rodinný dům), stávající stavby nebo LPS s jímacími tyčemi nebo zavěšenými lany nebo izolovanými LPS [19].

Zemniče musí být uloženy v zemi s horním koncem minimálně 0,5 metrů pod povrchem a pokud možno co nejrovnoměrněji rozloženy, aby se v zemi snížily účinky elektrické vazby [19]. Minimální délka každého zemniče u paty svodu je [19]:

- l_1 pro vodorovné zemniče;
- $0{,}5l_1$ pro svislé (nebo šikmé) zemniče.

Kde l_1 je minimální délka zemniče (viz obrázek 3)

Minimální délka dle obrázku 3 nemusí být dodržena, je-li zemní odpor uzemňovací soustavy menší než 10 Ω [19].



Obr. 4-1 Minimální délka l_1 *každého zemniče podle třídy LPS [18].*

Obecně jsou v uspořádání typu A upřednostněny svislé zemniče, aby bylo dosaženo nezávislého zemního odporu v průběhu celého roku. Avšak v případě nevhodné rezistivitě půdy na povrchu je vhodné použít hloubkový zemnič, kde se substráty vyskytují ve větších hloubkách, než ve kterých se nacházejí tyčové zemniče. Hloubkový zemnič má i další výhody v místech s nízkými teplotami, kde v těchto hloubkách nezamrzá půda. Další výhodou je snížení potenciálu na povrchu země v důsledku hlouběji uloženého zemniče, což vede k eliminaci krokového napětí, a tedy ke snížení nebezpečí pro živé tvory na povrchu země [19].

4.2 Uspořádání typu B

Toto uspořádání sestává buď z obvodového zemniče vně chráněného objektu, který je uložen minimálně 80 % své délky v zemině a uložen v hloubce minimálně 0,5 metrů v zemi a

ve vzdálenosti asi 1 m od vnějších zdí objektu, nebo ze základového zemniče tvořícího uzavřenou smyčku. Uzemňovací soustava typu B je upřednostněna pro mřížovou jímací soustavu, pro LPS s více svody a pro skalnaté podloží (volně ložené). Stejně jako uspořádání typu A, tak i zde je doporučeno, aby počet zemničů nebyl menší než počet svodů, minimálně však dva [19].

U obvodového (nebo základového) zemniče nesmí být střední poloměr r_e plochy, která je uzavřena obvodovým (nebo základovým) zemničem, menší než hodnota l_1[19].

$$r_e \geq l_1 \tag{4.1}$$

kde l_1 je zobrazena na obrázku 3 [m].

Je-li požadovaná hodnota l_1 větší než odpovídající hodnota r_e, musí být dodatečně instalován vodorovný nebo svislý (nebo šikmý) zemnič, jehož vlastní délka l_r (vodorovného) a l_v (svislého) vychází z následující rovnice [19]:

$$l_r = l_1 - r_e \tag{4.2}$$

Kde l_r je délka vlastního svislého zemniče [m].

$$l_v = \frac{(l_1 - r_e)}{2} \tag{4.3}$$

Kde l_v je délka vlastního vodorovného zemniče [m].

4.3 Základový zemnič

Základy staveb se všeobecně velkou kontaktní plochu s půdou a vzájemně spojeným ocelovým armováním v betonu lze použít jako základový zemnič, který je výborný pro ekvipotenciální vyrovnání a vykazuje velmi nízký zemní odpor při minimálních nákladech, pokud beton není od půdy izolován použitím zvláštní tepelně zpracované izolace. Beton vykazuje rovnoměrnou rezistivitu (řádově o hodnotě 200 Ωm nebo vyšší) a při dobrém provedení, kdy beton kryje základový zemnič nejméně 50 mm vrstvou betonu je zemnič dostatečně chráněný proti korozi, obvykle po celou dobu života budovy [19].

U rozlehlých staveb a průmyslových objektů je obvykle armovaný základ. Armovací pruty základu, základová deska a vnější zdi v prostoru pod povrchem staveb mají velmi dobrý základový zemnič [19].

Vytvoření základového zemniče v betonu při stavbě domu může představovat hospodárné řešení k získání trvalého dobrého zemniče, protože [19]:

- nevyžaduje dodatečné výkopové práce;
- je proveden v hloubce, která ho chránění vůči negativním vlivům v důsledku sezonních a povětrnostních podmínek;
- zajišťuje dobrý kontakt s půdou;
- rozprostírá se prakticky přes celkový povrch základů budovy a výsledkem toho je minimální impedance zemničů, kterou je možno pomocí této povrchové plochy získat;
- zajišťuje optimální provedení uzemňovací soustavy pro účely systému ochrany před bleskem;
- od počátku výstavby budovy může být použit jako zemnič pro elektrické zařízení stanoviště;
- kromě svého zemnícího účinku je základový zemnič v betonu dobrým základem pro vytvoření hlavního pospojování.

4.4 Náhodný zemnič

Pro uzemnění je obvykle výhodné použít náhodné zemniče. Strojené zemniče se zřizují, jestliže [19].

- náhodné zemniče nelze použít (konstrukce objektu např. potřebné části neobsahuje);
- náhodné zemniče požadavkům příslušných norem nevyhovují;
- zemní odpor náhodných zemničů nevyhovuje;
- použití náhodných zemničů by bylo neekonomické;
- použití náhodných zemničů z důvodu požární ochrany není přípustné, nebo to jiné předpisy nedovolují;
- nelze zajistit, že spojení s náhodným zemničem nebude přerušeno;
- jiné předpisy vyžadují jejich zřízení (např. technické předpisy pro provoz drah odvolávající se na příslušné technické normy).

5 ZEMNÍ ODPOR

Zemní odpor můžeme definovat jako odpor zemniče umístěného v zemi, jehož celkový činný odpor je dán součtem odporů mezi připojovací svorkou zemniče a některým z míst země v okolí zemniče, kde se vliv tohoto zemniče již neuplatňuje.

Jedná se o odpor, který představuje pro elektrotechnika ideální vodič pro svedení nebezpečných proudů do země, kde dojde v jednotlivých vrstvách půdy k jejich rozptýlení. Tohoto vodivého efektu půda dosahuje díky svému složení a může se tedy chovat, jako elektrický vodič, který lze použít pro svedení nebezpečných proudů, které by se mohly objevit na neživé části elektrického zařízení při poruše a dále k eliminaci atmosférického výboje, který je sveden do země.

V základě se jedná o fiktivní vodič s potenciálem země, který má velký průřez a díky tomu velmi malý odpor. Tohoto fiktivního vodiče se využívá pro detekci poruchy, kdy při tomto malém odporu začne tímto fiktivním vodičem protékat velmi vysoký proud, který následně detekuje příslušné ochranné zřízení. V případě poruchy na zařízení a atmosférického výboje jsou tyto nebezpečné proudy svedeny vodičem s nižším odporem, v našem případě tímto naším fiktivním vodičem, čímž zamezíme následným škodám na životech a majetku.

Spojení s touto velkou hmotou země probíhá za pomocí zemniče, který se skládá ze součtu jednotlivých činných odporů. A to z odporu svorky, odporu svodu, odporu zemniče, odporu půdy a přechodového odporu mezi půdou a zemničem, kde největší podíl na výsledné hodnotě odporu má odpor půdy. To je však zjednodušený výpočet, který v praxi nelze použít, protože výsledný odpor je závislý na dalších aspektech [5].

Odpor mezi svodem a zemničem závisí na vodivosti materiálu, z nichž vodivost ovlivňuje materiál, způsob výroby, způsob a provedení vzájemného spojení, možné napadení korozí.

Přechodový odpor závisí na délce, tvaru, velikosti, prostředí uložení zemniče, kvalitě styku mezi zemničem a zemí, odolnosti proti korozi. Hodnota zemního odporu je závislá na několika vlivech, kterých je celkově 26. Zde si uvedeme ty nejdůležitější, které nejvíce ovlivňují velikost měrného odporu půdy a patří mezi ně [5]:

- obsah vlhkosti v půdě
- teplota
- obsah solí v půdě (obsah minerálů)

5.1 Měrný odpor (rezistivita) půdy

Před realizací uzemnění se nejprve musí provést měření rezistivity půdy (geologický průzkum) z něhož vychází návrh uzemnění.

Rezistivita půdy se vyjadřuje v Ω*m* (jedná se o elektrický odpor v Ω jednoho válce naplněného zeminou, jehož průřez je 1 m^2 a který je 1 *m* dlouhý) a jeho velikost je důležitá pro počet zemničů a jejich rozměr. Tato rezistivita se často mění od místa k místu a mění se i v závislosti na hloubce. Měrný odpor se mění podle složení půdy, kde u hornin roste odpor v závislosti na jejich stáří. Horniny jako žula, pískovec, ruda, svor, čedič a znělec jsou dokonalými izolanty. Vodivými částicemi v zemi jsou sypké půdy s příměsemi solí rozpuštěných ve vodě a humusové zbytky obsažené v horních vrstvách půdy, které jsou nejvodivější. Velmi dobrým vodičem jsou i vápencové půdy, které vznikají zvětráváním vápenců. Působením CO_2, obsaženém v těchto půdách se tvoří rozpustné kyselé uhličitany, díky nimž jsou tyto půdy vhodné pro uzemnění [5].

Písčitá půda se pro uložení zemničů nehodí, protože při dešti veškerá voda prosakuje a půda tak rychle vysychá. Naproti tomu hlinitá půda je dobrá pro uložení zemničů, jelikož si díky své konzistenci udrží vlhkost. Jílovitá půda je nejlepším vodičem pro uložení elektrod z důvodu zadržování vody, a tedy velmi pomalému vysušování [5].

Tab. 5-1 Hodnoty rezistivity půdy [20].

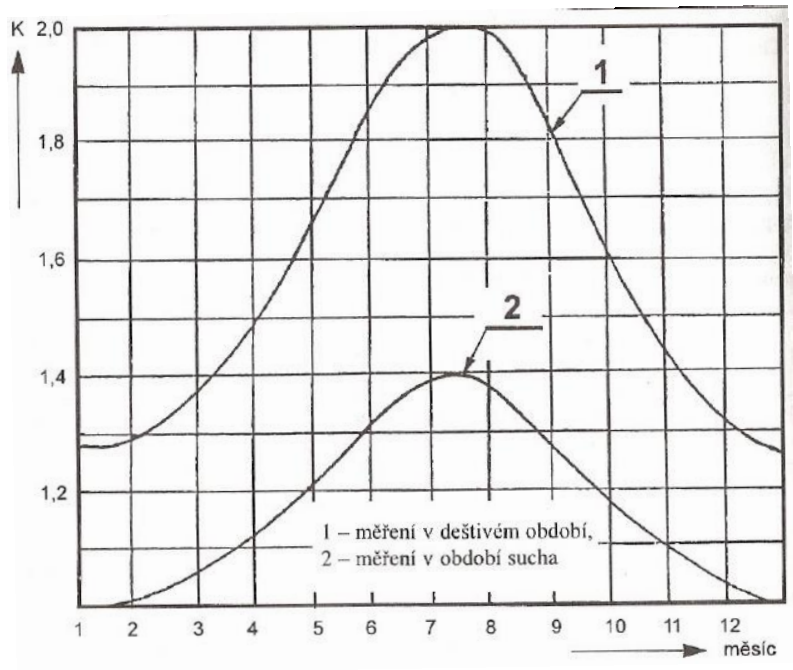
Charakter půdy	**Rezistivita Ωm**
Bažinatá půda	Od několika do 30
Naplavenina	10 až 100
Humus, prsť	10 až 150
Vlhká rašelina	5 až 100
Tvarný jíl	50
Vápenatý a kompaktní jíl	100 až 200
Jurský jíl	30 až 40
Jílové písky	50 až 500
Křemenné písky	200 až 3000
Holé kamenité půdy	1 500 až 3 000
Zatravněné kamenité půdy	300 až 500

Tab. 5-2 (dokončení)

Měkký vápenec	100 až 300
Kompaktní vápenec	1 000 až 5 000
Rozpukaný vápenec	500 až 1 000
Břidlice	50 až 300
Mikanitová břidlice	800
Žula a pískovec podle míry zvětrávání	1 500 až 10 000
Žula nebo velmi zvětralý vápenec (podle míry zvětrávání)	100 až 600

Velikost rezistivity dále závisí na vlhkosti a teplotě, které se během roku mění, jak je uvedeno na obrázku (obr. 5-1). Hodnota rezistivity při působení mrazu může dosáhnout ve vrstvě zmrzlé půdy hodnoty až několika tisíc Ω*m* a v některých oblastech může dosahovat tloušťky až 1 metr a více. Rezistivitu půdy rovněž zvětšuje sucho. Účinek vysychání je možno v některých oblastech zaznamenat až do hloubky 2 metrů. Hodnoty rezistivity půdy v takovém případě mohou dosahovat řádově stejných hodnot, jaké vykazuje půdy v období mrazu.

Vliv kolísání měrného odporu půdy do hloubky 3 metrů v závislosti na ročním období se eliminuje tak, že naměřená hodnota rezistivity půdy se násobí činitelem *K* podle křivek na obrázku 5-1 pro období, kdy bylo měření provedeno. Takto určená hodnota je směrodatná pro navrhování uzemnění.



Obr. 5-1 Křivky, podle nichž se eliminuje vliv počasí a ročního období na naměřený odpor uzemnění [Wettsteinovy křivky (ČSN 33 2000-5-54)] [2]

5.1.1 Měření rezistivity půdy

Pro měření měrného odporu půdy je vhodná Wennerova metoda (obr. 5-2). Na obrázku jsou uvedeny 4 zemnící tyče (elektrody) se stejnou roztečí v řadě, kde tyč C1 a C2 přebírají funkci proudových sond a tyče P1 a P2 přebírají funkci napěťových sond. Tyto tyče jsou přivedeny do jednoho přístroje (např. Megge Earth Teter), který v sobě má zabudovaný zdroj střídavého proudu. Tento proud prochází proudovými sondami a napěťovými sondami změříme úbytek napětí. Při měření by frekvence zdroje střídavého napětí měla mít jinou frekvenci, než je frekvence síťového zdroje distribuční sítě (50 *Hz*) a stejně tak i přístroj pro měření napětí by měl mít selektivní filtr pro odstranění těchto frekvencí, které by se mohly negativně promítnout do měření a ovlivnit tak výslednou hodnotu rezistivity. Výsledkem měření bude odpor *R*, ze kterého dostaneme výpočtem výslednou rezistivitu půdy podle následujícího vztahu [1]:

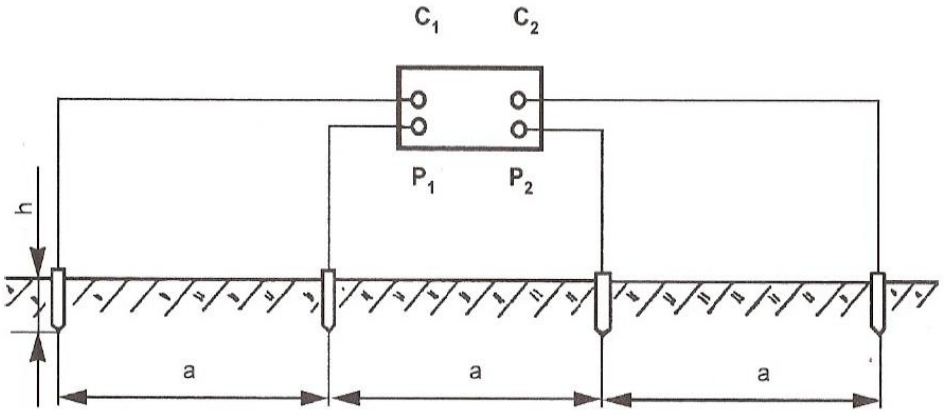
$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \tag{5.1}$$

Kde:

ρ rezistivita půdy [Ω.m];

a vzdálenost elektrod [m] doporučuje se minimální vzdálenost 4 metry;

R naměřený odpor [Ω].



Obr. 5-2 Wennerova metoda [1]

Rozteč elektrod se volí dle hloubky vrstvy půdy. Tento vztah platí za předpokladu, že hloubka elektrod *h* je mnohem větší než rozestup elektrod *a*. Je-li nutné elektrody zarazit do větší hloubky, aby byl dosažen požadovaný zemní odpor elektrod (zpravidla v půdách s velkou rezistivitou) je třeba podle Tab. 5-2 vynásobit výslednou hodnotu konfigurační konstantou *k*.

Tab. 5-2 konfigurační konstanta k [23].

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

Z důvodu pokrytí různých rezistivit půdy, které se v různých hloubkách mění je potřeba provést opakované měření s různou roztečí elektrod. Výsledná rezistivita se potom vypočítá jako aritmetický průměr jednotlivých rezistivit. Takto zjištěná hodnota rezistivity půdy je pouze zdánlivou hodnotou, protože se jedná o ekvivalentní hodnotu měrného odporu různých vrstev půdy [1].

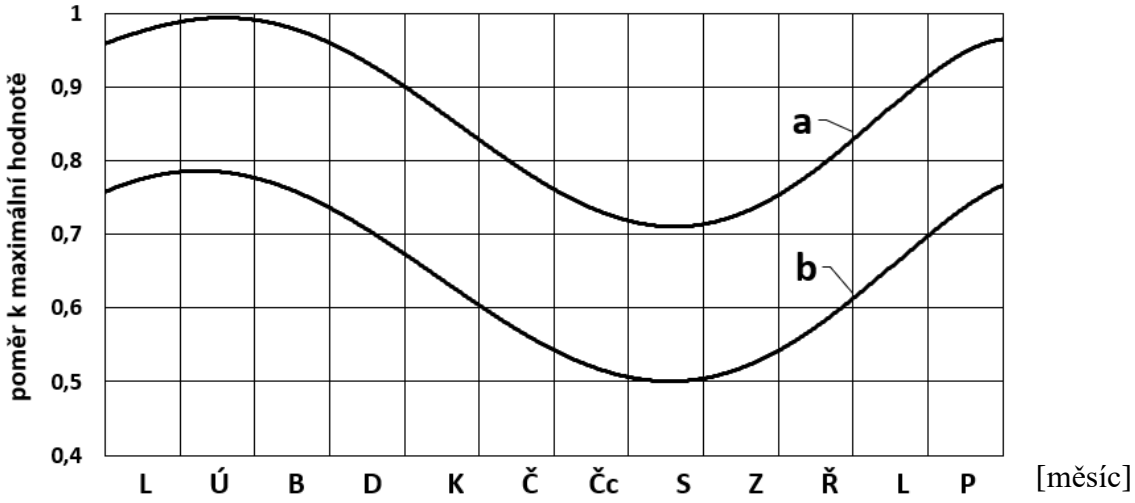
5.1.2 Vyhodnocení rezistivity zemničů

Účinnost jakéhokoliv zemniče závisí na místních půdních podmínkách. Střední hodnoty rezistivity běžných druhů půd jsou uvedeny v tab. 5-3.

Tab. 5-3 Střední hodnoty rezistivity běžných druhů půd [20].

Druh zeminy	**rezistivita** Ωm
Rašelina	30
Ornice	100
Vlhký písek	200 až 300
Vlhký štěrk	300 až 500
Suchý písek nebo štěrk	1 000 až 3 000
Suchá kamenitá půda	3 000 až 10 000
POZNÁMKY 1. Vodivost půdy závisí na druhu půdy, na jejím rozvržení, teplotě a vlhkosti. Zmrzlá země má podstatně nižší vodivost než před zamrznutím. Vodivost půdy kolem zemniče může také snižovat elektrický proud, jestliže zemničem trvale prochází. Půdu totiž zahřívá a v okolí zemniče ji vysušuje 2. Dešťová nebo říční voda je špatným vodičem, obdobně jako mastné nebo olejové skvrny	

Vlhkost půdy se mění se stavem spodní vody a podle ročních období dlouhodobého vývoje počasí. Ve vrstvách půdy blíže povrchu se mění více než ve spodních vrstvách. Proto číselné hodnoty uvedené v tab. 5-3 platí jen přibližně. Jakým způsobem obvykle kolísá rezistivita půdy v průběhu ročního období, znázorňuje obr. 5-3 [20].



Obr. 5-3 Změny rezistivity půdy v průběhu roku (vztaženo k maximální rezistivitě) křivka a – znázorňuje průběh po delším suchu, křivka b – průběh po deštivém období [20].

V půdě se často vyskytují rozdíly odporů i o několik desítek řádů v poměrně malých vzdálenostech od sebe. Pokud s dostatečnou věrohodností určíme střední hodnotu měrného odporu půdy, pak podle následujících vztahů můžeme určit odpor pro výsledný návrh zemniče [4].

$$R = k \cdot \frac{\rho}{L} \tag{5.2}$$

Kde:

ρ je střední měrný odpor půdy [Ωm];

L je největší rozměr zemniče [m];

k je činitel závislý na tvaru a uložení zemniče a má následující hodnoty [4]:

0,25	pro čtvercovou zemní desku svisle uloženou;
0,5	pro zemnící desku (pás) s poměrem stran 1:8;
0,5	pro kruhovou zemnicí desku na povrchu země;
0,32	pro zemní elektrodu tvaru polokoule.

Horizontálně uložené zemniče

Rezistivitu horizontálně uloženého vodiče je možno počítat přibližně podle tohoto vzorce [20]:

$$R = 2\frac{\rho}{L} \tag{5.3}$$

Desky uložené v zemi

Aby se docílilo co nejlepšího kontaktu obou ploch se zemí, doporučuje se ukládat plné desky vertikálně. Desky by se měly ukládat, tak aby jejich horní okraj byl přibližně v hloubce 1 metr. Rezistivita deskových zemničů uložených v odpovídající hloubce se rovná přibližně [20]:

$$R = 0{,}8\frac{\rho}{L} \tag{5.4}$$

Vertikálně uložené tyčové zemniče

Rezistivita zemniče provedeného pomocí vertikálně uložené tyče je rovna přibližně [20]:

$$R = \frac{\rho}{L} \tag{5.5}$$

Pokud existuje nebezpečí mrazu nebo vysychání, musí se délka tyče prodloužit o 1 až 2 metry.

Příklad obvyklých odporů různých druhů půd pro různé typy zemničů je uvedený v tab. 2.

Tab. 5-4 Odpor zemničů v různých druzích zemin [2]

Druhy zemin	Odpor zemniče			
	tyčový zemnič (Ω)		uzemňovací pásek (Ω)	
	hloubka 3 m	hloubka 5 m	délka 3 m	délka5 m
rašelinná půda, bažina	10	5	12	6
orná půda, jíl	33	17	40	20
vlhká písčitá půda	66	33	80	40
suchá písčitá půda	330	165	400	200
kamenitá půda	1000	500	1200	600
beton 1:5	-	-	160	80

Kovové sloupy využité jako zemniče

Kovové sloupy vzájemně propojené kovovou konstrukcí a uložené do určité hloubky v zemi mohou být použity jako zemniče. Odpor zemniče tvořeného kovovým sloupem uloženým v zemi může být přibližně vypočítán [20]:

$$R = 0{,}366\frac{\rho}{L}\log_{10}\frac{3L}{d} \tag{5.6}$$

Kde d průměr válce opsaného sloupu [m].

5.2 Měření zemního odporu

Ve chvíli, kdy je zřízeno uzemnění, přejdeme k výslednému měření odporu, aby se zkontrolovala skutečná hodnota odporu a kontinuita zemničů a jejich propojení v zemi. Dalším důvod měření zemního odporu je ověření celistvosti uzemňovací soustavy, protože během zemních prací může dojít k přerušení náhodných zemničů, a tedy i ke změně zemního odporu [1].

Měření se provádí minimálně dvakrát, vždy v jiném směru umístění sond. Z naměřených hodnot je potřeba jako skutečnou hodnotu odporu brát nejvyšší naměřenou hodnotu z důvodu možných chyb vzniklých při měření, mezi tyto chyby můžou patřit i náhodné kovové konstrukce umístěné v zemi, které fungují jako vodič a snižují tedy výslednou hodnotu zemního odporu.

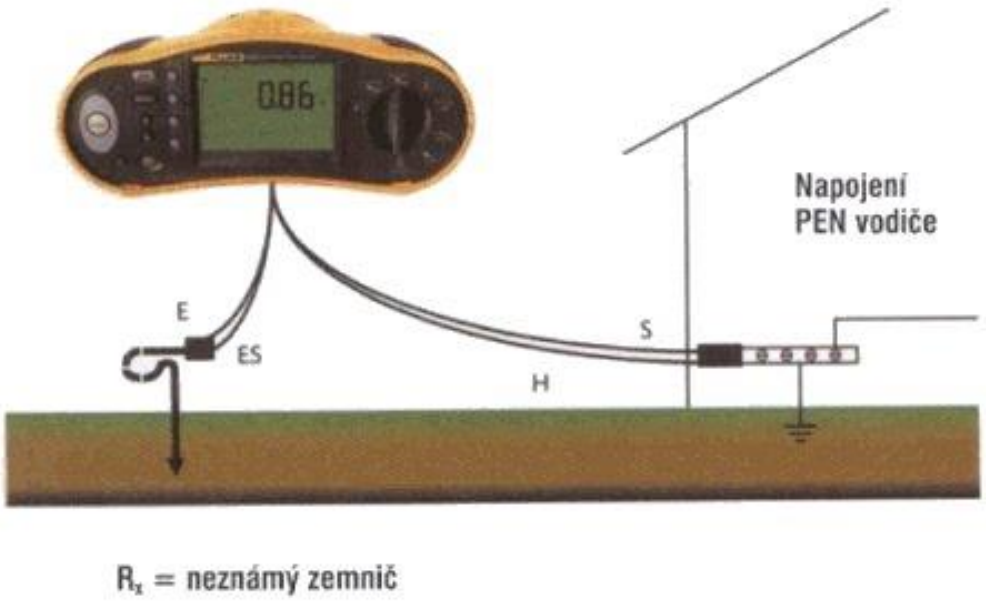
Každá z měřících metod má jista pravidla, která je třeba při měření dodržovat. Zde si uvedeme pravidla, která se týkají metod využívajících ke svému měření proudové a napěťové sondy [15]:

- Dodržování minimální vzdálenosti mezi proudovými a napěťovými sondami z důvodu elektrického pole, které vzniká okolo sond, jimiž protéká proud, které by tak ovlivnilo výsledek měření.
- Měření se musí provádět minimálně dvakrát z důvodu eliminace chyb při měření, které se mohou vyskytnout například z důvodu odlišné vodivosti v různých částech měřené plochy.
- Za skutečnou hodnotu odporu bereme nejvyšší naměřenou hodnotu, v případě že se příliš neliší.
- Při každém měření změnit vzdálenosti mezi sondami, popřípadě směr sond
- Naměřené hodnoty by se neměly příliš lišit, v případě že se liší příliš je nutné umístit proudovou elektrodu do větší vzdálenosti.
- Napěťové a proudové sondy musí být se zemničem v jedné přímce, pokud není vyžadována metoda rovnostranného trojúhelníka.
- Délka spojovacího vodiče od zemniče k měřícímu přístroji nemá být větší než 3 metry.
- Není-li jisté, kde se zemnící zařízení nachází, je dobré zdvojnásobit vzdálenost měřících sond.

- Sondy se nesmí umísťovat nad zemnící pásky nebo jiné kovové konstrukce uložené v zemi.
- Sondy je nutné umístit kolmo vůči vedení přípojek.
- Při měření musí být použitý střídavý proud jiné frekvence než 50 Hz. V případě stejnosměrného proudu by docházelo k polarizaci elektrod a elektrolytickému rozkladu půdy, protože zem a její jednotlivé vrstvy jsou v podstatě elektrolyty.

5.2.1 Měření vůči známému vodiči

Dvouvodičová metoda podle obr. 5-4 využívá dvou zemničů. Měří se odpor mezi zkoušeným zemničem a zemničem, jehož odpor známe. K připojení měřicího přístroje lze v tomto případě využít u sítě TN např. také PEN vodič. Odpor měřeného zemniče získáme tím, že od výsledného celkového odporu měření odečteme odpor nám známého zemniče. Tento způsob měření je velmi vhodný pro oblasti s hustou zástavbou, ale stejně tak jej lze použít pro všechny malé ohraničené oblasti, v nichž nelze umístit společně sondu a pomocný zemnič [2].



Obr. 5-4 Dvouvodičové měření odporu zemniče součtovou metodou [8]

E	*Měřený zemnič;*
ES	*Vodič zemnící sondy pro čtyřvodičová měření;*
S	*Sonda;*
H	*Pomocný zemnič.*

5.2.2 Metoda pomocných elektrod

Jedná se o metodu měření úbytku napětí na uzemnění, kterým protéká proud uzavřený přes zemnič E a elektrodu CE (obr. 3). Úbytek napětí se měří pomocí elektrody PE.

Popis měření je dle [1]: Na zemniči E vzniká potenciál daný součtem potenciálů způsobeného průtokem proudu *I*, jeho zemní odpor o potenciálu země v místě zemniče, způsobeného průtokem proudu *I* pomocnou elektrodou CE. Aby měřící přístroj ukázal pouze velikost první složky, umísťujeme elektrodu (CE) do místa s potenciálem tak vysokým, aby napětí mezi PE a E bylo rovno právě první složce, čímž na zemniči kompenzujeme vliv potenciálu vyvolaného proudem *I*. Při přímkovém uspořádání středu zemniče a obou pomocných elektrod (pro půlkulový zemnič a homogenní půdu) je toto místo v 61,8% vzdálenosti proudové elektrody od zemniče, tj. PE/CE = 0,618 a potom lze zemní odpor určit z naměřených hodnot *U* a *I*, tj.:

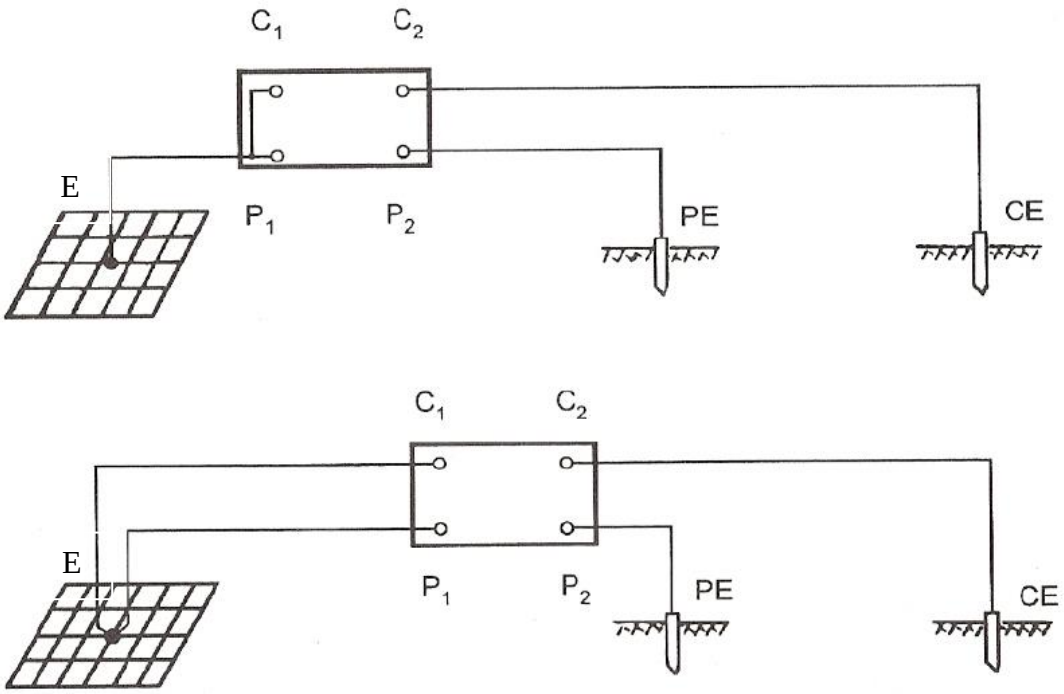
$$R_z = 0{,}618 \cdot \frac{U}{I} \tag{5.7}$$

Kde:

R_z Zemní odpor [Ω];

U Napětí [V];

I Proud [A].



Obr. 5-5 Metoda pomocných elektrod – možné způsoby připojení přístroje k měřenému uzemnění [1]

V případě měření větších strojených zemničů umísťujeme proudovou elektrodu ve vzdálenosti rovné trojnásobku vzdálenosti největšího rozměru zemniče nebo soustavy, a napěťovou elektrodu, tak aby splňovala podmínka PE/CE. Pro rozsáhlejší soustavy, kde jsou umístěny další náhodné zemniče (kovové obaly kabelů, vodovodní potrubí), volíme vzdálenost proudovou elektrodou CE = 160 metrů, a vzdálenost napěťovou elektrodou PE = 100 metrů, přičemž elektrody umisťujeme mimo průběh zemničů [1].

Protože hledání nejbližšího místa pro kompenzaci vlivu potenciálu vyvolaného průchodem proudu zemničem vyžaduje několik měření, dá se zavést zjednodušený předpoklad, kdy napěťová sonda musí být umístěna v minimální vzdálenosti 20 metrů od měřeného zemniče a proudová sonda musí být umístěna v minimální vzdálenosti 40 od měřeného zemniče, ale tak aby výsledná vzdálenost mezi napěťovou a proudovou sondou byla také 20 metrů, abychom eliminovali vliv elektrického pole, které vzniká v okolí zemniče a proudové sondy. Pokud bychom tyto vzdálenosti nedodrželi, tak by výsledkem byl součet napětí, který potřebujeme změřit pro výpočet odporu a napětí vyvolané elektrickým polem v okolí zemniče.

U kulového zemniče se sondy umísťují do rovnostranného trojúhelníka, a naopak u deskového zemniče se sondy umísťují kolmo k zemniči v jedné přímce.

V případě že nelze dodržet tyto minimální vzdálenosti proudových a napěťových sond z důvodů stísněných podmínek, můžeme použít trojúhelníkovou metodu (obr. 5-6), kde zemniče a sondy jsou umístěny ve tvaru rovnostranného trojúhelníka o stranách 20 metrů [12].

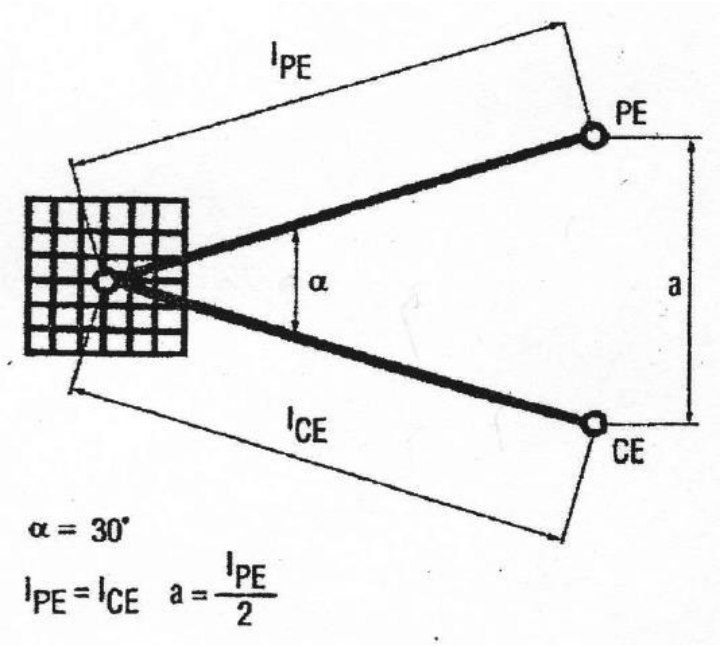
$$R_z = \frac{R_a + R_b - R_c}{2} \tag{5.8}$$

Kde:

Ra Odpor mezi zemničem a levou sondou [Ω];

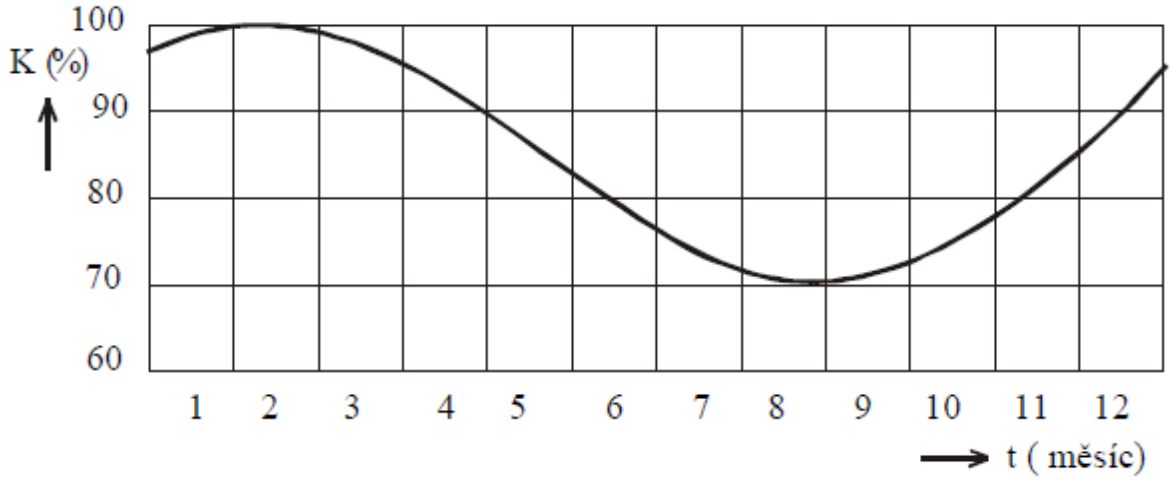
Rb Odpor mezi zemničem a pravou sondou [Ω];

Rc Odpor mezi sondami [Ω].



Obr. 5-6 Rozmístění elektrod do rovnostranného trojúhelníka [15].

Vzhledem k teplotě a vlhkosti půdy, která se během roku mění je potřeba výslednou hodnotu odporu R_z vynásobit o korekční činitel K, který nám udává procento maximální hodnoty odporu uzemnění a lze ho vyčíst z grafu obr. č.1 [12].



Obr. 5-7 korekční graf [12].

5.2.3 Metoda proudu – napětí

Toto měření je užitečné při měření zemního odporu v rozvodných soustavách, kdy se zemní odpor měří mezi uzemněním měřené stanice a uzemněním jiné stanice. Mezi těmito místy se nechá protéct vysoký proud (desítky až stovky ampérů) a na elektrodě PE ve vzdálenosti 5D (D je hlavní rozměr uzemnění jištění cca 95% napětí vůči vzdálené zemi) se změří napětí [1].

Výsledný zemní odpor se vypočte ze vtahu [1]:

$$R_z = \frac{U_m}{r \cdot I_m} [\Omega; V, A] \tag{5.9}$$

Kde:

U_m naměřená hodnota napětí [V];

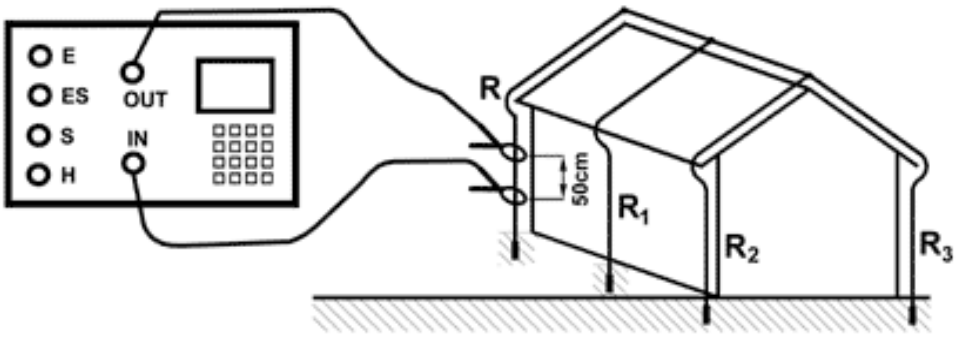
I_m měřící proud [A];

r redukční činitel k elektrodě CE; hodnoty se pohybují v rozmezí 0,42 až 0,93 podle typu vedení a materiálu zemního lana [-].

5.2.4 Metoda měřících kleští

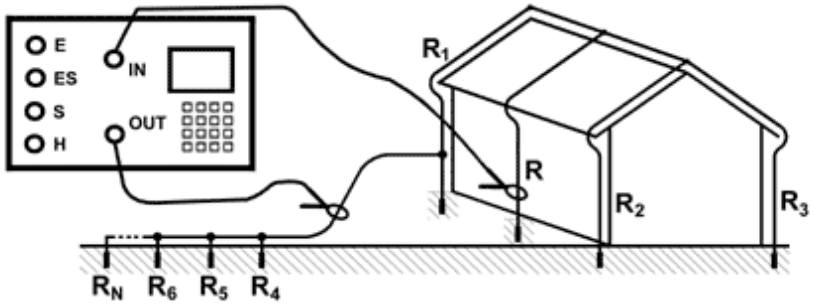
Použití měřících kleští je vhodné pro místa s hustě zastavěnou oblastí, kde použití měřících sond je obtížné. Další výhodou je velká úspora času, jelikož zde není zapotřebí zatloukat měřící sondy a rozpojovat spojky mezi zemničem a svodem. Avšak použití měřících kleští má jednu nevýhodu, která spočívá v naměřené hodnotě zemního odporu kterou přístroj změří. Takto změřená hodnota zemního odporu je pouze celkovou hodnotou zemního odporu uzemňovací soustavy, jelikož u soustav s několika paralelně spojenými zemniči lze standardně změřit jen celkový odpor. Pro případ, kdy potřebujeme znát odpor jednotlivých zemničů (např. pro zjištění koroze zemniče) by se v předchozích metodách musel odpojit každý zemnič a až tehdy by bylo možné změřit odpor daného zemniče. Tento postup by byl v praxi zbytečně obtížný a mohl by způsobit vysoké vyrovnávací proudy a v horším případě by se mohlo objevit krokové napětí. Pro takové případy, kdy je potřeba změřit odpor jednotlivých zemničů, se používají proudové klešťové sondy.

Pro případ, kdy budeme potřebovat změřit jednotlivě několik zemničů spojených paralelně do jedné smyčky (např. hromosvod jednoho domu), musíme použít dvoje proudové kleště se sondami (obr. 5-9), kdy první slouží k indukci měřícího proudu do zemní smyčky a druhá k měření proudu protékajícího zemničem. Tato metoda je velice jednoduchá a rychlá, ale pro vyloučení přímých vazeb mezi kleštěmi musí být minimální vzdálenost mezi kleštěmi 250 *mm* [1].



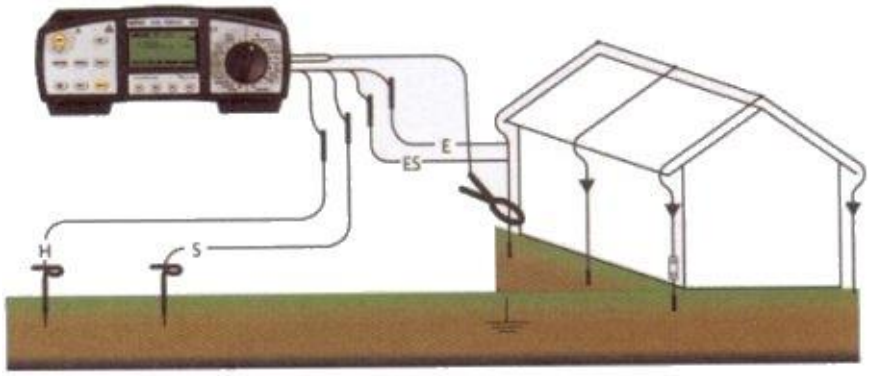
Obr. 5-8 Měření dvěma kleštěmi [16].

Dvou kleští se dá využít, také při dostupnosti pomocné soustavy, kdy jedny kleště nasadíme na vodič pomocné soustavy a druhý na zemnič, jak je uvedeno na obr. 5-10.



Obr. 5-9 Měření dvěma měřícími kleštěmi s pomocnou soustavou [16].

Pro měření jednotlivých zemničů, lze využít i jedny měřící kleště, které musí být zapojeny podle obr. 5-9. V tomto případě měřící proud prochází mezi pomocným zemničem (H) a měřeným zemničem (E). Spád napětí se měří mezi zemničem a sondou (S) a proud se měří pomocí klešťové sondy v té části, kde proud prochází měřeným zemničem. Ostatní části, kterými také prochází měřící proud, neovlivňují výslednou hodnotu. Tak lze samostatně změřit všechny zemniče bez nutnosti jejich odpojování [1].



Obr. 5-10 Selektivní měření odporu zemniče proudovými kleštěmi [8]

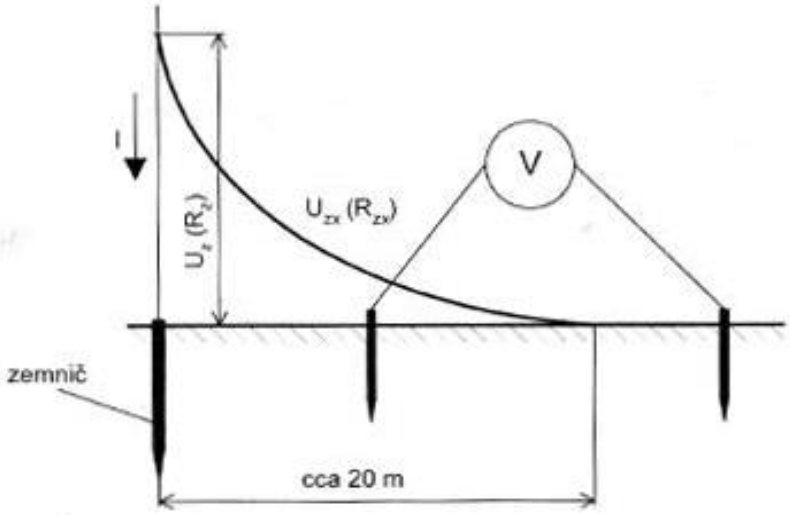
5.3 Elektrické pole okolo zemniče

Při úderu blesku, nebo při vznikajícím přepětí či zkratu, je do země sveden proud přes zemnič, což zapříčiní vznik elektrické pole, které má mnoho negativních vlivů, zvláště na bezpečnost osob.

O jeho případné existenci se můžeme přesvědčit změřením napětí v okolí zemniče voltmetrem, jak je uvedeno na obr. 5-11.

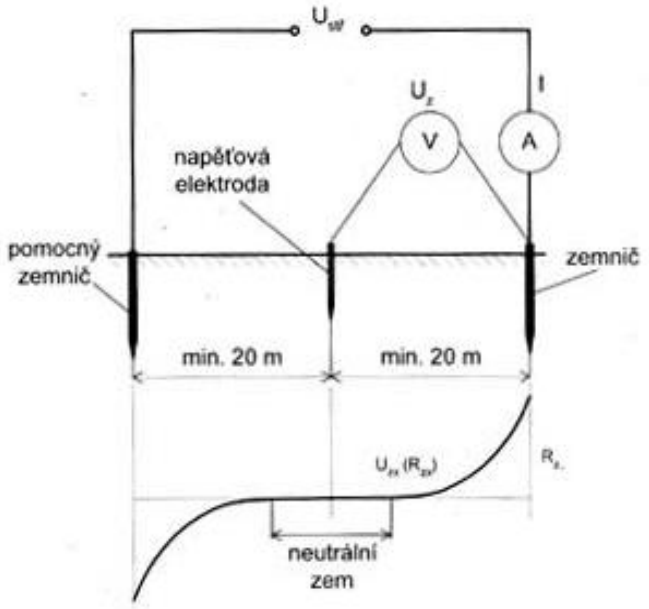
Při měření zemního odporu se snažíme, aby se napěťové elektrody nenacházely v místech, kde se toto pole vyskytuje. Běžné literatury uvádí zjednodušené pravidlo, kdy se napěťová elektroda umísťuje 20 metrů od zemniče a proudové elektrody. Toto není podmínkou, protože potřebná vzdálenost pro umístění napěťových elektrod mimo vliv elektrického pole zemniče se dá i změřit.

Měření probíhá za pomocí 2 elektor (obr. 5-11) pro měření napětí a jednoho zdroje proudu, který se připojí k zemniči. První napěťovou elektrodu umístíme 30 metrů od měřeného zemniče a druhou napěťovou elektrodu zapíchneme co nejblíže k měřenému zemniči a měříme výsledný spád napětí změnou vzdálenosti druhé napěťové elektrody až do doby, kdy je napětí rovno nule. V tomto místě mluvíme o tzv. neutrální zemi [17].



Obr. 5-11 Měření potenciálu zemniče [17].

V případě metody pomocných elektrod (obr. 5-12), kdy potřebujeme zjistit správnost měření, spočívající v umístění napěťové elektrody mimo vliv elektrického pole zemniče a proudové elektrody, lze po změření změnit vzdálenost napěťové elektrody o 6 metrů blíže k zemniči a potom o 6 metrů blíže k proudové elektrodě a v případě, že se naměřené hodnoty nebudu lišit, je měření provedeno správně [17].

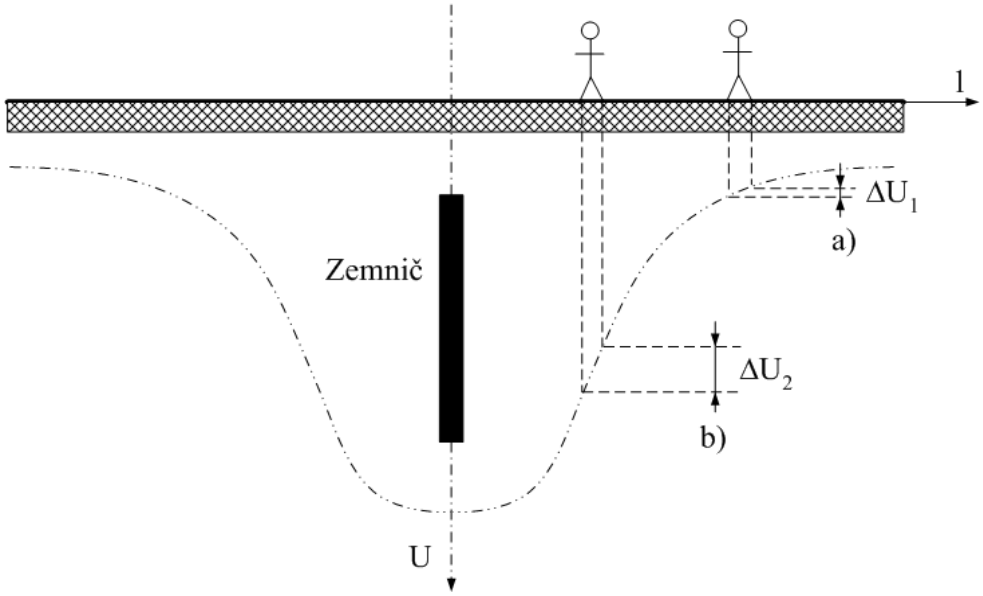


Obr. 5-12 Měření zemního odporu s pomocným zemničem [17].

5.4 Dotyková a kroková napětí

Pro hromosvod je nejdůležitější správný návrh a realizace zemniče. Špatná realizace může mít za následek vysoký odpor a možný výskyt krokového napětí.

Krokové napětí je potenciálové pole v okolí zemniče, které je nejen závislé na velikosti proudu procházejícího zemničem, ale i na hloubce uložení zemniče, popřípadě na jeho tvaru, protože při nerovnoměrném rozložení, které se odvíjí od hloubky uloženého zemniče a tvaru zemniče by na povrchu půdy mohla vzniknout nebezpečně vysoká napětí, která by mohla ohrozit životy lidí v jeho blízkosti [14].



Obr. 5-13 Potenciálové pole v okolí zemniče [14.]

Za určitých podmínek může být v blízkosti svodů a vně stavby životu nebezpečná kroková napětí a v okolí svodů LPS vně stavby mohou vzniknout za určitých podmínek životu nebezpečná dotyková napětí, i když je LPS vyprojektován a instalován dle předepsaných pravidel.

Toto nebezpečí se zmenší na přípustnou úroveň, když budou splněny následující podmínky, které jsou stejné jak pro dotyková napětí, tak pro kroková napětí [19]:

a) za normálních podmínek provoz nebudou do vzdálenosti 3 metrů od svodů žádné osoby;
b) je použita soustava alespoň 10 svodů;
c) rezistivita povrchové vrstvy půdy v okruhu do 3 metrů od svodu není menší než 100 $k\Omega$.

Dalším způsobem pro snížení dotykových napětí, je uložení jednoho páskového nebo drátového vodiče (ekvipotenciální práh) do hloubky 30 až 40 *cm* ve vzdálenosti 1 metr od vodivé konstrukce a pro snížení krokových napětí se ukládají další vzájemně propojené vodiče postupně do větších vzdáleností a hloubek. U rozsáhlých zařízení, kde se ochrana před úrazem elektřinou dosahuje řízením potenciálu na povrchu země, se zřizuje zemnič ve tvaru mřížové sítě [20].

Měření dotykových napětí se požaduje [20]:

- V elektrických stanicích s napětím 110 *kV* a vyšším.
- V průmyslových závodech, na jejichž území je vybudována elektrická stanice s napětím 110 *kV* a vyšším.
- V ostatních elektrických zařízeních vvn, pokud jsou tam předepsány hodnoty dotykových napětí a nelze je prokázat jiným způsobem (např. výpočtem).

6 VLIV ZEMNÍHO ODPORU NA ČINNOST OCHRANNÝCH A JISTÍCÍCH PRVKŮ

Správná realizace uzemnění je nedílnou součástí k zajištění správné činnosti ochranných a jistících prvků. V případě, že spojíme kostru elektrického spotřebiče se zemí, přiřadíme mu tak potenciál země.

Pokud se vlivem poruchy spojí živá část s neživou částí spotřebiče (kostra elektrického spotřebiče), začne přes kostru tohoto spotřebiče do země protékat poruchový proud, který v případě malého zemního odporu dosáhne vysokých hodnot (např. jednotky až desetinásobky jmenovitého proudu) a dojde, tak k vybavení ochrany. Pokud nezajistíme vypnutí těchto poruchových proudů mohlo by ve výsledku dojít k destrukci poškozeného zařízení, nebo k ohrožení lidských životů. Z toho plyne, že ochranné a jistící prvky jsou nedílnou součástí jakékoliv návrhu elektroinstalace. Jistícími a ochrannými prvky mohou být pojistky, jističe, nadproudové relé v závislosti na tom, o jakou se jedná soustavu.

Všechny tyto jistící prvky by měli být schopné vypínat proudy, které protékají mimo chráněný obvod do země a pro jejich správnou funkci musíme při realizaci uzemnění dbát na co nejmenší odpor země. Proto je potřeba věnovat zvýšenou pozornost návrhu uzemnění, aby výsledná hodnota odporu byla co nejmenší.

V případě, že by hodnota odporu byla vysoká, tak by během zkratu, (spojení živé časti s neživou částí přístroje) nemusel jistící prvek vybavit. To může nastat v případě, že by hodnota poruchového proudu nedosahovala jmenovité hodnoty proudu pojistky, nebo jističe. Nebo v případě, že by reziduální proud proudového relé nepřesáhl mez vybavení jistícího přístroje

6.1 Tavná pojistka

Pojistka je jednou z nejjednodušších ochran chránících zařízení před účinky nadproudů a zkratů. Jedná se o jednorázové zařízení, které se při průchodu nadproudu přetaví.

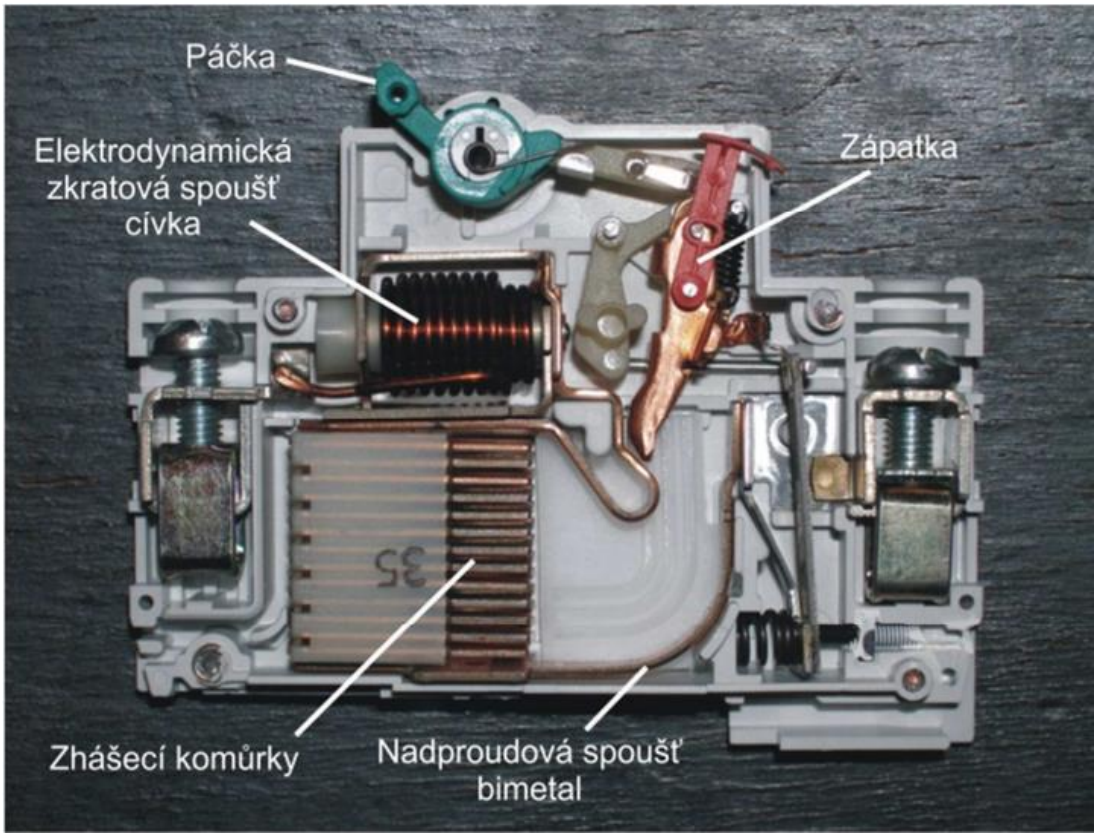
Avšak při zemním spojení, je hodnota tohoto poruchového proudu závislá na hodnotě zemního odporu a v případě velkých odporů by nemuselo dojít k jejímu přetavení. Ačkoliv je chráněné zařízení před účinky nadproudů stále chráněné, tak není chráněné před nebezpečím dotykových napětí a může tak dojít k úrazu elektrickým proudem.

6.2 Jistič

Jedná se o samočinný vypínač, který vypíná nadproudy či zkraty. Výhodou oproti pojistce je, že při vybavení z důvodu nadproudu ho lze znovu aktivovat bez nutnosti výměny.

Jističe jsou vybaveny dvěma typy spouští [9]:

1) Tepelná spoušť – Jedná se o bimetalový drát, který se vlivem nadproudu zahřívá a deformuje a v určité chvíli jeho deformace zatlačí na spoušť, které zapříčiní vybavení jističe
2) Elektrodynamická spoušť – Jedná se o cívku s feromagnetickým jádrem, kterou prochází zkratový proud a tvoří tak magnetické pole, které přitahuje kotvu, čímž uvolní západku a pružina rozpojí kontakty.



Obr. 6-1 Řez jističem s popisem jednotlivých částí [9]

Stejně jako u pojistky, tak i u jističe v případě velkých zemních odporů nemusí jistič vybavit. Ačkoliv je chráněn před zkratem a nadproudem, tak i zde není zaručena 100% ochrana před úrazem elektrickým proudem, jelikož na zařízení při vysokém zemním odporu může vniknut dotykové napětí, které jistič nedetekuje.

Způsob vypínání jistících prvků nám definují tzv. vypínací charakteristiky jističe, které nám definují chování jistícího prvku v závislosti na protékajícím poruchovém proudu či nadproudu.

Přesněji nám definují čas, za který nám jistič vybaví při určité konstantní hodnotě proudu. Hodnoty se udávají formou tabulky nebo graficky, kde proud je obvykle vyjádřen v násobcích jmenovitého proudu jistícího prvku, nebo přímo v ampérech [11].

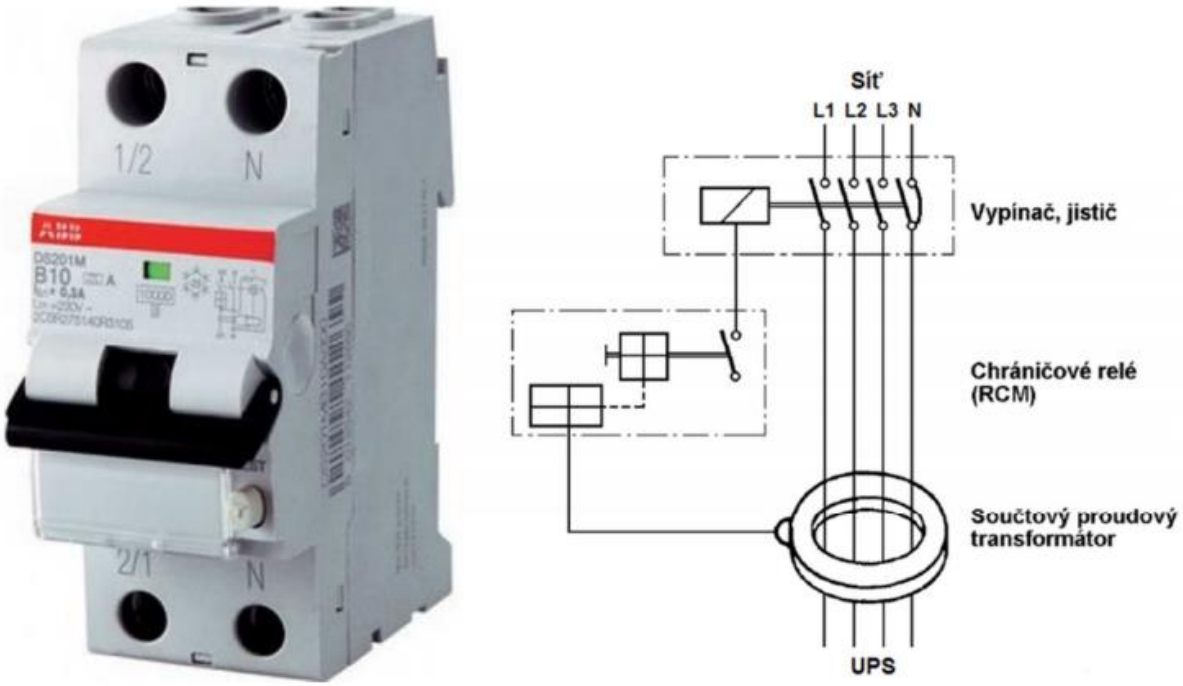
6.3 Proudový chránič

Jedná se o ochranný prvek, který zaznamenává a vyhodnocuje rozdílový proud v pracovních vodičích a v případě překročení hodnoty reziduálního proudu dá popud k rozpojení obvodu.

Principem proudového chrániče je součtový transformátor, kterým prochází všechny pracovní vodiče a za normálních podmínek je výsledný vektorový součet proudů vstupujících roven součtu proudů vystupujících. Pokud dojde k poruše, tak vektorový součet proudu není rovný nule a v jádře transformátoru se začne tvořit magnetický tok čímž se naindukuje na sekundárním vinutí transformátoru proud a v případě překročení přípustné hodnoty reziduálního proudu dostane relé popud a způsobí odpad kotvy a vybavení volnoběžky [9].

Nevýhodou je omezené použití, jelikož tento chránič nelze použít v sítích, kde ochranný a nulový vodič je spojený do jednoho vodiče PEN. Jedná se o sítě TN-C.

Oproti jističi a pojistce má proudový chránič daleko větší citlivost, ale i zde může dojít k nebezpečnému dotykovému napětí v případě, že by odpor zemního spojení byl příliš vysoký. V podstatě se jedná o ochranu, která vybaví v případě, že reziduální proud (neboli proud který teče mimo proudový chránič, třeba přes vodič PE) je vyšší než, na jaký je proudový chránič nastaven, ale v případě, že by byl nižší objeví se na zařízení nebezpečné dotykové napětí, které proudový chránič nezaznamená a může tak dojít k úrazu elektrickým proudem.



Obr. 6-2Proudový chránič a jeho principiální schéma se součtovým rozdílovým transformátorem [9]

6.4 OCHRANA DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ

Správné uzemnění stožáru je také jednou z důležitých částí správné funkce distribučních sítí.

V případě atmosférického výboje je potřeba, aby se proud vyvolaný bleskem rozptýlil v zemi a nešířil se dál po vedení a neohrozil tak samotné vedení či zařízení k nim napojená. Toto se zprostředkovává za pomocí svodičů přepětí, ale i zde je pro správnou funkčnost potřeba malý zemní odpor.

Nízký zemní odpor dále snižuje riziko zpětného přeskoku ze stožáru na fázový vodič a následný zkrat. V místech, kde jsou horší hodnoty zemního odporu je možno umístit svodiče přepětí pro snížení rizika zpětných přeskoků. S tímto musíme mít na paměti, výskyt nebezpečných krokových a dotykových napětí, která se v těchto místech můžou Objevit.

7 MĚŘENÍ ZEMNÍHO ODPORU UZEMNĚNÍ

V této části jsou uvedeny výsledky a postupy měření zemního odporu zemničů ve třech různých lokalitách.

V teoretické části bylo uvedeno několik měřících metod pro měření zemního odporu a rezistivity. Z důvodu omezených možností zapůjčení měřících přístrojů, bylo možné z metod uvedených v teoretické části použít jen metodu pomocných elektrod a metodu proudových kleští.

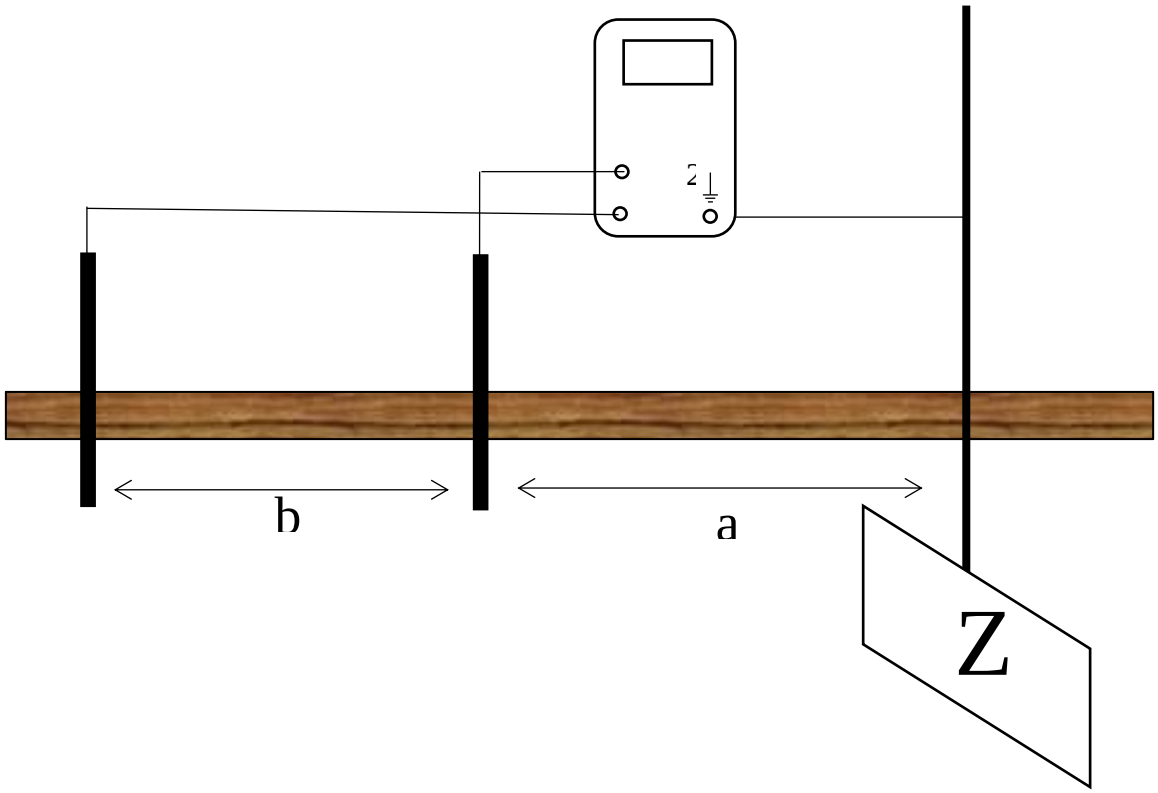
7.1 Měření zemního odporu terrometrem

Měření bylo provedeno na zemniči budovy vědeckotechnologického parku profesora Lista Kolejní 3093/7, 612 00 Brno-Královo Pole. Měření proběhlo 2.5.2019, kdy během dne bylo slunečno s průměrnými teploty okolo 19°C.

Obr. 7-1Uzemnění vědeckotechnologického parku profesora Lista.

Obr. 7-2 měřící přístroj TERROMET

Měření proběhlo za pomoci analogového měřícího přístroje TERROMET. Měřící přístroj má 3 svorky, kde svorka s označením číslo 2 zastává funkci napěťové sondy. Svorka vlevo plní funkci proudové sondy a pravá svorka se připojuje k zemniči. Samotný přístroj nemá svůj vlastní proudový zdroj v podobě baterie, jak je u dnešních digitálních přístrojů zvykem, ale střídavý proud je zde vytvářen za pomocí kličky umístěné na horní straně měřícího přístroje. Maximální hodnota měřícího přístroje je 100 Ω a v případě měření malých odporů je toto měření zatíženo velkou chybou při odečítání ze stupnice. Způsob zapojení je zobrazen na obrázku č.15.



Obr. 7-3 Způsob zapojení měřícího přístroje TERROMETR

Rozpětí pod označením *a* nám značí vzdálenost mezi napěťovou sondou a uzemněním. Rozpětí pod označením *b* nám značí vzdálenost mezi proudovou a napěťovou sondou.

Sondy byly zatlučeny do hloubky 30 cm. Před měřením byla provedena zkouška měřícího přístroje za pomocí zrezivělé železné tyče, kterou jsme použili jako fiktivní zemnič, který podle našich předpokladů měl velmi vysoký odpor, jenž TERROMETR nebyl schopný zaznamenat. Celkově se provedlo 12 měření, kdy jsme pro každý zemnič provedli 4 měření, při nichž jsme změnili polohy proudových a napěťových sond.

Měření číslo 3 a 4 bylo provedeno záměrně chybně. Z tohoto měření je jasně vidět, že hodnota zemního odporu se výrazně změnila tehdy, když napěťová sonda byla v blízkosti uzemnění, nebo proudové sondy. Příčinou této změny je vliv pole vznikajícího okolo zemniče a proudové sondy, které nám ovlivnilo měření, jak je uvedeno v teoretické části.

Při měření jsme neověřovali zemní odpor všech na všech zemničích, ale jen na čtyřech označenými čísly 8, 7, 6. Jelikož při měření nám nebylo dovoleno rozpojit svorky, tak výsledné naměřené hodnoty se musí považovat za celkový zemní odpor uzemňovací soustavy vědeckotechnologického parku.

Tab. 7-1 Naměřené hodnoty zemního odporu zemniče s pomocí TERROMETRU

Označení uzemnění	Č.m.	1	2	3	4
Č. 8	a [m]	20	23	6	35
	b [m]	40	43	43	43
	R [Ω]	0,5	0,5	0,2	0,3
Č. 7	a [m]	20	20	6	35
	b [m]	40	43	43	43
	R [Ω]	0,4	0,5	0,1	0,3
Č. 6	a [m]	20	23	6	35
	b [m]	40	43	43	43
	R [Ω]	0,5	0,5	0,2	0,2

S pomocí tohoto měřícího přístroje nebylo možné zjistit přesnou hodnotu zemního odporu, jelikož ručička kmitala na stupnici mezi 0-1 Ω. Z takovéhoto měření je prakticky nemožné zaznamenat změnu zemního oporu při změně polohy sond, ale s jistotou lze určit střední, či maximální hodnotu zemního odporu této uzemňovací soustavy. Výsledkem toho můžeme s jistotou říct, zda uzemňovací soustava splňuje požadavky podle normy ČSN EN 62305-3 ed. na hodnotu zemního odporu, který má být co nejmenší a nesmí překročit hodnotu 10 Ω.

7.2 Měření zemního odporu UNI-T UT-521 Digital Earth Tester

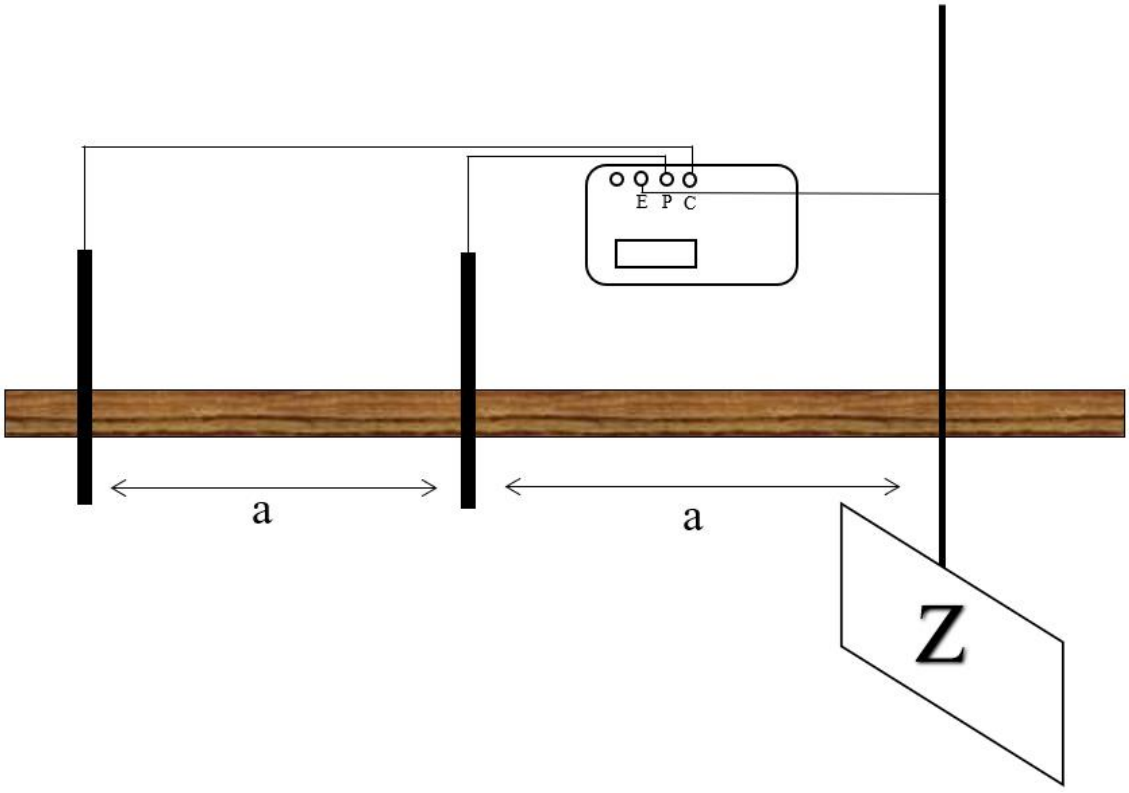
Měření proběhlo za pomocí přístroje UNI-T UT-521 Digital Earth Tester.

Tento měřící přístroj využívá dvou měřících elektrod, kdy jedna plní funkci proudové elektrody a druhá napěťové elektrody. Zde se jedná o přístroj, který má svůj vlastní zdroj energie (baterii). Oproti předchozím přístroji TERROMET je tento přístroj mnohem přesnější a umožňuje měřit zemniče s větší hodnotou zemního odporu.

Měřící elektrody se umístí za sebou (pokud to místní podmínky dovolují), nebo do rovnostranného trojúhelníka, kdy je potřeba umístit jednotlivé elektrody ve vzdálenosti 5 až 10 metrů od sebe a od zemniče. Měřící elektrody by se měli umísťovat do míst s nejlepší vodivostí a vyhnout se skalnatým podložím, nebo využít kovové konstrukce (např. branky a jiné kovové konstrukce umístěné v betonu). Pokud jsou jednotlivé elektrody rozmístěné a připojené k příslušným zdířkám a zemnící kabel je připojen k zemniči, tak za pomocí tlačítka tester se změří

odpor. Po měření je potřeba znovu zmáčknou tlačítko TEST, protože daným obvodem stále protéká proud. Způsob zapojení je uvedený na obrázku 13.

Obr. 7-4 měřící přístroj *UNI-T UT-521*



Obr. 7-5 Způsob zapojení měřícího přístroje UNI-T UT-521 Digital Earth Tester

a Vzdálenost mezi jednotlivými elektrodami a zemničem (5 až 10 metrů)

E Zdířka pro umístění zemního lana

P Zdířka pro umístění napěťové elektrody

C Zdířka pro umístěný proudové elektrody

Z Zemnič

Měření bylo provedeno na zemniči rodinného domku na adrese Žižkova 1081, 256 01 Benešov. Měření proběhlo dne 9.5.2019, kdy teplota během dne dosahovala k 16°C.

V tomto případě se jednalo o stavbu v hustě zastavěné oblasti, kde bylo možné použít jen trojúhelníkovou metodu. Z důvodu stísněných podmínek nebylo možné vždy dodržet stejný poměr stran pro napěťovou a proudovou elektrodu.

Ačkoliv budova byla čtverhranného půdorysu, pro který je doporučeno umístit na každém rohu uzemnění (v tomto případě 4 uzemnění okolo celého domu), tak zde bylo provedeno uzemnění jen na třech rozích.

Bylo provedeno několik chybných měření na zemniči č. 3, kdy byla napěťová elektroda umístěna v blízkosti proudové elektrody, nebo zemniče. Toto měření bylo provedeno pro názornou ukázku vlivu elektrického pole v okolí proudové elektrody a zemniče na výsledek měření. V případě, kdy jsme umístili napěťovou elektrodu vedle proudové, tak nám hodnota zemního odporu stoupla na 141 Ω. V případě umístění proudové elektrody do blízkosti uzemnění, byla hodnota zemního odporu 1,27 1,6 1,2. V tomto případě byla hodnota zemního odporu dokonce nižší než v případě, kdy jsme napěťovou elektrodu umísťovali mimo vliv tohoto pole. Z toho se dá usoudit, že elektrické pole vznikající kolem zemniče je natolik nízké, že ho přístroj nezaznamená. Důvod tohoto nízkého pole v okolí zemniče je pravděpodobně způsobený velmi dobrým provedením uzemnění, které tyto proudy rovnoměrně rozloží i v nižších vrstvách. Výsledná hodnota je dána určitou částí elektrického pole v okolí zemniče, které je v tomto případě velmi malé a úbytkem napětí, které zde představuje čen část úbytku jelikož je napěťová elektroda zaražena příliš blízko zemniče.

Obr. 7-6 zemniči č.1 rodinného domku

Tab. 7-2 Naměřené hodnoty na zemniči č.1

č. m.	Zemnič č. 1.	Zemnič č. 2	Zemnič č. 3
	[Ω]	[Ω]	[Ω]
1.	0,41	1,6	2,42
2.	0,49	1,75	1,53
3.	0,55	1,71	2,02
Hodnota zemního odporu měřená pro celou uzemňovací soustavu	0,4	1,4	1.2

S pomocí tohoto přístroje bylo možné zaznamenat velmi přesné hodnoty zemního odporu pro následné ověření požadavků podle normy ČSN EN 62305-3 ed. na hodnotu zemního odporu, který má být co nejmenší a nesmí překročit hodnotu 10 Ω.

7.3 Měření zemního odporu měřícími kleštěmi UNI-T UT275.

Měření bylo provedeno na zemniči rodinného domku na adrese Žižkova 1081, 256 01 Benešov. Měření proběhlo dne 11.5.2019, kdy teplota během dne dosahovala k 16°C.

Obr. 7-7 Měřící kleště UNI-T UT275

K měření zemního odporu byli použity měřící kleště. Tyto měřící kleště mají své výhody oproti předchozím měřícím přístrojům, ale i své nevýhody. Nevýhodou tohoto měřícího přístroje je, že nedovede měřit zemní odpor jednotlivých zemničů, ale výsledný změřený odpor je odpor celé uzemňovací soustavy budovy. Výhodou, oproti předchozím přístrojům je, že nepotřebuje prostor pro umístění proudových elektrod a měření za pomocí tohoto přístroje je časově nenáročné.

Tab. 7-3 Porovnání naměřených hodnot pro rodinný dům měřený dvěma různými přístroji

	UNI-T UT-521	UNI-T UT275
Odpor uzemnění č. 1	0,4	0,66 Ω
Odpor uzemnění č. 2	1,4	0,73 Ω
Odpor uzemnění č. 3	1,2	1,3

8 ZÁVĚR

Tato práce pojednává o problematice měření zemního odporu, jeho vliv na bezpečnost osob a majetku. V první teoretické části této bakalářské práce je stručné seznámení se základními normami pro realizaci a revizi uzemnění, na kterou se později obracíme i v dalších částech této práce s provedením LPS a uzemněním.

V této práci je uvedeno několik způsobů měření zemního odporu, z nichž každá má své klady a zápory. Metoda měřících kleští a metoda měření vůči známému vodiči je vhodná pro místa se silně zastavěnou oblastí, kde není možno použít měřící sondy a obě tyto metody jsou časově nenáročné. Metoda pomocných elektrod je velice přesná, ale časově náročnější a vyžaduje prostor pro umístění měřících sond. Metoda proudu a napětí je metoda vhodná pro měření zemního odporu v přenosové soustavě. Dále je zde uvedena definice zemního odporu a jeho podíl na zajištění ochrany osob a majetku. Jeho hodnota ve výsledném změření není nikdy konstantní, jelikož je závislá na hodně vlivech, jako je teplota, která se během roku mění, obsah minerálů způsobující vodivost, koncentrace vody.

V další kapitole jsou uvedeny jistící a ochranné prvky u nichž hraje roli zemní odpor. Největší roli hraje u jističů a pojistek, kde může dojít k nebezpečnému dotykovému napětí, nebo malému nadproudu, kdy nemusí být splněná podmínka včasného odpojení od zdroje. Další problém by mohl nastat v případě proudového chrániče, i když v tomto případě by se muselo jednat o velmi vysokou hodnotu zemního odporu, aby protékající proud, který teče mimo proudový chránič měl tak malou hodnotu proudu, že ho proudový chránič nezaznamená.

V poslední části je uvedeno praktické měření. Toto měření sestává ze seznámení se s použitými měřícími přístroji a změření zemního odporu různých zemničů a zemnicích soustav s pomocí různých měřících přístrojů a následné vyhodnocení naměřených údajů. Ačkoliv je v teoretické části uvedeno několik dalších způsobů měření zemního odporu, tak z důvodu omezených možností bylo použito jen několik těchto metod.

První metodou byla metoda pomocných elektrod, která se měřila za pomocí dvou přístrojů (terromet a UNI-T UT-521). V této metodě bylo potřeba provést několik měření, pro ověření skutečných hodnot zemního odporu a následné vyhodnocení podle příslušných norem. V obou případech uzemnění splňuje minimální hodnoty zemního odporu podle normy avšak v případě měření zemniče ve vědeckotechnologickém parku profesora lista nebylo možné změřit odpor jednotlivých zemničů, ale pouze odpor celé této uzemňovací soustavy

Dále bylo potřeba provést ověření vlivu elektrického pole vznikajícího kolem zemniče a proudové elektrody, kdy v obou případech vycházejí velmi vysoké hodnoty, nebo příliš nízké.

V případě přístroje UNI-T UT-521 jsme si tento vliv ověřili při umístění napěťové elektrody k proudové, kdy nám hodnoty vycházeli ve 100Ω, avšak v případě umístění napěťové elektrody k zemniči byla hodnoty zemního odporu velmi nízká. To by mělo být zapříčiněno tím, že v tak těsné blízkosti zemniče nezměříme celkový úbytek napětí, ale jen jeho určitou část. Dále je možné, že vliv elektrického pole v tomto místě je příliš malý díky dobrému provedení zemniče, který tento proud rovnoměrně rozptýlí i v nižších vrstvách půdy.

V případě terrometru bylo ověřování hodnoty zemního odporu velmi nepřesné a náročné.

K této nepřesnosti pomohl i fakt, že hodnota zemního odporu byla velmi nízká a tedy pro tento přístroj obtížně zaznamenatelná, jelikož provedení uzemnění v parku profesora lista je vcelku nové a velmi dobře provedené. S tímto přístrojem bylo možné určit zda uzemnění vyhovuje, ale pro přesnější měření a úsporu času je lepší sáhnout po některém z novějších digitálních přístrojů. Dále zde bylo provedeno ověření vlivu zemního odporu v okolí zemniče, kde při přiblížení napěťové sondy k proudové sondě, nebo zemniči došlo k zmenšení této hodnoty zemního odporu. Tento údaj by se dal považovat za chybný, pokud bychom neuvažovali příliš nízkou hodnoty proudu, kterou jsme při točení kličky vytvářeli. V takovém případě by se mohlo jednat o tak malý potenciál v okolí zemniče a elektrody, který terromet nezaznamená. Následná zmenšená hodnota může být zapříčiněná při naměření pouze určité části úbytku napětí jako v předchozím případě

Poslední měření bylo provedeno za pomocí měřících kleští UNI-T UT275, které neumožňovali měření jednotlivých zemničů. Avšak oproti předchozím měřením bylo toto měření nenáročné a velmi rychlé

Literatura

[1] KUTÁČ, Jiří, Zdeněk ROUS a Zdeněk HLADNÝ. *Hromosvody a zemniče*. 2., přeprac. vyd. Praha: IN-EL, 2008. Elektro (IN-EL). ISBN 978-80-86230-45-0.

[2] BURANT, Jiří. *Blesk a přepětí: systémová řešení ochran*. Praha: FCC Public, 2006. ISBN 80-86534-10-3.

[3] ROUS, Zdeněk. *Přepěťové ochrany v elektrických instalacích do 1 000 V*. Praha: IN-EL, 1999. Knižnice Elektro. ISBN 80-86230-06-6.

[4] FENCL, František. *Elektrický rozvod a rozvodná zařízení*. Vyd. 3. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02771-6.

[5] NOVOTNÝ, Václav. *Uzemnění a jeho měření*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1973. Praktické elektrotechnické příručky.

[6] Technické normy: ČSN EN 62305-3 ed. 2 [online], 01.02.2014 [cit. 2018-12-29], Dostupné z:https://www.technickenormy.cz/csn-en-62305-3-ed-2-ochrana-pred-bleskem-cast-3-hmotne-skody-na-stavbach-a-ohrozeni-zivota-1/?gclid=Cj0KCQiA05zhBRCMARIsACKDWjdmQBRQ99XeSgSQaXKkOLGnFT4eMyy1QQVUX1EztfWUptL-tXgn02UaApohEALw_wcB

[7] Technické normy: ČSN 33 2000-5-54 ed. 3 [online], 27.04.2014 [cit. 2018-12-29], Dostupné z:https://www.technickenormy.cz/csn-33-2000-5-54-ed-3-elektricke-instalace-nizkeho-napeti-cast-5-54-vyber-a-stavba-elektrickych-zarizeni-uzemneni-a-ochranne-vodice-1/?gclid=Cj0KCQiA05zhBRCMARIsACKDWjdILGCcGPskDHt-DXLj3RDtrQqCvYZdK5ov9oep4yIdoNMzpvUv_O4aAvpeEALw_wcB

[8] Tzb-info, Ing. Jiří Burant. Základy zkoušení elektrické instalace [online], 10.08.2005 [cit. 2019-1-2], Dostupné z:https://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/2636-zaklady-zkouseni-elektricke-instalace-ii

[9] Katedra elektrotechniky Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ing. Jan Otýpka, Ing. Pavel Svoboda. Spínací a jistící přístroje [online], 2014 [cit. 2019-1-2], Dostupné z:http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/elektrotechnika/sylaby/spinaci_jistici_pristroje.pdf

[10] Oenergetice, Jan Moravec. Rozvodné sítě TN, IT a TT - popis, výhody a nevýhody [online], 09.03.2015 [cit. 2019-1-2], Dostupné z:http://oenergetice.cz/elektrina/rozvodne-site-tn-it-tt/

[11] Oenergetice, Jan Moravec**.** elektrické ochrany v soustavách nízkého napětí - 2. díl: Jistič [online], 17.03.2017 [cit. 2019-1-2], Dostupné z:http://oenergetice.cz/elektrina/elektricke-ochrany-v-soustavach-nizkeho-napeti-jistic/

[12] Katedra elektrotechniky Fakulta elektrotechniky a informatiky, VŠB – TU Ostrava, Ing. Tomáš Mlčák, Ph.D. Zemní odpor zemniče rezistivita půdy [online], 09.2009 [cit. 2019-1-4], Dostupné z:http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FAST/1-Mereni_zemniho_odporu.pdf

[13] docplayer, Sára Říhová. Hromosvody a zemniče [online], 2016 [cit. 2019-4-6], Dostupné z:https://docplayer.cz/17231249-Hromosvody-a-zemnice-obecne-zasady.html

[14] powerwiki. Uzemňování v elektrickém rozvodu [online], [cit. 2019-4-6], Dostupné z:https://www.powerwiki.cz/attach/EN2/REE_pr13_uzemnovani_new.pdf

[15] Dashofer. Elektrotechnické a telekomunikační instalace [online], 01.2010 [cit. 2019-4-8], Dostupné z:https://www.dashofer.cz/download/pdf/ele_ukazka2.pdf

[16] Profi elektrika. Měřicí přístroj pro měření zemních odporů a zemničů PU 193.

[17] [online], [cit. 2019-4-15], Dostupné z:https://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2005-04-02.4341876427

[18] Profi elektrika. Měření zemních odporů zemničů [online], [cit. 2019-4-15], Dostupné z:https://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2006-04-23.5273747958

[19] Katedra elektrotechniky Fakulta elektrotechniky a informatiky, VŠB – TU Ostrava, Ing. Ctirad Koudelka. Ochrana před bleskem [online], 01.2007 [cit. 2019-4-19], Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred_ZEP/Ochrana%20pred%20bleskem-CSN.pdf

[20] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, ČSN EN 62305-3 ed.2. Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života, 1. 2. 2012

[21] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, ČSN 33 2000-5-54 ed.3. Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče, 1. 5. 2012.

[22] ČSN 33 2000-4-41 ed.2. Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1. 9. 2007

[23] Pavlík**,** Ludvík a Jaroslava Orságová. Projekt uzemnění transformovny 110/22 kV. dostupné z:https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=13257

[24] SÍTAŘ, Martin a Marek KOPIČKA. *Hodnocení zemnících soustav VN/NN sítí*. 2017.

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky:

CO_2	Oxid uhličitý
ISG	Oddělovací jiskřiště
LPL	Hladina ochrany před bleskem
LPS	Systém ochrany před bleskem
SPD	Přepěťové ochranné zařízení

Symboly:

$\boldsymbol{a}$	Vzdálenost elektrod	[m]
$\boldsymbol{I}$	Proud	[A]
$\boldsymbol{K}$	Korekční činitel	[-]
$\boldsymbol{L}$	Největší rozměr zemniče	[m]
$\boldsymbol{l_r}$	Délka vlastního svislého zemniče	[m]
$\boldsymbol{l_v}$	Délka vlastního vodorovného zemniče	[m]
$\boldsymbol{l1}$	Minimální délka zemniče	[m]
$\boldsymbol{R}$	Odpor	[Ω]
$\boldsymbol{R_a}$	Odpor mezi zemničem a levou sondou	[Ω]
$\boldsymbol{R_b}$	Odpor mezi zemničem a pravou sondou	[Ω]
$\boldsymbol{R_c}$	Odpor mezi sondami	[Ω]
$\boldsymbol{r_e}$	Střední poloměr plochy obvodového nebo základového zemniče	[m]
$\boldsymbol{R_z}$	Odpor zemniče	[Ω]
$\boldsymbol{U}$	Napětí	[V]
$\boldsymbol{\rho}$	Rezistivita	[Ω/m]