



České
vysoké
učení technické
v Praze

Zemní ochrana

Martin Sirový

Vedoucí práce: Vít Klein, Ph.D.

Prosinec 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sirový** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **461395**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Zemní ochrana

Název bakalářské práce anglicky:

Ground protection

Pokyny pro vypracování:

- 1) Zemní ochrany
- 2) Principy zemní ochrany
- 3) Provedení zemní ochrany
- 4) Typy zemničů
- 5) Řešený příklad zemní ochrany

Seznam doporučené literatury:

1. AGRAWAL, K. C. Industrial power engineering and applications handbook. Boston: Newnes, c2001. ISBN isbn:978-0-7506-7351-8.
2. OSOLSOBĚ, Jan a Mirko ZAPLETAL. Zemnění a bezpečnost. Praha: ČSAV, 1964.
3. TOMAN, Petr. Provoz distribučních soustav. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **03.02.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **08.01.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat mému vedoucímu práce panu Vítu Kleinovi, Ph.D., za vedení mé bakalářské práce, za jeho rady, vstřícnost a duševní podporu. Dále chci kolegům z práce, za poskytnutí materiálů, zkušeností a cenných rad.

Prohlášení

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

V Praze, 16. prosince 2018

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá rozбором zemní ochrany, způsoby zemnění a různými typy návrhu zemnicí soustavy. Cílem práce je objasnit funkci ochranných opatření před úrazem elektrickým proudem a přiblížit nejčastěji používané zemnicí soustavy pro nízké napětí. Výstupem z mé bakalářské práce je porovnání různých druhů ochrany a vhodnost jejich použití do daných podmínek a porovnání různých druhů zemnicích soustav, s ohledem na jejich možnosti využití, ale i na způsoby montáže.

Klíčová slova: Zemnění, návrh zemnicí soustavy, ochrana před úrazem elektrickým proudem

Abstract

This bachelor thesis deals with ground protection analysis, grounding methods and various types of grounding system designs. The aim of the thesis is to clarify the function of protection measures against electric shocks and to show and describe the most commonly used low voltage earthing systems. The output of the bachelor thesis is a comparison of the different types of protection and the suitability of their use in the given conditions and also the comparison of the different types of earth systems, considering their possible utilization as well as to the ways of assembly.

Keywords: Grounding, protection against electric shock

Obsah

1 Úvod	1
2 Ochrana před úrazem elektrickým proudem	3
2.1 Základní pojmy	3
2.2 Rozdělení prostředí	3
2.3 Technická opatření před úrazem elektrickým proudem	4
3 Rozvod elektrické energie	9
Typy sítí	9
4 Zemní ochrany	15
4.0.1 Použití proudových chráničů GLCB	16
4.0.2 Systémy chráněné pomocí nadproudových spouští a HRC pojistek	17
4.0.3 Ochrana v prostředí s nebezpečím výbuchu	17
4.0.4 Ochrana pomocí proudových transformátorů CBCT	18
5 Principy zemní ochrany	21
5.0.1 Jističe	21
5.0.2 Pojistky	21
5.0.3 Proudový chránič GLCB	22
6 Provedení zemní ochrany	23
6.1 Definice pojmů	23
6.2 Typy zemničů	24
6.3 Požadavky na zemnění	30
6.4 Umístění zemničích bodů	30
6.5 Zemní odpor	30
6.6 Měření odporu země	31
6.7 Měření odporu zemniče	33
6.8 Materiál zemničích elektrod	35
6.9 Údržba zemničí stanice	38
7 Příklady výpočtu	39
7.1 Postup při návrhu zemnění	39
7.2 Příklad výpočtu	40
8 Řešený příklad zemní ochrany	43
8.0.1 Rezistivita půdy a její korekce	43
8.0.2 Výpočet odporu zemniče	43
9 Závěr	45
Zdroje	47
Obrázky	48
Tabulky	48

Obrázky

2.1 Ochrana polohou[1]	5
3.1 TN-C systém.....	10
3.2 TN-S systém	11
3.3 TN-C-S systém	11
3.4 TT systém	12
3.5 IT systém	13
4.1 Působení AC proudu na osobu o hmotnosti 50 kg při frekvenci 50 Hz [2]	16
4.2 Princip činnosti proudového chrániče [2]	16
4.3 Proudový chránič[2]	18
5.1 CBCT ochrana[2]	22
6.1 Měření rezistivity půdy[3]	31
6.2 Redukční činitel K[4]	32
6.3 Měření odporu zemniče [2]	33

Tabulky

2.1 Bezpečná napětí [1]	4
4.1 Důsledky průchodu proudu lidským tělem [2]	15
4.2 Optimální hodnoty impedance zemní smyčky [2]	17
4.3 Impedance zemní smyčky v prostorech s nebezpečím výbuchu [2]	18
6.1 Maximální dovolené proudové zatížení [3]	25
6.2 Vzorce pro výpočet zemního odporu [3]	29
6.3 Orientační rezistivita půdy [4] ..	32
6.4 Maximální dovolené proudové zatížení [3]	36
6.5 Minimální rozměry běžných zemničů uložených v betonu, nebo půdě [3]	37



Kapitola 1

Úvod

V dnešní době je elektrická energie významným zdrojem, který využíváme ve všech odvětvích průmyslu, ale i v domácnostech. Elektrická energie výrazně přispěla k ekonomickému a hospodářskému růstu a k vysokému životnímu komfortu. Její výhodou je snadná transformovatelnost na další druhy energie, jako je například tepelná, nebo mechanická. Další výhodou je její poměrně snadný přenos na velké vzdálenosti. Díky moderním postupům, při její výrobě, se stále snižují dopady na životní prostředí a to využíváním nových způsobů výroby elektrické energie, ale i modernizací klasických výrobních postupů. Na druhou stranu elektrická energie může také způsobit významné hospodářské škody, ekonomické škody a škody na lidských životech. Tyto negativní vlivy má za úkol omezit ochrana před úrazem elektrickým proudem. Existuje mnoho ochran zaměřených na ochranu obyvatel, nebo na ochranu majetku. Jedna ze základních ochran je realizována pomocí správného uzemnění. V mé bakalářské práci se zabývám principem funkce této ochrany, možnostmi provedení, návrhy a výpočty zemnicích soustav.

Kapitola 2

Ochrana před úrazem elektrickým proudem

2.1 Základní pojmy

- **Živá část:**
Vodivá část, která je během normálního provozu pod napětím.
- **Neživá část:**
Vodivá část, která je během normálního provozu bez napětí, ovšem během poruchy se může vyskytnout pod napětím.
- **Cizí vodivá část:**
Vodivá část, která není součástí elektrického zařízení, ale může přivést potenciál.
- **Dotykové napětí:**
Napětí, které se může při poruše izolace vyskytnout mezi částmi současně přístupnými dotyku.
- **Dotykový proud:**
Proud, který proteče lidským tělem při dotyku s živou částí.

2.2 Rozdělení prostředí

Normální prostory

jsou takové prostory, v nichž je používání elektrického zařízení považováno za bezpečné, protože působením vnějších vlivů nedochází ke zvýšení nebezpečí elektrického úrazu, pokud elektrické zařízení odpovídají ustanovením, která se jich týkají

Nebezpečné prostory

jsou takové prostory, kde je buď přechodné, nebo stálé nebezpečí úrazu elektrickým proudem, způsobené vnějšími vlivy.

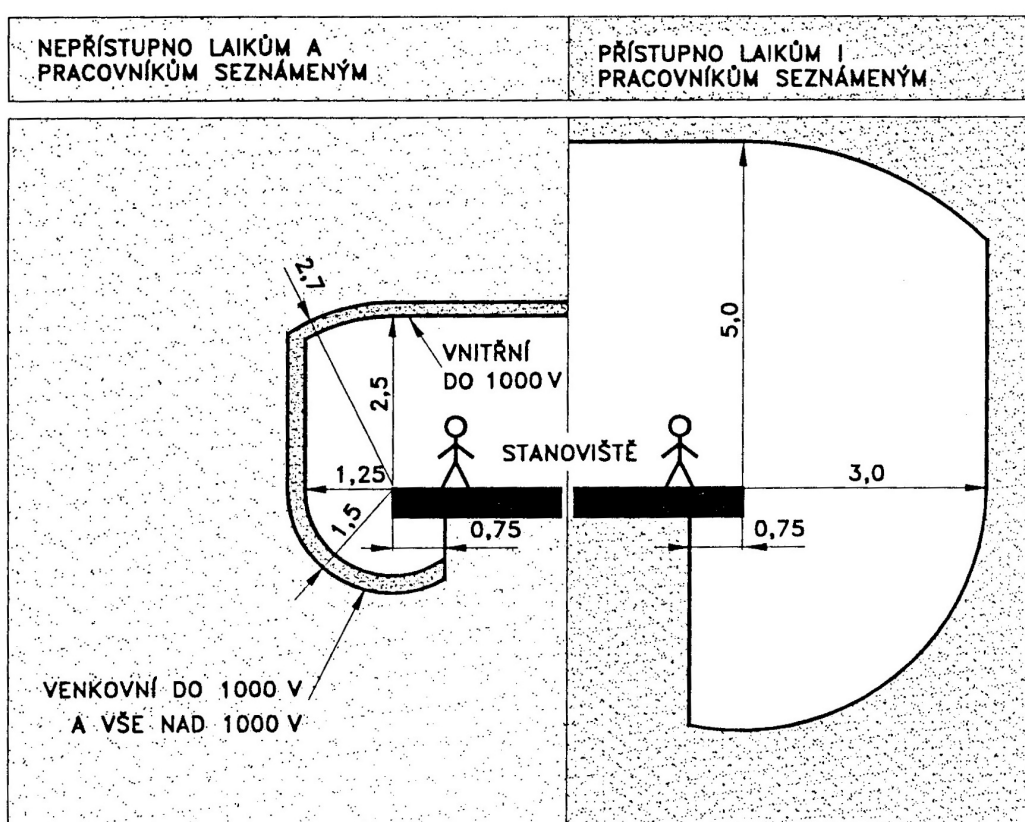
Zvláště nebezpečné prostory

jsou takové, kde působením zvláštních okolností, nebo vnějších vlivů, dochází ke zvýšení nebezpečí úrazu elektrickým proudem [1]

přístup pouze osoby s elektrotechnickou kvalifikací, je možné použít například jen zábradlí, nebo lana.

Ochrana polohou

Tato ochrana zajišťuje bezpečnost v umístění živých částí mimo dosah tak, že při běžném používání znemožní jejich dotyk. Tato ochrana je použita například na venkovním vedení elektrické energie, kdy jsou živé části (vodiče) umístěny vysoko nad zemí. Obrázek 2.1 znázorňuje předepsané vzdálenosti pro stanoviště. Minimální vzdálenosti jsou přesně popsány v příslušných normách. [2]



Obrázek 2.1: Ochrana polohou[1]

Doplňková ochrana proudovým chráničem

Tato ochrana je pouze doplňková a jejímu vybavení by mělo předcházet selhání některé z výše popsaných ochran. [1,2]

Podmínka pro rychlé odpojení zdroje od sítě:

V obvodu nesmí být, kvůli správné funkčnosti ochran, překročena maximální povolená hranice impedanční smyčky, která je dána vztahem:

Zařízení třídy ochrany III – zařízení, které je připojené k síti SELV, nebo PELV.

Samočinné odpojení v síti IT:

V systému IT jsou chráněné neživé části uzemněny, ale uzel sítě je izolován, nebo uzemněn přes tak velkou impedanci, že ho z hlediska funkce ochrany lze považovat za izolovaný. Při jednofázovém zemním spojení se síť začne chovat jako zemněná. Teoreticky by zemí neměl procházet žádný proud, protože by se neměl kudy uzavírat. Jelikož však síťové vodiče není možné zcela odizolovat, zejména kvůli vzájemným kapacitám, které vznikají mezi vodiči a zemí, prochází zemí malý poruchový proud. Velikost tohoto proudu je rovna vektorovému součtu kapacitních a svodových proudů sítě. Pokud je splněna podmínka:

$$R_z \cdot I_d \leq U_{dov} [\Omega, A, V] \quad (2.3)$$

kde:

R_z je odpor uzemnění neživých částí

I_d je poruchový proud při první poruše na síti

U_{dov} je maximální bezpečná hodnota dotykového napětí v daném prostoru

je možné tuto síť provozovat dále i s jedním zemním spojením. Touto podmínkou je zajištěno, že dotykové napětí na neživých částech nepřesáhne maximální možnou bezpečnou hranici. [2,3]

Kapitola 3

Rozvod elektrické energie

Tato kapitola se věnuje různým druhům celosvětově rozšířených rozvodných sítí zahrnujících domy, budovy, vysokonapěťové i nízkonapěťové rozvodny, průmysl a elektrárny. Typy sítí se mohou lišit podle jmenovitého napětí systému, typu instalace, připojeného zařízení a prostředí, v němž je instalace provedena. Základní kritéria pro navrhování uzemnění jsou:

- ochrana lidského těla před elektrickým úrazem
- dostupnost napájení při zemní poruše, pokud je požadováno
- ochrana před úderem bleskem
- ochrana před škodou na majetku

Pro typy sítí jsou definovány tyto zkratky:

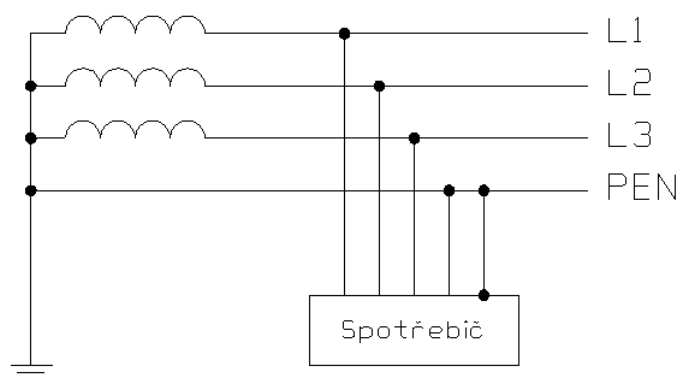
- T – terre, uzemněný střed sítě
- I – izolovaný střed sítě
- N – pracovní vodič N připojený ke středu sítě

■ Typy sítí

- TN:
- TN-C:

Čtyřvodičový systém se společným vodičem N a PE nazvaným PEN (PGN). Všechny kovové, neživé části připojeného zařízení jsou připojeny na vodič PEN dle obrázku 3.1. Během poruchy protéká proud vodičem PEN. V případě zkratu, se na všech neživých částech připojených zařízení v síti, objeví fázové napětí. Tento typ instalace proto není doporučený v

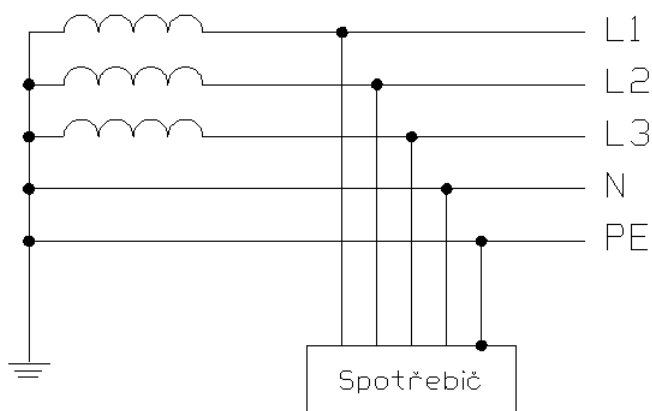
prostorách kontaminovaných těkavými látkami a v prostorách s nebezpečím požáru nebo výbuchu. Tato soustava musí být jištěna systémem HRC pojistek. Tento typ soustavy je také velmi náchylný na rušení a musí zde proto proběhnout kontrola třetích harmonických. Systém proto není vhodný pro prostory s použitím většího množství spínaných zdrojů. Pro zamezení těchto problémů je možné zemnit každé zařízení v soustavě samostatně. V dnešní době je snaha nahradit tuto instalaci typem TN-S. [2]



Obrázek 3.1: TN-C systém

■ TN-S:

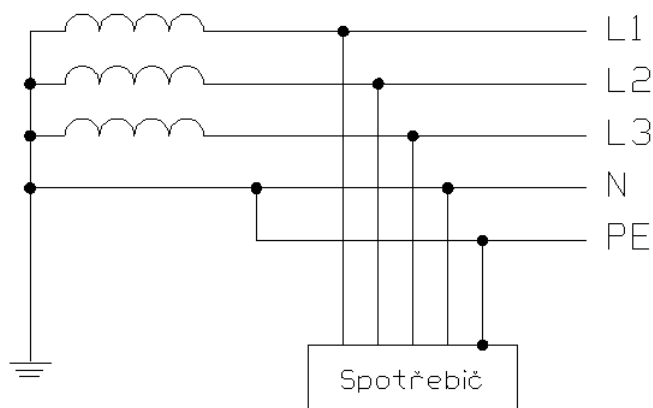
V tomto systému jsou použity dva neutrální vodiče. Vodič PEN je rozdělen na dva vodiče. Na vodič N a PE, dle obrázku 3.2. Vodič N je použit pro spojení středu sítě zařízení se středem rozvodné sítě. PE vodič je použit jako ochranný vodič. Při zkratu se v tomto systému neobjeví fázové napětí na neživých částech zařízení, připojených v síti. Síť je také odolnější vůči třetí harmonické, proto je možné tuto síť použít i pro výpočetní techniku, kde je velká koncentrace spínaných zdrojů. [2]



Obrázek 3.2: TN-S systém

- TN-C-S:

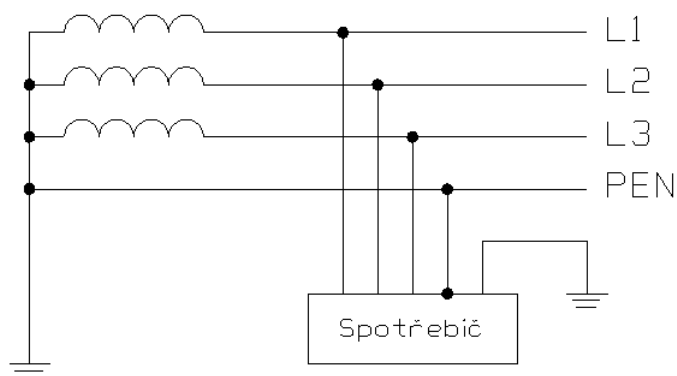
Je kombinací obou výše zmíněných systémů. Používá se při rekonstrukci části rozvodů TN – C, kdy napojujeme rozvod TN – S. V místě napojení na soustavu TN – C je vodič rozdělen na vodiče PE a N, které jsou nadále používány jako v soustavě TN – S. Tyto dva rozdělené vodiče se však už dále nesmí spojit. Princip je znázorněn na obrázku 3.3 [2]



Obrázek 3.3: TN-C-S systém

■ TT:

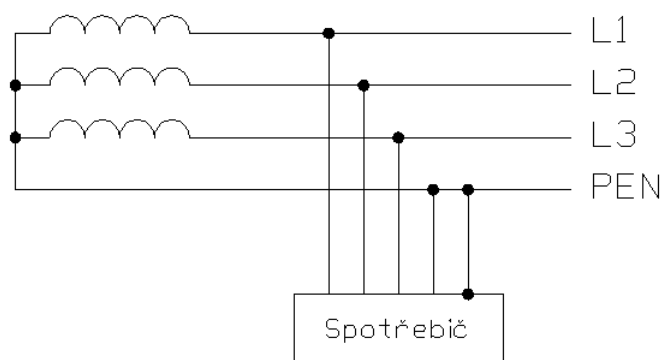
Transformátor, nebo zdroj a jeho rám jsou uzemněny. Neživé části jsou uzemněny zvlášť, na místě jejich pozice. Tento systém je náchylný k přepětí. Zemní proud je omezen pomocí impedance zemní smyčky a vadné zařízení je chráněno pomocí RCD. Riziko výbuchu, nebo požáru je nízké. Schéma zapojení je znázorněno na obrázku 3.4 [2]



Obrázek 3.4: TT systém

■ IT

Systém s izolovaným středem sítě. Střed sítě je spojen se zemí přes tlumivku, jak je znázorněno na obrázku 3.5. Touto tlumivkou prochází proud v případě zemního spojení. Tento systém může být provozován při jednofázovém zemním spojení. Jedná se proto o spolehlivou síť, která se používá především pro napájení důležitých objektů. Touto sítí se nejčastěji napájejí nemocnice, důležité státní úřady a průmyslové zóny, kde může při výpadku energie dojít k velkým hospodářským škodám nebo velká města. Při zemním spojení ovšem dojde k posunutí středu sítě a změně napěťových poměrů. Proto je nutné s touto změnou počítat. Porucha zemního spojení jedné fáze musí být ovšem co nejrychleji vyřešena. Při zemním spojení dvou fází by totiž hrozila vážná porucha. Díky pokročilému elektrotechnickému vybavení se však daří poměrně dobře zjistit místo poruchy. [2]



Obrázek 3.5: IT systém

Kapitola 4

Zemní ochrany

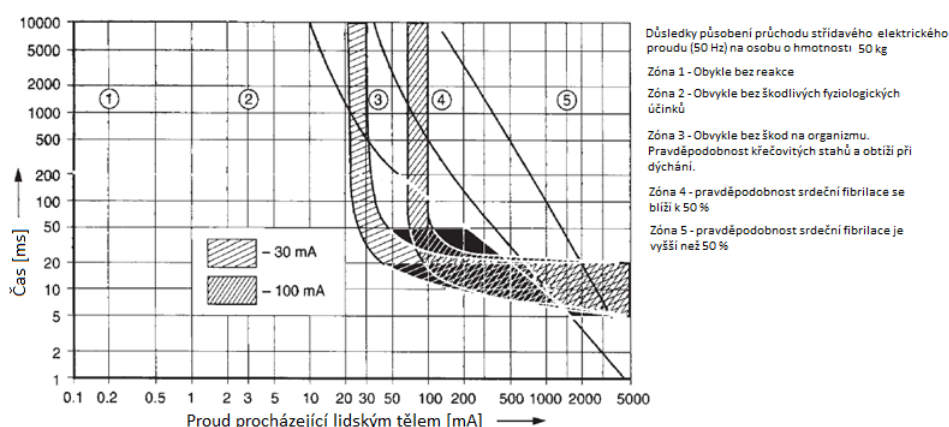
Elektrický proud může způsobit svalovou kontrakci, bezvědomí, fibrilaci srdce, zablokování respiračního nervu nebo popálení. Srdce, které je nejzranitelnějším orgánem lidského těla, je nejvíce poškozeno ventrikulární fibrilací, což může vést k okamžitému zastavení krevního oběhu. Tabulka 4.1 ukazuje následky průchodu elektrického proudu lidským tělem po minimální dobu jednoho srdečního tepu.

Velikost proudu [mA]	Frekvence [Hz]	Důsledky
100	50 - 60	Smrt
60 - 100	50 - 60	Pravděpodobná smrt
10 - 60	50 - 60	Těžké dýchání a svalové kontrakce
10 - 13	50 - 60	Svalové kontrakce
5 - 9	50 - 60	Bezpečné
1 - 4	50 - 60	Práh vnímání

Tabulka 4.1: Důsledky průchodu proudu lidským tělem [2]

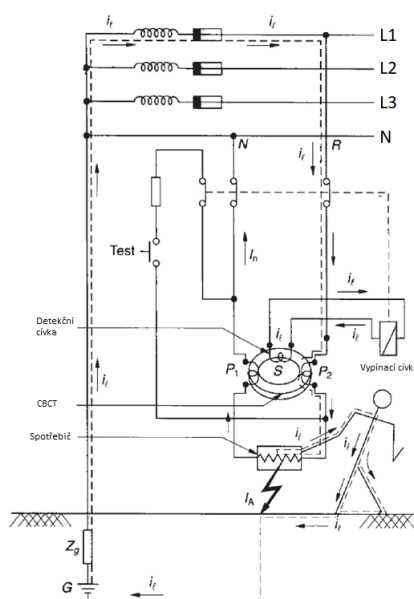
Pro vysoké frekvence (5 kHz a vyšší) se hodnoty velikosti proudu v tabulce výrazně liší. Při vysokých frekvencích vydrží lidské srdce průchod většího proudu. Je to dáno velmi malou periodou proudu, procházejícího lidským tělem (30 ps nebo méně). Proud prochází srdcem, pokud prochází rukou do druhé ruky, nebo jednou rukou a nohou. Proud procházející mezi jednou nohou a druhou nohou nemusí být považován za nebezpečný vůči srdci. Může ale způsobit popáleniny, nebo svalové křeče, jejichž následkem může být pád a následná smrt. Ochrana proti zemnímu spojení zdůrazňuje zachování poruchového proudu pod prahovou hodnotou fibrilace a po dobu kratší, než je srdeční tep, v rozmezí 60 - 300 ms. [4]

4. Zemní ochrany



Obrázek 4.1: Působení AC proudu na osobu o hmotnosti 50 kg při frekvenci 50 Hz [2]

4.0.1 Použití proudových chráničů GLCB



Obrázek 4.2: Princip činnosti proudového chrániče [2]

Tento způsob ochrany je používán nejčastěji v domovních instalacích, nebo v menších průmyslových prostorech. Jistící prvky, použité pro ochranu obvodů, nemusí být kvůli vysoké impedanci obvodů schopny detekovat únik zemního proudu, který se pohybuje v řádech mA. Účinné řešení tohoto problému nabízí proudový chránič, jehož princip je znázorněn na obrázku 4.2. Proudový chránič je schopen detekovat únik proudu už od 10 mA a zajistit včasné odpojení elektrické energie, čímž poskytuje bezpečnost lidskému tělu. Jedná se o známé a velmi rozšířené řešení bezpečnosti zemního uzemnění. V

praxi se používají hodnoty 30 mA a 300 mA.

■ 4.0.2 Systémy chráněné pomocí nadproudových spouští a HRC pojistek

Hodnota impedance zemní smyčky je vždy předurčena v závislosti na požadavcích systému a druhu ochrany, která je v systému použita. U systémů chráněných pouze nadproudovou spouští, nebo pojistkou HRC, musí mít zemní smyčka poměrně nízkou impedanci, která způsobí vysoký zemní poruchový proud. Tento proud je poté dostačující k aktivaci příslušné ochrany. Tento požadavek je nutný hlavně pro vysoce zatížené systémy. Systémy s nízkým stupněm zatížení mohou způsobit vyšší zemní poruchový proud, který dostačuje ke správnému sepnutí ochran. Pravidlem pro určení impedance zemní smyčky je považovat zemní poruchový proud za pětinašobek nadproudového nastavení jističe pro systémy chráněné jističem, nebo třikrát vyšší u pojistek, pro systémy chráněné pojistkami. Tabulka 4.2 popisuje optimální hodnotu impedance zemní smyčky. Při těchto hodnotách proudů dojde k vypnutí pomoci nadproudové spouště přibližně za 130 až 270 sekund. Pro správnou funkci jisticích obvodů je nutné dodržet všechny předpisy, jako je například ochranné pospojování v koupelnách. [4,5]

Proudová hodnota pojistky [A]	Proudová hodnota jističe [A]	Impedance smyčky [Ω]
5	10	16
10	20	8
15	30	5,3
20	40	4
30	60	2,7
40	80	2
60	120	1,33
80	160	1
100	200	0,8
125	250	0,64
150	300	0,53

Tabulka 4.2: Optimální hodnoty impedance zemní smyčky [2]

■ 4.0.3 Ochrana v prostředí s nebezpečím výbuchu

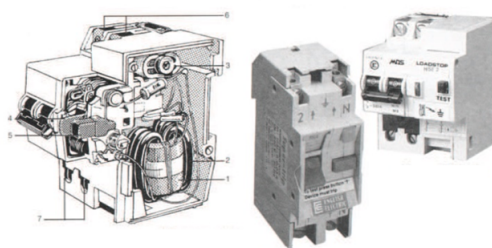
Jedná se o prostory, kde může i malý poruchový proud způsobit životu nebezpečnou situaci. Proto je nutné udržovat poruchové proudy na velmi malých hodnotách, pomocí dané úrovně impedance zemní smyčky. Svodový proud na nebezpečných místech, jako jsou rafinerie, petrochemické závody a doly, by neměl překročit 15 % jmenovitého proudu obvodu, nebo 5 A, podle toho, která hodnota je větší. Tabulka 4.3 udává maximální přípustné zemní proudy pro oblasti s nebezpečím výbuchu při 15 % jmenovitého proudu a doporučenou

maximální impedanci zemnicí smyčky. Použití proudových chráničů (CBCT) je pro takovéto případy běžným a rozšířeným řešením. Princip činnosti je znázorněn na obrázku 5.1. Stejně, jako v případě GLCB ochran, je zemní proud použit k odepnutí systému od zdroje. [4]

Jmenovitý proud obvodu [A]	Maximální přípustný zemní proud [A]	Maximální doporučená hodnota zemní smyčky při napětí 240 V
5	5	32
10	5	32
15	5	32
20	5	32
30	5	32
40	6	26,7
60	9	17,8
80	12	13,3
100	15	10,7
125	18,7	8,6
150	22,5	7,1
175	26,2	6,1
200	30	5,3
300	45	3,5
400	60	2,7

Tabulka 4.3: Impedance zemní smyčky v prostorech s nebezpečím výbuchu [2]

4.0.4 Ochrana pomocí proudových transformátorů CBCT



Obrázek 4.3: Proudový chránič[2]

CBCT se obecně používají k detekci malých zemních proudů, například v dolech a jiných nebezpečných instalacích. Mohou být také použity k ochraně citlivých zařízení, kde hrozí poškození už při malých zemních proudech. Transformátory mají toroidní, nebo obdélníkový tvar, stejně jako klasické proudové transformátory. Rozdíl mezi touto a konvenční ochranou spočívá v detekci

velmi malých zemních proudů.

Kapitola 5

Principy zemní ochrany

5.0.1 Jističe

Jistič je ochranný prvek, používaný v téměř každé instalaci. Jeho základní princip je založen na indikaci vyšších proudů, než jmenovitých a odpojení poruchového obvodu od zdroje. K detekování poruchového proudu je jistič vybaven nadproudovou spouští a bimetalem. Bimetalová spoušť slouží k detekci proudů, které nejsou zkratové, ale jsou vyšší než jmenovité. Doba detekce takového proudu je řádově od několika sekund do několika hodin a závisí na velikosti poruchového proudu. Nadproudová spoušť má za úkol rozpoznat velké nárůsty proudu - zkratové proudy. V takovém případě jistič zapůsobí a odepne obvod od zdroje. Než dojde k vybavení jističe, zkratový proud obvykle naroste do svého maxima. Proto je v některých případech nutné použít místo jističe pojistku, která je schopná omezit zkratový proud. Rozdělení jističů je řešeno dle jejich vypínací charakteristiky, které se liší v době vybavení od detekce většího proudu, než je jmenovitý. Základní charakteristiky jsou B, C a D. Každá z těchto charakteristik se hodí pro spínání různých zátěží. Charakteristika B je vhodná pro běžné využití na zásuvkové obvody, charakteristika C je vhodná například k jistění zářivek a charakteristika D se hodí k jistění motorů. Existuje hodně druhů jističů určené od běžného použití, přes jističe pro motory až po vzduchové jističe pro jmenovité proudy v rádech tisíců Ampér.

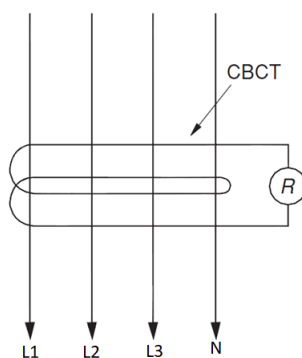
5.0.2 Pojistky

Existuje několik základních druhů pojistek. Trubičkové pojistky, které se většinou používají v malých zařízeních a jejich hodnoty dosahují obvykle jednotek Ampér, válcové pojistky, které mají běžný rozsah od několika jednotek Ampér ampér do 125 Ampér a nožové pojistky, které se pohybují až v hodnotách stovek Ampér. Dalším typem pojistek je pojistka pomalá, kterou lze použít například pro rozběh elektromotorů. Výhodou použití pojistek je jejich schopnost omezit zkratový proud. I z tohoto důvodu se pojistky velmi často řadí před jističe, které by nebyly schopny vypnout daný zkratový proud. Nevýhodou je nutnost výměny pojistky při každém jejím přetavení. Princip funkce pojistky je velmi jednoduchý. Uvnitř obalu je vložen drátek takového průřezu, aby při průchodu většího proudu, než je jmenovitý proud pojistky,

došlo k jeho přetavení a tím i k přerušení obvodu. S výjimkou trubičkových pojistek, kde je většinou drátek uvnitř skleněné trubičky, je drátek většinou zasypán v písku a uložen v keramickém pouzdře.

■ 5.0.3 Proudový chránič GLCB

Obrázek 4.3 ukazuje vnitřní rozložení proudového chrániče. Na toroidním jádru jsou navinuty tři vinutí. Proud, který přitéká ze sítě, prochází kontaktem a vinutím P2 a pokračuje do chráněných obvodů. Z obvodů se proud vrací zpět do sítě přes vinutí P1 a kontakt. Průchod proudů vinutím P2 vyvolá v magnetickém obvodu jádra magnetický tok. V bezporuchovém stavu je tento tok vykompenzován magnetickým tokem z vinutí P1. Při poruše se proud přivedený ze sítě rozdělí na dvě části. První část tvoří zemní poruchový proud a druhá část projde vinutím P1. Tento rozdíl proudů zapříčiní narušení rovnováhy magnetických toků v jádře a do vinutí S se naindukují napětí. Toto napětí zapříčiní okamžité vypnutí obvodů [4]. Použití proudových chráničů je v ČR povinné v instalacích zásuvkových obvodů, které jsou přístupné laické obsluze, s výjimkou zásuvky pro lednici a datová úložiště, kde by mohlo nechtěným vybavením ochrany dojít k hmotným škodám.



Obrázek 5.1: CBCT ochrana[2]

Kapitola 6

Provedení zemní ochrany

Uzemnění může sloužit zároveň jako ochranné i jako pracovní, nebo jako dva samostatně provedené celky. Požadavky na ochrannou funkci mají ale vždy přednost.

Zemnič musí být pomocí uzemňovacího přívodu spojen s hlavní ochrannou svorkou, nebo přípojnici.

Požadavky na provedení uzemnění jsou:

- Spolehlivost a vhodnost provedení z hlediska požadavků ochrany instalace.
- schopnost odolat zemním poruchovým proudům, nebo proudům, které přichází ochranným vodičem k zemi, aniž by to vyvolalo nebezpečí namáhání z hlediska tepelného, tepelně mechanického, nebo elektromagnetického, nebo nebezpečí úrazu elektrickým proudem v důsledku těchto proudů.

Typ a materiál zemniče musí být navržen tak, aby nepodléhal korozním vlivům, ani neztratil požadovanou mechanickou pevnost po celou plánovanou dobu jeho provozu.

Odpor zemniče závisí na jeho rozměrech, tvaru a na rezistivitě půdy, ve které je uložen. Rezistivita půdy se obvykle liší od místa k místu a mění se i v závislosti na hloubce. [5]

6.1 Definice pojmů

- Uzemnění
Je provedení elektrického spojení mezi daným bodem v síti, v instalaci, nebo v zařízení a lokální zemí. Spojení může být úmyslné, neúmyslné, nebo náhodné.
- Ochranné uzemnění
Uzemnění bodu, nebo několika bodů v elektrické síti, instalaci, nebo zařízení za účelem bezpečnosti. V oblasti bezpečnosti práce chrání osoby před nebezpečným dotykem neživých částí.

- **Pracovní uzemnění**
Je spojení některé živé části elektrického obvodu se zemí buď přímo, nebo nepřímo, prostřednictvím svodiče přepětí. Jedná se o uzemnění uzlů strojů, výkonových transformátorů, vinutí zhášecích cívek, uzlu, nebo jednoho konce přístrojových transformátorů a svodičů přepětí.
- **Rezistivita půdy**
Rezistivita typického vzorku půdy (měrný odpor půdy).
- **Zemnič**
Vodivá část, která může být uložena v daném vodivém prostředí (např. betonu) v elektrickém styku se zemí.
- **Strojený zemnič**
Zemnič záměrně zřízený pro uzemnění.
- **Náhodný zemnič**
Vodivý předmět trvale uložený v zemi, ve vodě, nebo v betonu, který byl vybudován k jinému účelu než k uzemnění, ale je možno ho využít jako zemnič.
- **Základový zemnič**
Zemnič uložený v betonových základech (budov, stožárů, nosných konstrukcí).

6.2 Typy zemničů

- **Náhodný zemnič**
Náhodný zemnič musí vždy splňovat parametry, které jsou určeny pro strojené zemniče, jako je průměr, délka, tloušťka apod. Jako náhodný zemnič lze využít například armování základů budov, potrubí, nebo kovových konstrukcí.

Kovové vodovodní potrubí lze jako zemnič použít pouze tehdy, pokud je k tomu udělen souhlas od majitele potrubní sítě. Potrubní systémy pro rozvod hořlavých kapalin, plynů, topných systému, apod. nelze využít jako zemniče pro ochranné uzemnění. [5]

Kovové pláště kabelů mohou být pro zemnění použity, pokud nepodléhají korozi a je k tomu udělen souhlas majitele kabelů. Je také nutné, aby byl uživatel seznámen s jakoukoliv změnou v kabelovém systému, která by mohla ovlivnit jejich uzemňovací schopnost. [5]

- **Tyčové zemniče**
Jedná se o systém tyčí zaražených svisle do země. Obvyklá délka tyče se pohybuje mezi 1 až 3 metry.

Jeho přibližný odpor lze určit ze vztahu:

$$R = 0.9 \frac{\rho}{l} [\Omega, \Omega m, m] \quad (6.1)$$

kde:

R je vypočtený zemní odpor
 ρ je měrný odpor země
 l je délka tyče

Vzorec pro přesný výpočet je uveden v tabulce 6.2.

■ Páskový nebo drátový vodič

Páskový nebo drátový vodič o délce l a průřezu d , který je uložen rovně v zemi. Jeho přibližný odpor lze určit ze vztahu:

$$R = 2 \frac{\rho}{l} [\Omega, \Omega m, m] \quad (6.2)$$

kde:

R je vypočtený zemní odpor
 ρ je měrný odpor země
 l je délka tyče

Vzorec pro přesný výpočet je uveden v tabulce 6.2.

Tabulka 6.1 uvádí maximální možné zatížení páskových vodičů FeZn s ohledem na dobu trvání průchodu proudu.

Dovolený proud [kA]			
t [s]	30x4 mm	40x4 mm	20x5 mm
0,1	26,7	35,6	22,2
0,2	18,9	25,2	15,7
0,3	15,4	20,5	12,8
0,4	13,3	17,8	11,1
0,5	11,9	15,9	9,96
0,6	10,9	14,5	9,9
0,7	10,1	13,4	8,42
0,8	9,45	12,6	7,87
0,9	8,91	11,8	7,42
1	8,45	11,2	7,04

Tabulka 6.1: Maximální dovolené proudové zatížení [3]

- Páskový nebo drátový vodič v kruhu

Vodič je v tomto případě uložen v kruhu o průměru D .

Jeho přibližný odpor lze určit ze vztahu:

$$R = 2,1 \frac{\rho}{l} [\Omega, \Omega m, m] \quad (6.3)$$

kde:

R je vypočtený zemní odpor

ρ je měrný odpor země v

l je délka tyče

Vzorec pro přesný výpočet je uveden v tabulce 6.2.

- Páskový nebo drátový vodič paprskový

Dva vodiče na sebe kolmé, které jsou uloženy buď na povrchu, nebo v hloubce $z \ll l$. Jejich přibližný odpor lze určit ze vztahu:

$$R = 0,7 \frac{\rho}{l} [\Omega, \Omega m, m] \quad (6.4)$$

kde:

R je vypočtený zemní odpor

ρ je měrný odpor země

l je délka tyče

Vzorec pro přesný výpočet je uveden v tabulce 6.2.

- Mřížová síť

Pro mřížovou síť je možné použít dráty, nebo páskové vodiče. Poté je potřeba přepočítat jejich celkovou plochu na kruhový tvar, dle tabulky 6.2, ve které je uveden i přesný výpočet, pro tento druh zemniče.

- Zemnicí deska

Přibližný odpor vůči zemi můžeme určit ze vztahu:

$$R = \sqrt{\frac{\rho}{2A}} [\Omega, \Omega m, m^2] \quad (6.5)$$

kde:

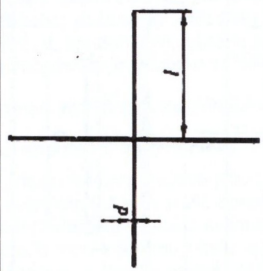
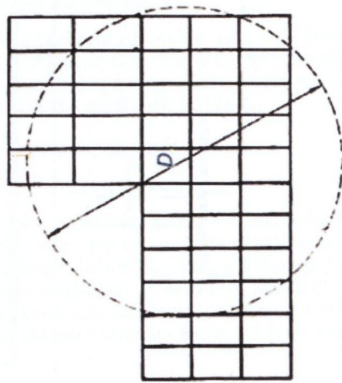
ρ je měrný odpor země

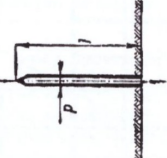

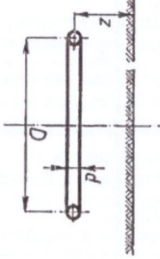
A je plocha každé strany desky

Z výše uvedeného je odpor zemnicí desky vůči zemi nepřímo úměrný druhé odmocnině plochy desky. Změna odporu s velikostí desky je znázorněna v tabulce 6.2.

- Vzorce pro výpočet zemního odporu

6. Provedení zemní ochrany

Typ zemniče	Uložení	Zemní odpor (Ω) (exaktní vzorec)	Podmínky použití	Zemní odpor (Ω) vzorec pro přibližný odhad	Podmínky použití	Poznámka
Páskový nebo drátový vodič paprskový		$R = \frac{\rho}{4\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + 1 \right)$	$l \gg d$	$R = 0,7 \frac{\rho}{l}$	$\frac{l}{4} \gg d$ $l < 30 \text{ m}$	Na povrchu země, popř. v hloubce $z \ll l$
Mřížová síť Celková délka vodičů l				$R = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{l}$		Pro síť nekruhového tvaru o ploše S $D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$

Typ zemniče	Uložení	Zemní odpor (Ω) (exaktní vzorec)	Podmínky použití	Zemní odpor (Ω) vzorec pro přibližný odhad	Podmínky použití	Poznámka
Tyč		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$l \gg \frac{d}{2}$	$R = 0,9 \frac{\rho}{l}$	$l \gg \frac{d}{2}$ v rozmezí $l = 1$ až 3 m	
Páskový nebo drátový vodič		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2z} \right)$	$l \gg d$ $z \ll \frac{l}{4}$	$R = 2 \frac{\rho}{l}$	$l \gg d$ $z \ll \frac{l}{4}$ v rozmezí $l = (10 \text{ až } 50) \text{ m}$	Pro páskový vodič šířky b
Páskový nebo drátový vodič v kruhu		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 l} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{\pi D}{2z} \right)$	$D \gg d$ $z \ll \frac{D}{2}$	$R = 2l \frac{\rho}{l}$	$D \gg d$ $z \ll \frac{D}{2}$ $\frac{D}{z} \gg 10$	$d = \frac{b}{2}$

Tabulka 6.2: Vzorce pro výpočet zemního odporu [3]

6.3 Požadavky na zemnění

Maximální odpory uzemnění, které jsou uvedeny v technických normách, vycházejí z maximálních dovolených napětí na uzemněních a v jejich okolí, jak při poruchovém stavu, tak i dotykových a krokových napětí při poruše. Hodnoty dotykových a krokových napětí vycházejí z poznatků účinků elektrického proudu na lidský organismus a o impedancích lidského těla. [6]

Uzemnění vodiče PEN v síti TN-C, nebo vodiče PE v síti TN-S, má mít dle ČSN 33 2000-5-54 ed.3 odpor uzemnění maximálně 15 Ω . Není však třeba instalovat zemnicí pásy delší než 20 m. V uzlu zdroje, na konci vedení a u odboček sítě má být odpor uzemnění nejvýše 5 Ω . V tomto případě není třeba instalovat zemnicí pásy delší než 50 m, nebo jiné rovnocenné zemniče.

Pro snížení dotykových napětí je možné uložit do země tzv. ekvipotenciální práh. Jedná se o jeden páskový, nebo drátový vodič v hloubce 30 až 40 cm a ve vzdálenosti 1 m od vodivé konstrukce.

6.4 Umístění zemnicích bodů

Zemní impedance v systémech nízkého napětí je obecně vysoká. Pro dosažení zemního poruchového proudu řádově 1,5 až trojnásobku jmenovitého proudu, který je nutný k ochraně nízkonapěťového systému při zemním spojení, je nutné vytvořit vhodná opatření, která co možná nejvíce sníží impedanci půdy. Pro dosažení tohoto stavu se zemnění provádí v dostatečných hloubkách a se zajištěnou vlhkostí během celého roku. Vlhkost se zajišťuje například perforovanou trubkou, vedenou u elektrody, do které je zavedena voda. I s tímto opatřením může být odpor země stále příliš vysoký. Proto se používá více zemnicích bodů v blízkém okolí, které jsou vzájemně propojeny. Tím dosáhneme požadované hodnoty zemního odporu. Za uspokojivou hodnotu se považuje 2,5 Ω . Ideální hodnota je však kolem 1 Ω . Zemnicí stanice mohou být od sebe vzdáleny dva a více metrů, vhodná vzdálenost je 4,5 až 6 metrů. Minimální vzdálenost vrcholu elektrody od země je 1,5 metru. [7]

6.5 Zemní odpor

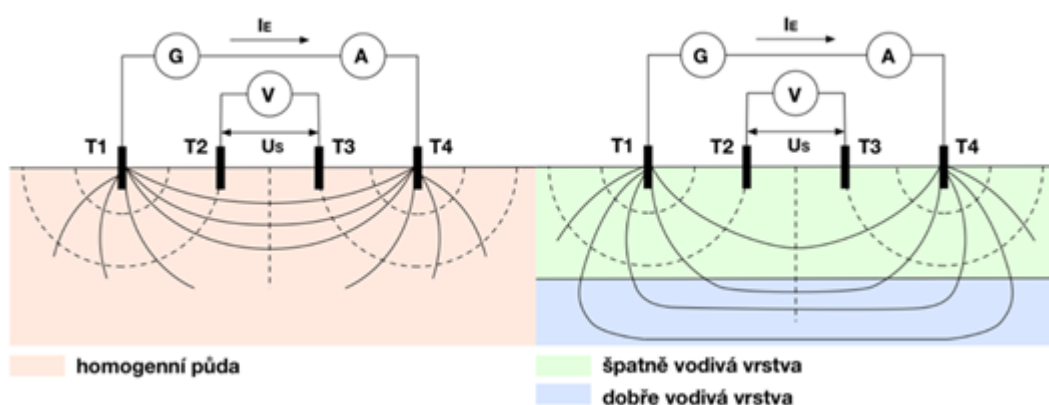
Zemní odpor můžeme definovat jako výsledný činný odpor mezi zemničem a půdou, která je od zemniče vzdálena natolik, aby jím nebyla nijak ovlivňována. Zemní odpor je jednou z hlavních veličin, používaných při výpočtu požadovaného odporu zemnicí soustavy. Z tohoto výpočtu dostaneme teoretickou hodnotu odporu zemnicí soustavy, podle které musíme navrhnout danou soustavu tak, aby vyhověla vypočteným teoretickým požadavkům a odpovídající normě. Po realizaci navržené zemnicí soustavy je nutné tento zemní odpor ověřit měřením a zkontrolovat tak správnou funkci zemnicí soustavy. Kontrolní měření je třeba provádět i nadále během provozu a po jakýchkoliv

rekonstrukcích, které by mohly ovlivnit správnou funkci zemnicí soustavy. Měření odporu zemnice může být značně ovlivněno při měření bezprostředně po realizaci, kdy není okolní půda ještě dobře usazena a kontakt se zemnicem tím pádem není dokonalý. Zemní odpor tak může dosahovat vyšších hodnot. [8]

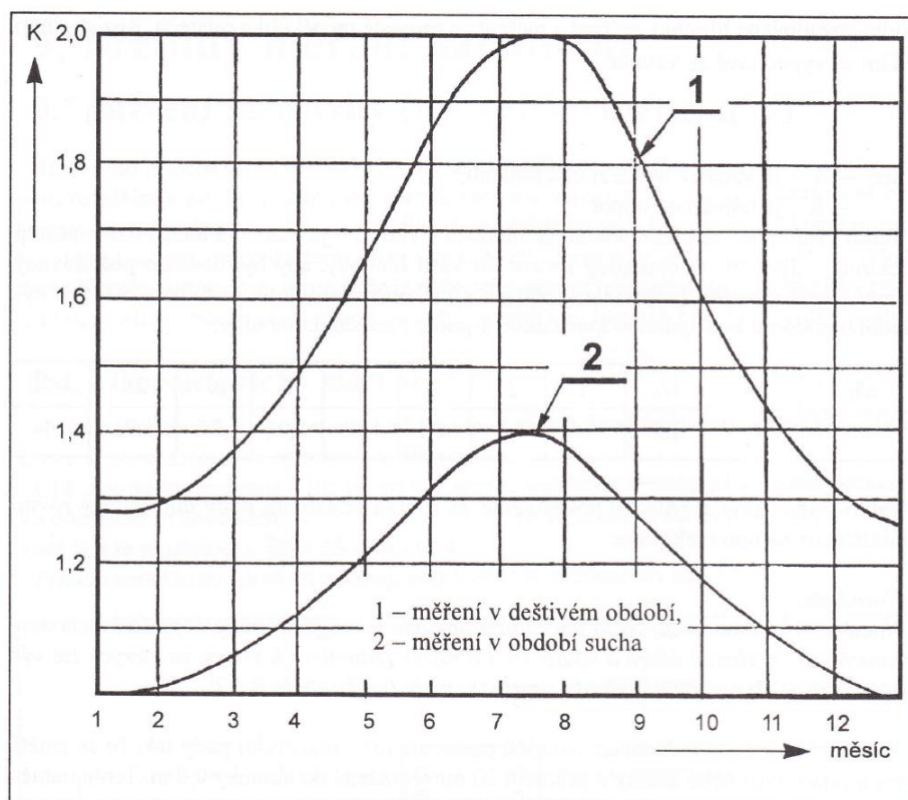
6.6 Měření odporu země

Rezistivita vyjadřuje vodivost materiálu a tedy i jeho schopnost vést elektrický proud. Proto je měření této veličiny pro návrh zemnicí soustavy zcela nezbytné. Cílem při návrhu a realizaci zemní soustavy je dosáhnout ideálně nulové rezistivity půdy, což ale není možné. Proto se pokoušíme dosáhnout co nejnižší hodnoty rezistivity půdy. Rezistivitu půdy může ovlivnit mnoho okolností, jako třeba vlhkost, teplota, ale i nadmořská výška. Rezistivita půdy také nebude na všech místech konstantní, ale může se lišit jak ve vodorovném směru, tak ve svislém směru v závislosti na různých půdních vrstvách. Ve vyšších nadmořských výškách (nad 400 m n. m.) dochází častěji k atmosférickým srážkám, které odplavují kvalitní zeminu do nižších nadmořských výšek. To má za následek zhoršení kvality půdy a tím i zvýšení její rezistivity. Naopak v nižších nadmořských výškách je kvalita půdy lepší a rezistivita půdy klesá. Tato veličina se udává v jednotkách Ωm , což je údaj popisující odpor válce zeminy o průřezu $1m^2$ a délce 1 m. V tabulce 6.3 podle normy ČSN 34 1390 jsou uvedeny orientační hodnoty rezistivity pro nejčastější typy zemin. [9]

Během roku se mění vlhkost půdy v závislosti na stavu hladin vodních toků, dlouhodobému počasí a podle ročních období. Při návrhu zemnicí soustavy je nutné tento výkyv kompenzovat. Vliv kolísání měrného odporu půdy eliminujeme pomocí činitele K . V závislosti na době měření odečteme z tabulky 6.2 hodnotu činitele K , podle které eliminujeme vliv počasí a ročních období na naměřené výsledky.



Obrázek 6.1: Měření rezistivity půdy[3]



Obrázek 6.2: Redukční čísel K[4]

Typ půdy	Rezistivita půdy[Ωm]
Rašelina	30
Ornice, jíl	100
Vlhký písek	200 - 300
Vlhký štěrk s malým obsahem písku	300 - 500
Suchý písek, nebo štěrk	1000 - 3000
Suchá kamenitá půda	3000 - 10 000

Tabulka 6.3: Orientační rezistivita půdy [4]

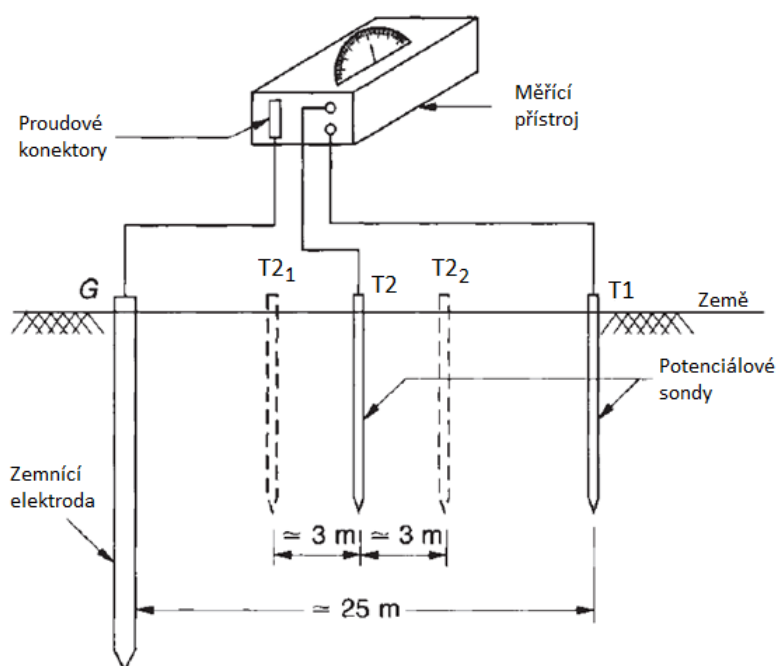
Tyto hodnoty jsou pouze orientační a neslouží k přesnému návrhu zemnicí soustavy a nelze je použít pro její návrh. V předpokládaném místě budoucí zemnicí soustavy je nutné provést měření, kvůli dosažení přesných výsledků rezistivity půdy v daném místě. Tyto informační hodnoty ale znázorňují jakou roli hraje vlhkost půdy. Například pro podloží tvořené převážně pískem je rezistivita vlhkého podloží zhruba desetkrát menší, než u pískového podloží, které je suché. Toto je potřeba při návrhu zemnicí soustavy také zohlednit.

Přesný odpor uzemňovací stanice musí být stanoven v místě instalace z důvodu prověření teoretických předpokladů a podmínek pro zemnicí bod.

V případě nevyhovujících podmínek je nutné stav půdy upravit k dosažení podmínek uvažovaných při návrhu zemění. Odpor zemničního bodu je možné měřit pomocí pozemního měřicího přístroje, který generuje konstantní napětí pro přesné měření. Měřič má dvě napěťové a jednu proudovou sondu. Postup měření je znázorněn na obrázku 6.1. Jedna z napěťových potenciálních sond A je zavrtána do země přibližně 25 m od zemniční stanice G, jejíž odpor je třeba měřit. Sonda B je umístěna ve středu vzdálenosti mezi zemniční stanicí a sondou A. Měřič indikuje zemní odpor. Dále se středová sonda B posune o 3 m na každou stranu od původní středové polohy a měření se v těchto bodech zopakuje. Pro přesné měření musí být výsledky stejné. Pokud tomu tak není, sonda B je sále uvnitř zemniční oblasti zemniče G. V tom případě se sonda A posune o šest metrů dále od zemniče G a sonda B se umístí opět do středu vzdálenosti. Pokud jsou všechny tři nově naměřené hodnoty stejné, lze měření považovat za přesné. Pokud ne, je potřeba znovu provést další posunutí sond A i B. [10]

6.7 Měření odporu zemniče

Metody pro měření zemních odporů vycházejí většinou z Ohmova zákona, kdy měříme proud procházející zemničem a úbytek napětí. Obecně můžeme používat tyto metody měření zemních odporů:



Obrázek 6.3: Měření odporu zemniče [2]

- Měření odporu zemniče využitím pomocných zemničů (sond). Jedná se o

můstkovou metodu, popsanou v normě ČSN 332000-6. K měření slouží dvě pomocné elektrody T1 a T2, které se umístí do takové vzdálenosti od měřeného zemniče, aby měly na elektrody co nejmenší vliv. Pro jednoduché zemniče stačí vzdálenost $l_{T1} = 40$ m a $l_{T2} = 25$ m. Před samotným měřením je nutné zemnič odpojit od stávajících rozvodů. Pomocné elektrody jsou připojeny k přístroji na měření zemního odporu, který je zároveň zdrojem střídavého proudu. Princip spočívá v odečtení hodnoty proudu, který proteče mezi zemničem a vzdálenější elektrodou T1 a úbytku napětí mezi zemničem a elektrodou T2 [10]. Výsledný odpor dostaneme po dosazení do Ohmova zákona:

$$R_A = \frac{U}{I} [\Omega, V, A] \quad (6.6)$$

kde:

R_A je zemní odpor

U je naměřené napětí mezi zemničem a sondou T2

I je proud, protékající sondou T1

V normě je doporučeno toto měření kvůli přesnosti provést ještě dvakrát, přičemž sondu T2 umístíme po přímce zhruba o 3 metry blíže k zemniči a následně zhruba o 3 metry blíže k sondě T1. Při malých výchylnkách měření uvažujeme střední hodnotu výsledků. Pokud mají výsledky velké odchylky, opakujeme měření s větší vzdáleností pomocné elektrody T1 od zemniče.

■ Měření zemního odporu pomocí proudové metody.

V této metodě postupujeme stejným postupem, jako při měření impedanční smyčky, s tím rozdílem, že odpor měříme vůči konkrétnímu zemniči. Nesmíme však zapomenout vzít v úvahu také impedanci vodiče proudového zdroje.

■ Měření odporu zemní smyčky pomocí proudových kleští.

Tato metoda nevyžaduje odpojení zemniče na revizní svorce. Využíváme tu existence zemních smyček v propojené uzemňovací soustavě. Pro měření na jednoduchém zemniči je potřeba jedné pomocné elektrody, nebo využít jiný náhodný, či strojený zemnič v okolí místa měření. Jako zdroj proudu zde využijeme vysílacích kleští. Pro měření využijeme přijímací kleště, na které se indikuje napětí přímo úměrné protékajícímu proudu zemničem. Výsledný naměřený odpor R_A je dán součtem odporu obou zemničů a půdy.

■ Selektivní metoda měření zemních odporů.

Tato metoda je kombinací dvou předcházejících metod. Výsledný odpor je měřen pomocí pomocné napěťové a proudové sondy a pomocí přijímacích

a vysílacích kleštích. V této metodě není potřeba odpojovat zemnič od ostatních rozvodů. Odpor R_A je vypočítán pomocí naměřených úbytků napětí a proudu na pomocné sondě a proudu, který prochází zemní smyčkou přes zemniče.

6.8 Materiál zemních elektrod

Měď, hliník ocel a pozinkované železo jsou nejčastěji používané kovy pro zemnicí elektrody. Výběr jakékoliv z variant bude záviset především na dostupnosti materiálu, finanční náročnosti, klimatických podmínkách v místě instalace a konkrétní instalaci. Tabulka 6.4 poskytuje stručné srovnání vlastností těchto kovů pro požadovanou aplikaci. Hlavním kritériem při určování velikosti zemnicího vodiče je jmenovitý zemní poruchový proud systému, během kterého na zemnicí soustavě nesmí dojít k trvalé nebo chvilkové deformaci zemnicího vodiče a k oteplení zemnicí soustavy nad povolenou mez. Dalším kritériem je maximální dovolený rozdíl dvou potenciálů dostupných lidskému tělu, který nesmí překročit hodnotu 55 Voltů. Ve vlhkých, nebo chemicky kontaminovaných oblastech je použití hliníku jako zemnicí elektrody nevhodné. Hliník velmi rychle koroduje a jeho vodivostní vlastnosti by se velmi rychle zhoršily. Proto je na takovýchto místech vhodnější použít pozinkované železo, nebo měď.[5]

Tabulka 6.5 popisuje minimální rozměry pro zemniče, které jsou uloženy v půdě, nebo v betonu tak, aby se předcházelo korozi a aby byla zajištěna mechanická pevnost zemniče.

	Měď	Hliník	Železo	Pozinkované železo
Vodivost [%]	100	60	30-40	8,5
Odolnost vůči korozi	Vysoká	Vysoce korozivní, proto je méně vhodný, než jiné kovy pro podzemní přípojky, nebo zemní elektrody	Korozivní. Pro odstranění korozivních vlastností může být použita měděná ocel	Vysoká odolnost. Proto je často využívána pro zemní spojení a zemní elektrody
Galvanický efekt	Měď je galvanický kov a způsobuje v přítomnosti vlhkosti korozi v okolních kovech, jako jsou ocelové konstrukce, vodovodní potrubí, plynovody	Nejsou galvanické, ale stanou se anodou v blízkosti mědi a erodují		
přibližné náklady v %	100	50	10	15

Tabulka 6.4: Maximální dovolené proudové zatížení [3]

Materiál a povrch	Tvar	Průměr mm	Průřez mm ²	Tloušťka mm	Hmotnost povlaku g/m ²	Tloušťka povlaku/ pláště μm
Ocel ^{**} uložená v betonu (holá, pozinkovaná v ohni nebo nerezová)	Kruhový drát	10				
	Tuhý pásek		75	3		
Ocel pozinkovaná v ohni ^c	Pásek ^b nebo tvarovaný pásek/deska – tuhá deska – mřížovaná deska		90	3	500	63
	Kruhová tyč uložená svisle	16			350	45
	Kruhový drát uložený vodorovně	10			350	45
	Trubka	25		2	350	45
	Lano (uložené v betonu)		70			
	Příčný profil uložený svisle		(290)	3		
Ocel pokrytá mědí	Kruhová tyč pro hloubkové zemniče	(15)				2 000
Ocel s elektrolyticky naneseným povlakem mědi	Kruhová tyč pro hloubkové zemniče	14				250 ^e
	Kruhový drát uložený vodorovně	(8)				70
	Pásek uložený vodorovně		90	3		70
Nerezová ocel ^a	Pásek ^b nebo tvarovaný pásek/deska		90	3		
	Kruhová tyč uložená svisle	16				
	Kruhový drát uložený vodorovně	10				
	Trubka	25		2		
Měď	Pásek		50	2		
	Kruhový drát pro povrchové zemniče		(25) ^d 50			
	Tuhá kruhová tyč uložená svisle	(12) 15				
	Slaněný drát	1,7 pro jednotlivý pramen lana	(25) ^d 50			
	Trubka	20		2		
	Tuhá deska			(1,5) 2		
	Mřížovaná deska			2		
POZNÁMKA Hodnoty v závorkách je možno uplatnit pouze pro ochranu před úrazem elektrickým proudem, zatímco hodnoty bez závorek je možno uplatnit jako pro ochranu před úrazem elektrickým proudem, tak pro ochranu před bleskem.						
^a Chromu ≥ 16 %, niklu ≥ 5 %, molybdenu ≥ 2 %, uhlíku ≤ 0,08 %.						
^b Jako válcovaný pásek nebo stříhaný pásek se zaoblenými okraji.						
^c Povlak musí být hladký, souvislý a bez skvrn od taveniny.						
^d Jestliže zkušenost ukazuje, že riziko koroze a mechanického poškození je mimořádně malé, je možno použít průřez pouze 16 mm ² .						
^e Tato tloušťka je stanovena, aby měděný povlak vydržel mechanické poškození v průběhu zarážení tyče. Může být snížena na méně než 100 μm, pokud jsou provedena zvláštní opatření podle návodů výrobce, aby se zabránilo mechanickým poškozením mědi během zarážení tyče (např. vyvrtáním díry nebo zvláštními ochrannými hroty).						

Tabulka 6.5: Minimální rozměry běžných zemničů uložených v betonu, nebo půdě [3]

6.9 Údržba zemnicí stanice

Zemnicí systém musí procházet pravidelnou kontrolou, aby se zajistila jeho správná funkčnost. Na zemnicím systému musí být pravidelně prováděno kontrolní měření zemního odporu. Pokud by zemní odpor stoupl nad mez vypočtenou při návrhu zemnicího systému, je nutné provést opatření k opětovnému snížení odporu. Jedním ze způsobů může být pravidelné zvlhčování půdy pomocí perforovaných trubic vložených k zemnicům, nebo přidáním dalších solí, nebo chemikálií, do půdy v okolí zemnicího bodu. Pokud toto řešení nepostačuje ke snížení odporu na danou hodnotu, je zapotřebí vybudovat další zemnicí body v okolí systému. [11]

Kapitola 7

Příklady výpočtu

7.1 Postup při návrhu zemnění

- Měření půdy

Pro budoucí instalaci zemní soustavy je vhodné vybrat půdu s co nejmenším odporem, pokud je to možné. V místě plánované zemní soustavy je nejprve nutné provést měření odporu země a provést korekci s ohledem na suché a deštivé období a na dané teplotní rozsahy.

- Výběr vhodné zemní soustavy

Při výběru typu zemní soustavy je nutné uvažovat i poměrně velké rozměry. Nejčastějšími typy jsou tyčové zemniče, vodiče položené v zemi a mřížové zemniče. Pro zvolený typ zemní soustavy je dále nutné vypočítat zemní odpor dle vzorců v tabulce 6.2. Do návrhu zemní soustavy je také potřeba brát v potaz vodič, kterým bude spojen zemnič a svorkovnice a jeho odpor.

- Výpočet zemní soustavy

Pro daný typ zemní soustavy vypočteme zemní odpor dle tabulky 6.2 tak, aby vyhovoval podmínkám pro maximální zemní odpor. Z výpočtu potom můžeme určit rozsah zemní soustavy.

- Upravení parametrů půdy

Pro typy půdy s vyšším odporem je vhodné upravit vlastnosti půdy tak, aby došlo ke snížení odporu a nebyl by nutný návrh rozsáhlé zemní soustavy. V půdách, které jsou tvořeny převážně pískem, je vhodné promíchat půdu s rašelinou, popřípadě přidat soli ke zlepšení vodivostních vlastností.

- Realizace zemní soustavy

■ Kontrolní měření

Po provedení zemnicí soustavy je nutné nechat zeminu usadit, aby nedocházelo k nesprávnému naměření zemního odporu vlivem dočasně zvýšených přechodových odporů, mezi zemnicí elektrodou a půdou a vlivem půdních odporů. Po závěrečném kontrolním měření může být rozhodnuto, zda zemnicí soustava splňuje potřebné podmínky a může být uvedena do provozu.

■ 7.2 Příklad výpočtu

Příklady výpočtu pro rezistivitu půdy $\rho = 100 \Omega\text{m}$ a $\rho = 1000 \Omega\text{m}$.

■ Příklad výpočtu pro tyčový zemnič v půdě o rezistivitě $\rho = 100 \Omega\text{m}$.

Vzorec pro výpočet zemního odporu tyčového zemniče:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} [\Omega, \Omega\text{m}, \text{m}, \text{m}, \text{m}] \quad (7.1)$$

kde:

R je vypočtený zemní odpor

ρ je měrný odpor země

l je délka tyčového zemniče

d je průměr tyčového zemniče

Zvolíme tyčový zemnič o délce 3 m a průměru 3 cm pro $\rho = 100 \Omega\text{m}$

Po dosazení:

$$R = R = \frac{100}{2\pi 3} \ln \frac{4 \cdot 3}{0,03} = 31 \Omega \quad (7.2)$$

Odpor jednoho tyčového zemniče v půdě o rezistivitě $\rho = 100 \Omega\text{m}$ je $r = 31 \Omega$.

Zvolíme tyčový zemnič o délce $l = 3 \text{ m}$ a průměru $d = 3 \text{ cm}$ pro $\rho = 1000 \Omega\text{m}$.

Po dosazení:

$$R = \frac{1000}{2\pi 3} \ln \frac{4 \cdot 3}{0,03} = 317 \Omega \quad (7.3)$$

Odpor jednoho tyčového zemniče v půdě o rezistivitě $\rho = 1000 \Omega\text{m}$ je $R = 317 \Omega$.

- Měděný páskový vodič:

Vzorec pro výpočet zemního odporu páskového zemniče dle tabulky 6.2:

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2z} \right) [\Omega, \Omega\text{m}, m, m, m, m, m] \quad (7.4)$$

kde:

- R je vypočtený zemní odpor
- ρ je měrný odpor země
- l je délka tyčového zemniče
- d je průměr tyčového zemniče
- z je vzdálenost zemniče od povrchu země

Zvolíme páskový zemnič o délce 15 m, průměru $d = 5 \text{ mm}$ v hloubce $z = 1 \text{ m}$, uložený v půdě s rezistivitou $\rho = 100 \Omega\text{m}$

Po dosazení:

$$R = \frac{100}{2\pi \cdot 15} \left(\ln \frac{2 \cdot 15}{0,005} + \ln \frac{15}{2} \right) = 11,4 \Omega. \quad (7.5)$$

Odpor zemničního pásku v půdě o rezistivitě $\rho = 100 \Omega\text{m}$ je $r = 11,4 \Omega$

Výpočet odporu zemničního pásku v půdě o rezistivitě 1000Ω

$$R = \frac{1000}{2\pi \cdot 15} \left(\ln \frac{2 \cdot 15}{0,005} + \ln \frac{15}{2} \right) = 113,7 \Omega \quad (7.6)$$

Odpor zemničního pásku v půdě o rezistivitě $\rho = 100 \Omega\text{m}$ je $R = 113,7 \Omega$

- Výpočet mřížového zemniče čtvercového tvaru o rozměrech 5 m x 5 m s rozstupem 5 cm mezi vodiči:

Vzorec pro výpočet zemního odporu:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot D} + \frac{\rho}{l} [\Omega, \Omega\text{m}, m, \Omega\text{m}] \quad (7.7)$$

kde:

R je vypočtený zemní odpor

ρ je měrný odpor země

l je délka tyčového zemniče

D je průměr kruhové plochy zemnicí soustavy

Pro přepočtení průměru kruhové plochy na plochu čtverce využijeme vzorec:

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad [m, m^2] \quad (7.8)$$

kde:

D je vypočtená plocha zemniče

s je plocha zemnicí soustavy

Po dosazení pro $\rho = 100 \Omega m$:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 25}{\pi}} = 2,82 \text{ m} \quad (7.9)$$

$$R = \frac{100}{2 \cdot 2,82} + \frac{100}{1050} = 8,96 \Omega \quad (7.10)$$

Zemní odpor pro mřížovou soustavu o ploše 25 m^2 je $8,96 \Omega$

Po dosazení pro $\rho = 1000 \Omega m$:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 25}{\pi}} = 2,82 \text{ m} \quad (7.11)$$

$$R = \frac{1000}{2 \cdot 2,82} + \frac{1000}{1050} = 89,6 \Omega \quad (7.12)$$

Zemní odpor pro mřížovou soustavu o ploše $S = 25 \text{ m}^2$ je $R = 89,6 \Omega$

Z výpočtů lze vidět porovnání tří zemnicích soustav. Nejlépe z těchto soustav vychází mřížová, pro její realizaci je ale třeba provést poměrně rozsáhlý výkop, který by v některých případech nebylo možné zrealizovat, například z důvodu nedostatku volné plochy. Z výpočtů je dále vidět, že nárůst zemního odporu zemniče je lineárně závislý na odporu země.

Kapitola 8

Řešený příklad zemní ochrany

Tato kapitola se bude zabývat návrhem ekvivalentních zemničů. V tomto případě se vychází pouze z rovnic pro daný typ zemniče. Pro výpočet zemního odporu je nutné znát hodnotu rezistivity půdy v místě plánovaného uložení zemniče a dále typ a rozměry zemniče.

8.0.1 Rezistivita půdy a její korekce

V místě plánovaného uložení zemniče je nutné provést měření rezistivity půdy. Naměřené hodnoty je dále potřeba vynásobit korekčním činitelem K , aby se zohlednila roční doba měření rezistivity půdy. V tomto případě bude hodnota rezistivity půdy vycházet z typu půdy a bude vymyšlená. Hodnota odporu půdy bude pro tento příklad uvažována $\rho = 75 \Omega m$ a zemnicí elektrida bude provedena paprskovým páskovým vodičem FeZn 30 x 4 mm.

Korekční činitel pro měření odporu země v lednu vychází dle obrázku 6.2 pro deštivé období $k = 1.28$. Přepočtení zemního odporu pak vypadá takto:

$$\rho \cdot K = 75 \cdot 1,28 = 96 \text{ } [\Omega m, -, \Omega m] \quad (8.1)$$

kde:

- ρ je naměřený měrný odpor půdy
- K je korekční činitel

8.0.2 Výpočet odporu zemniče

Pro výpočet zemního odporu budeme uvažovat tyto parametry:

- korigovaná hodnota měrného zemního odporu: $\rho_k = 96 \Omega m$
- Délka zemniče: $l = 50 \text{ m}$
- Polovina šířky páskového zemniče FeZn 30 x 4 mm: $d_p = 0,015 \text{ m}$

Výpočet odporu zemniče:

z tabulky 6.2 použijeme vzorec pro výpočet zemního odporu paprskového zemniče.

$$R = \frac{\rho_k}{4\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d_p} + 1 \right) = \frac{96}{4 \cdot \pi \cdot 50} \left(\ln \frac{2.50}{0,015} + 1 \right) = 1,498 \, \Omega \quad (8.2)$$

kde:

ρ_k je korigovaný měrný odpor půdy

l je délka zemniče

d_p polovina šířky páskového zemniče

Pro takto navrženou zemnicí soustavy vyšel zemní odpor $R = 1,498 \, \Omega$.

Kapitola 9

Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo přiblížení obecného návrhu zemnicí soustavy v různých prostředích.

V úvodu bakalářské práce jsem se zabýval účinky elektrického proudu na lidský organismus. Z hodnot je vidět, že průchod již poměrně malého proudu je pro lidské tělo velmi nebezpečný (při průchodu proudu o velikosti 10 mA nastávají v těle svalové křeče a při desetinásobné hodnotě pak obvykle smrt). Z těchto údajů je jasné, že je potřeba vytvořit takové ochranné prostředky, aby se zamezilo průchodu elektrického proudu lidským tělem a tím i následným úrazům.

Mezi základní ochranné prostředky patří například ochrana polohou, nebo zábranou, kdy se má zamezit kontaktu živé části s lidským tělem preventivně. Pokud ale z nějakého důvodu dojde k dotyku s částí pod napětím, je nutné omezit průchod proudu organismem na minimum. K tomuto účelu se využívá zemní ochrany, která musí dosahovat takových parametrů, aby nedošlo k úrazu elektrickým proudem.

Ve své bakalářské práci jsem uvedl základní typy ochran, které jsou závislé na uzemnění, a které mohou fungovat i nezávisle na uzemnění. Pro ochrany, které ke své funkci vyžaduje uzemňovací soustava, je tak nutné správně tuto soustavu navrhnout. Běžně se používá několik základních typů zemnicích elektrod, které se volí dle konkrétních podmínek a požadavků na místě instalace.

Tyčové zemniče je výhodné použít v místě s malým měrným odporem země, například pro dočasné uzemnění kontejnerové měřicí stanice a podobných mobilních zařízení. Zemní pásek se nejčastěji využívá pro základové zemniče, nebo jako ekvipotenciální práh pro omezení dotykového napětí.

Pokud má půda vyšší měrný odpor, je vhodné použít mřížovou soustavu. Zde je ale nutné provést rozsáhlý výkop. Při příliš vysokých měrných odporech půdy je vhodné upravit půdu tak, aby došlo ke zlepšení jejích vodivostních vlastností.

Toho je možné dosáhnout například přidáním solí do okolí zemničů, nebo pravidelné zvlhčování půdy, například pomocí penetrované trubice uložené v blízkosti zemniče. Ve všech případech je nutné učinit taková opatření, aby se zabránilo korozi a zhoršení elektrických vlastností zemnicí elektrody po celou dobu její plánované životnosti. Elektrické vlastnosti musí být kontrolovány

pravidelným měřením v naplánovaných časových úsecích, nebo po jakémkoliv zásahu, který by mohl ovlivnit elektrické vlastnosti zemniče.

Tato práce mi pomohla ujasnit si, jak fungují základní ochrany před úrazem elektrickým proudem a jaké jsou možnosti uzemňovacích soustav. V budoucnu bych se rád věnoval podrobně jednotlivým ochranám, jejich funkci, místu použití a přesnému nastavení.



Zdroje

- [1] Norma ČSN 33 2000-4-41 ed. 3 Ochrana před úrazem elektrickým proudem
- [2] CIPRA, Mirko, Vladimír KŮLA a Michal KŘÍŽ. Úvod do elektrotechniky. Dot. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01522-X.
- [3] TOMAN, Petr. Provoz distribučních soustav. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [4] AGRAWAL, K. C. Industrial power engineering and applications handbook. Boston: Newnes, c2001. ISBN 0750673516.
- [5] Norma ČSN 33 2000-5-54 ed. 3 Elektrické instalace nízkého napětí
- [6] Článek O účincích proudu na lidský organismus, dostupný [online] na :
<https://elektrika.cz/data/clanky/o-ucincich-proudu-na-lidsky-organismus>
- [7] Článek Uzemnění rozvodů a pospojování u technických zařízení v budovách, dostupný [online] na :
<https://elektro.tzb-info.cz/bezpecnost-a-revize/6540-uzemneni-rozvodu-a-pospojovani-u-technickych-zarizeni-v-budovach>
- [8] Článek Měření odporu zemniče využitím pomocných zemničů, dostupný [online] na :
<https://elektrika.cz/data/clanky/sluka-mereni-provadena-v-ramci-revizi-ochrany-pred-bleskem-mereni-zemnicu-obecně>
- [9] Článek Uspořádání uzemnění podle ČSN 33 2000-5-54 ed. 3, dostupný [online] na :
<http://www.elektroprumysl.cz/elektroinstalace/usporadani-uzemneni-podle-csn-33-2000-5-54-ed-3>
- [10] Článek Měření zemních odporů zemničů, dostupný [online] na :
<https://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2006-04-23.5273747958>

[11] Práce Návrh zemnicího systému pro nízké napětí, dostupné [online] na :
<https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/12382/1/DPLhotak.pdf>

■ Obrázky

[1] Norma ČSN 33 2000-4-41 ed. 3 Ochrana před úrazem elektrickým proudem

[2] AGRAWAL, K. C. Industrial power engineering and applications hand-book. Boston: Newnes, c2001. ISBN 0750673516.

[3] Návrh zemnicího systému pro nízké napětí, dostupné [online] na :
<https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/12382/1/DPLhotak.pdf>

[4] Měření odporu zemniče a rezistivity půdy, dostupné [online] na :
<http://www.revize-instalaci.cz/revize-elektro/mereni-odporu-zemnice-a-rezistivity-pudy/>

*Obrázky, u kterých není uveden zdroj, jsou nakresleny autorem této práce.

■ Tabulky

[1] Norma ČSN 33 2000-4-41 ed. 3 Ochrana před úrazem elektrickým proudem

[2] AGRAWAL, K. C. Industrial power engineering and applications hand-book. Boston: Newnes, c2001. ISBN 0750673516.

[3] Norma ČSN 33 2000-5-54 ed. 3 Elektrické instalace nízkého napětí

[4] Návrh zemnicího systému pro nízké napětí, dostupné [online] na :
<https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/12382/1/DPLhotak.pdf>

Typografická poznámka autora:

Při psaní bakalářské práce jsem použil doporučený software LaTeX se šablonou ČVUT. V některých případech se mi bohužel nepodařilo nastavit program tak, jak by bylo potřeba. Z tohoto důvodu je na daných místech práce text nevhodně rozložený.