Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyziky

Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče

Diplomová práce

Autor: Ing. Josef Kavulák

Studijní program: N1701 Fyzika

Studijní obor: Fyzikální měření a modelování

Vedoucí práce: Ing. Jiří Baloušek

Hradec Králové květen 2015

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Zadání diplomové práce

Autor:	Ing. Josef Kavulák
Studijní program:	N1701 Fyzika
Studijní obor:	Fyzikální měření a modelování
Název práce:	Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče Protective earthing systems, measurement of resistence
Cíl a metody práce:	Souhrn způsobů a metod měření odporu zemnících soustav, jejich využití v praxi. Praktické proměření stávajícího uzemnění několika metodami, jejich porovnání a vyhodnocení výsledků.
Garantující pracoviště:	Katedra fyziky Přírodovědecké fakulty UHK
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Baloušek
Konzultant:	
Oponent:	Doc. RNDr. Josef Hubeňák, CSc.
Datum zadání práce:	15. 12. 2014
Datum odevzdání práce:	

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedl všechny prameny, ze kterých jsem vycházel.

V Týništi nad Orlicí 15. června 2015 Ing. Josef Kavulák

ANOTACE

KAVULÁK, J., *Ochranné uzemnění objektů, měření odporu zemniče*, Týniště n. Orl., 2015.
Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové.
Vedoucí diplomové práce Jiří Baloušek, 82 s.

Diplomová práce se zabývá jednou z možných ochran před nebezpečnými důsledky působení elektrické energie.
Teoretická část je pojata jako průřez dostupných informací o historii, významu a technickém řešení ochranných uzemnění. Jsou probrány základní principy a vybrané metody měření zemnících soustav.
V experimentální části bylo několika různými metodami a přístroji proměřeno stávající uzemnění jednoho vytipovaného objektu. Byly porovnány naměřené hodnoty a posouzeny výsledky.

Klíčová slova:
elektřina a bezpečnost, zemnič, uzemňovací soustava, zemní odpor, zemní proud, zemní potenciál, rezistivita půdy, měření zemničů.

ANOTATION

KAVULÁK, J., *Protective earthing systems, measurement of resistance*,
Týniště n. Orl., 2015.
Diploma Thesis at Fakulty of Science University of Hradec Králové.
Thesis Supervisit Jiří Baloušek, 82 p.

This thesis deals with one of the possible protections against dangerous consequences of electrical power.
The theoretical part is conceived as a cross-section of the available information about the history, significance and technical solutions to earthing systems. Basic principles and some methods of measuring earth systems are discussed.
Several different methods and instruments were used in the experimental part to measure existing grounding of a particular selected building. Measured values were compared and results evaluated.

Keywords:
electricity and security, grounding, earth electrode, earthing system, earth resistance, earth current, earth potential, soil resistivity, measurement of earthing.

Obsah

Úvod ..... - 7 -

1 Elektřina a bezpečnost ..... - 8 -
1.1 Průmyslový rozvoj ..... - 10 -
1.2 Nová řešení ..... - 10 -
1.3 Nové předpisy ..... - 11 -
1.4 Historický exkurs ..... - 12 -
1.5 Vývoj v Československu ..... - 13 -
1.5.1 Předpisy ESČ 1950 ..... - 14 -
1.5.2 Současnost ..... - 15 -

2 Zemnění ..... - 16 -
2.1 Význam uzemnění ..... - 17 -
2.2 Fyzikální principy ..... - 18 -
2.3 Měrný odpor půdy ..... - 22 -

3 Zemniče ..... - 23 -
3.1 Zemniče náhodné ..... - 23 -
3.2 Zemniče strojené ..... - 24 -
3.2.1 Zemniče podpovrchové – pásky a dráty ..... - 25 -
3.2.2 Zemniče hloubkové – tyče a trubky ..... - 27 -
3.2.3 Zemniče deskové ..... - 28 -
3.2.4 Zemniče sdružené ..... - 28 -
3.2.5 Zemniče mřížové ..... - 31 -
3.2.6 Zemniče současné ..... - 33 -

4 Měření zemničů ..... - 35 -
4.1 Měření pomocí dvou proudových sond ..... - 36 -
4.2 Měření pomocí sondy proudové a napěťové ..... - 37 -
4.2.1 Měření wattmetrem ..... - 38 -
4.3 Měřicí zařízení ..... - 39 -
4.3.1 Mášův měřič zemních odporů ..... - 40 -
4.3.2 Terromet ..... - 40 -
4.3.3 Měřič zemních odporů PU 430 ..... - 41 -
4.3.4 Další metody měření ..... - 43 -
4.3.5 Měření pomocí proudových kleští ..... - 45 -
4.4 Technická omezení ..... - 48 -

5 Měření reálné zemnící soustavy ..... - 50 -
5.1 Doporučení pro měření zemních odporů ..... - 50 -
5.2 Měřicí přístroje ..... - 51 -
5.2.1 Tranzistorový měřič zemních odporů PU 430 ..... - 51 -
5.2.2 Zkušební přístroj PROFITEST 0100S-II ..... - 51 -
5.2.3 Klešťový měřič zemního odporu C.A 6412 ..... - 54 -
5.3 Měřený objekt ..... - 54 -
5.4 Měření přístrojem PU 430 ..... - 56 -
5.5 Měření klešťovým přístrojem C.A 6412 ..... - 57 -
5.5.1 Měření oddělené soustavy ..... - 57 -
5.5.2 Měření s pomocným zemničem ..... - 58 -
5.6 Měření zkušebním přístrojem PROFITEST 0100S-II ..... - 60 -
5.6.1 Měření s měřicí sondou ..... - 60 -
5.6.2 Měření bez měřicí sondy ..... - 61 -
5.6.3 Měření s PEN vodičem ..... - 62 -

6 Výsledky a vyhodnocení ..... - 63 -
6.1 Vyhodnocení ..... - 65 -
6.2 Zpracování dat ..... - 66 -

7 Závěr ..... - 67 -

SEZNAM LITERATURY ..... - 69 -
SEZNAM VYOBRAZENÍ ..... - 71 -
SEZNAM TABULEK ..... - 74 -
SEZNAM GRAFŮ ..... - 74 -
SEZNAM PŘÍLOH ..... - 75 -

Úvod

S úchvatnými projevy přírodní elektřiny se člověk setkává od nepaměti. Velkolepý efekt bleskového výboje doprovázeného hromobitím děsil i uchvacoval našeho prapředka takovou mírou, že mu přisoudil nadpozemský původ a jako jedno z božstev uctíval.

Škody, které přírodní elektřina porůznu působila, byly nepochybně citelné. Málokterý jedinec se s nimi za svůj život však vůbec setkal. Byly tak vzácné, že pokud už nastaly, byl to důvod k zápisu do kronik. Zcela odlišná situace nastává s civilizačním rozkvětem. Urbanizovaná centra občin s dominujícími stavbami feudálních sídel i vysoké zvonice církevních stánků přirozeně přitahují fyzikální děje atmosférických procesů.

Průmyslová revoluce a rozvoj elektrotechniky však přinášejí zcela novou dimenzi. Dosud málo známé vlastnosti elektřiny se stávají rizikovým faktorem pro její uživatele i nezúčastněné okolí. Ochrana majetku a zdraví osob si vyžaduje hledat cesty, jak možná nebezpečí odstranit nebo alespoň minimalizovat. Nové znalosti a zkušenosti s chováním a působením elektrického proudu, v průběhu času zaznamenávají rovněž nové přístupy k eliminaci nebezpečných stránek elektrické energie.

S překotným růstem produkce a spotřeby elektrické energie se zvyšují i požadavky na její bezpečné dodávky a spolehlivou funkci všech nezbytných provozních složek.

Jako jedno ze základních opatření provozní bezpečnosti v elektrických systémech postupně vykrystalizovalo ochranné uzemnění. Téměř na každém místě elektrárenské soustavy, v energetických strukturách, v libovolném průmyslovém odvětví i u většiny běžných spotřebitelů je vyžadováno uzemnění. Uzemnění v takovém stavu, aby byly splněny požadavky bezpečnosti i správné funkce elektrického zařízení, při jehož budování se musí přihlížet ke všem specifickým vlastnostem zařízení. Nehledě na to, že správná a bezpečná funkce elektrického zařízení začíná právě funkčním a kvalitním zemničem.

Ve své profesní činnosti se s problematikou zemnění setkávám neustále. Při kontrole stavu zemničů a jejich měření často narážím na sporné záležitosti, které mě přivádějí k hlubšímu zájmu o hledání vlastností a podmínek dobrého uzemnění.

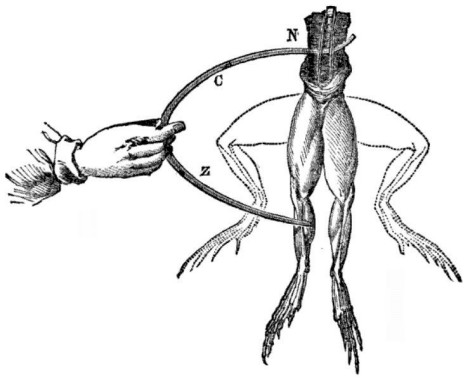
V diplomové práci vidím vhodný rámec k prohloubení vlastních znalostí, s možností promítnout a předat získané poznatky a zkušenosti případným dalším zájemcům.

1 Elektřina a bezpečnost

Od prvních pokusů s elektřinou byli zapálení experimentátoři konfrontováni s jejími fyziologickými účinky na živý organismus. Již ve 2. pol. 17. století, v noblesních salonech zhýčkané „vyšší“ společnosti, došly nevšedního zájmu tehdy módní hrátky s elektrickými jevy.

Všestranně vzdělaný fyzik a neúnavný experimentátor Otto von Guericke[1] sestrojil přístroj k vytváření elektrického náboje třením. Objevil princip, na jehož základě bylo zkonstruováno vícero typů třecích elektrik. S nimi pak seriózní učenci, nadšení samouci i vyslovení podvodníci udivovali nezasvěcené obecenstvo na veřejných či privátních vystoupeních.

Italský lékař a přírodovědec Luigi Galvani,[2] od roku 1765 člen boloňské *Accademia delle Scienze*, jejímž prezidentem se v roce 1772 stal, při studiu a pitvání těl mrtvých žab pozoroval jejich samovolné svalové reakce. Stejné efekty zaznamenal za bouřkového počasí s identickým preparátem ponechaným za určitých okolností ve venkovním prostředí. Svá pozorování zveřejnil ve spisku *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*. Jakkoliv jeho závěry o existenci „živočišné elektřiny“ byly v obecné podstatě chybné, otevřel svými pokusy cestu následovníkům.



Obr. 1.1 Galvaniho pokusy se žabím korpusem

[1] http://www.techmania.cz/edutorium/art_vedci.php?key=22
[2] http://www.converter.cz/fyzici/galvani.htm

Záhy si osvícení mužové vědy povšimli podobnosti účinků pracně, v důmyslných strojích získávané elektřiny s elektřinou přírodní. Bolestivé následky nepříjemného setkání s některými exotickými druhy ryb nebo i v Evropě známým úhořem si nezadaly s výsledky pokusů s účinnými, nově konstruovanými přístroji.

Nejpůsobivějším projevem přírodou produkované elektřiny je bleskový výboj. Zkoumáním blesků se zanícení badatelé dostávají na pomyslnou hranici rizika, kdy neprobádanost přírodního úkazu a neznalost jeho fyzikálních zákonitostí čas od času vystavuje cenu nejvyšší. Ruský vědec německého původu Georg Wilhelm Richmann,[3] jeden z průkopníků studia elektřiny a zejména atmosférické elektřiny, člen Petrohradské akademie věd od roku 1741, spolupracovník Michaila Lomonosova, se po vědeckém setkání s kulovým bleskem stal patrně první historicky doloženou obětí experimentu s atmosférickou elektřinou.

Obr. 1.2 Richmannovy nebezpečné experimenty

Podobné, mnohdy nemilé, občas tragické zkušenosti známých osobností i řady postav historií zapomenutých, provázely klopotnou cestu, kterou si elektřina nezadržitelně razila do moderní doby.

[3] http://en.wikipedia.org/wiki/Georg_Wilhelm_Richmann

1.1 Průmyslový rozvoj

Dokud byla elektřina pouhou libůstkou vědecky založených nadšenců, či hříčkou amatérských podivínů, pro společenskou obec neznamenala žádné zvláštní nebezpečí. Jen zcela výjimečně se jedinec setkal s požárem způsobeným bleskem, většina obyvatelstva Evropy až do konce 18. stol. o elektřině nikdy neslyšela.

Významně nová situace nastává v poslední třetině 19. stol. Vynález obloukové lampy a především Edisonem v r. 1879 zkonstruovaná žárovka přivádí elektřinu nejprve do továren a veřejných budov, později do sídel šlechty a movitých měšťanů. A světlo zanedlouho následují další elektřinu užívající výrobky. Zpočátku jde zejména o strojní pohony, vzápětí však začínají podnikaví výrobci dodávat širokou škálu elektrických spotřebičů usnadňujících život komunity. Za této situace se začíná ukazovat, že elektřina může sice dobře sloužit, ale zároveň přináší nová, dosud neznámá rizika, ba přímo i nebezpečí pro život občanů překotně se rozvíjející společnosti. Jednoduché, nedostatečně chráněné vodiče zvyšují nebezpečí požáru, konstrukční nedokonalost výrobků ohrožuje uživatele a stává se příčinou úrazů elektrickým proudem. A samozřejmě stále nelze zapomínat na potenciální nebezpečí blesku.

1.2 Nová řešení

Na úsvitu historie praktické elektrotechniky prozíraví jedinci hledají způsoby, jak při užívání elektrických zařízení ochránit lidské zdraví a cenný majetek před jejich nebezpečnými vlastnostmi. Ochrana se zaměřuje především na dostatečnou a kvalitní izolaci všech částí vedoucích elektrický proud nebo na jejich spolehlivé zakrytí. Nový impuls přináší objev principu tavné pojistky, který učinil kolem r. 1847 francouzský fyzik a hodinář Louis F. C. Breguet.[4] Po jejím patentování Thomasem A. Edisonem v roce 1890,[5] dochází k významnému posílení bezpečnosti elektrických zařízení. Stěžejní zásadou ochrany se stává nepřístupnost a izolace nebezpečných částí. Pokud však dojde k narušení izolačního stavu, musí být vadná část vřazenou pojistkou včas odpojena.

Spolu s postupným rozšiřováním počtu malých lokálních zdrojů elektrické energie, sloužících pro relativně nevelké skupiny připojených elektrických zařízení, se začínají objevovat nové, dosud neznámé technické problémy. Elektrický proud z poškozeného

[4] http://en.wikipedia.org/wiki/Louis-Fran%C3%A7ois-Clement_Breguet
[5] http://edison.rutgers.edu/patents/00438305.PDF

vodiče si vždy hledá cestu zpět ke svému zdroji. Využívajíce tras s nejmenším elektrickým odporem, např. různých kovových konstrukcí, může při svém putování napáchat nemalou škodu. Věci znalí odborníci přicházejí s řešením. Je potřeba vytvořit takovou cestu, aby porucha trvala co nejkratší dobu a byla spolehlivě a zavčas odpojena.

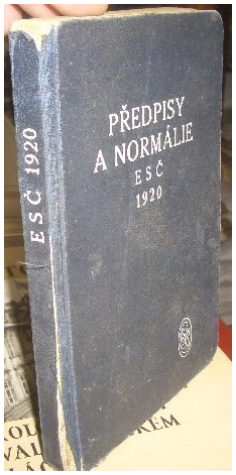
A tak přichází na svět uzemnění.

1.3 Nové předpisy

Odpovědné instituce si uvědomují vážnost situace a snaží se ji podle dobově daných možností řešit.

Počátek zrodu elektrotechnických předpisů, jež se zabývají bezpečností elektrických instalací, je datován rokem 1882. V tomto roce v Anglii vznikají stručná elektrotechnická pravidla pro ochranu před nebezpečím požáru způsobeného elektrickým osvětlením.[6] Obdobné předpisy následně vydávají i další vyspělé země, např. Německo roku 1896, USA roku 1897, Francie roku 1911 apod. Z iniciativy průmyslově vyspělých zemí je v Londýně 26. června 1906 ustavena Mezinárodní elektrotechnická komise (IEC).[7]

Situace na evropských bojištích za 1. světové války odsunula tyto, pro vypjatou dobu podružné otázky do pozadí. O to naléhavěji se vracejí po jejím skončení, při poválečné obnově. A to i v právě zrozeném Československu.



Obr. 1.3 Předpisy a normálie ESČ 1920

[6] http://old.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25041
[7] http://cs.wikipedia.org/wiki/Mezin%C3%A1rodn%C3%AD_elektrotechnick%C3%A1_komise

Z vnitřní potřeby rozvíjejícího se elektrotechnického průmyslu nové republiky se v roce 1919 ustavuje Elektrotechnický svaz československý. Stává se členem IEC a aktivně se zapojuje do její činnosti. Spolek již následujícího roku vydává první elektrotechnické „*Předpisy a normálie*“.[8]

Přijatá pravidla a normativy zohledňují dobově podmíněné znalosti a ověřenou praxi v technicky vyspělých zemích. Vedoucí představitelé ESČ, vedeni ideou usnadnit činnost „*zařizovacích závodů elektrotechnických*“, koncipovali přijaté předpisy tak, aby byly jasné, srozumitelné a podrobné a na celém území co nejvíce sjednocovaly užívané pracovní postupy a v praxi osvědčené metody. Schválená a přijatá ustanovení se promítla do legislativy mladého samostatného státu, čímž se stala závaznými pro celou společnost.

O prozíravosti a nadčasovém rozhledu moudrých mužů ve vedení svazu svědčí skutečnost, že mnohá formulace tehdy přijatého ustanovení byla zachována v českých donedávna platných normách, toliko v modernější stylistické úpravě.

1.4 Historický exkurs

V roce 1922 byla založena Československá normalizační společnost ČSN a Elektrotechnický svaz sjednal s touto společností dohodu, podle které veškerou činnost v elektrotechnice podle ESČ, jakož i zpracované a schválené elektrotechnické normy a předpisy, bude svaz předkládat Československé normalizační komisi, která je pak po projednání prohlásí za československé normy. Normy vycházely pod označením ČSN-ESČ.

Podle dohody z roku 1931 měly Elektrotechnické předpisy ESČ vycházet souborně každý rok, což se podařilo realizovat pouze v roce 1932. Pak byl interval prodloužen na dvouletý a po vydání v roce 1936 vyšlo další vydání až v roce 1939. V každé edici bylo vyznačeno, kdy bylo které ustanovení do předpisů přijato a kdy bylo modifikováno. Poslední meziválečné vydání se stalo základem nejen pro poslední souborné vydání předpisů ESČ, vydané v roce 1950, ale i pro pozdější Elektrotechnické předpisy ČSN.

V roce 1950 byly vydány v jednom svazku „*Předpisy ESČ 1950*“, které značně ovlivnily normalizační činnost v elektrotechnice v dalším období. V průběhu šedesátých let byl tento komplet nahrazován jednotlivými normami souboru Elektrotechnických před-

[8] *Předpisy a normálie elektrotechnického svazu*, ESČ.

pisů ČSN. Další jejich vývoj ovlivnilo vydání zákona č. 96/1964, sb., o technické normalizaci, a prováděcí vyhlášky Úřadu pro normalizaci a měření č. 97/1964 Sb., které platily až do roku 1991.[9]

1.5 Vývoj v Československu

Už dříve zmíněné „*Předpisy a normálie ESČ 1920*" se o zemnění zmiňují pouze v části „*Díl I. F. Ochrana proti blesku. § 24*".

Cit.: „*Je radno chrániti venkovní vedení proti blesku zemním lanem z pozinkovaného železa nebo ocele … Toto zemní lano musí býti spojeno se zemí nejméně každých 500 m. … Železné … stojany se musí řádně spojiti se zemí …, jsou-li snadno přístupné … Zemní svod na dřevěných stojanech musí býti aspoň do výše 2 ½ m zakryt*".[10]

Podrobněji se otázkou zemnění zabývá přehledné dílko „*Elektrotechnika II. Nauka Instalační*", sepsané v r. 1920 V. Machytkou jako „*Příručka pro elektromontéry upravená se zřetelem ku vyučování na živnostenských školách*".

V r. 1937 vychází pod záštitou ESČ monografie „*Zemnění a ochrana před dotykem*", zpracovaná přední osobností československé mezi a poválečné energetiky, též předsedou ESČ Ing. Janem Osolsobě. Obsah odborného pojednání byl pro československou elektrotechniku tak významný, že jej opětně v podstatně rozšířeném zpracování vydalo v r. 1964 Nakladatelství ČSAV pod názvem „*Zemnění a bezpečnost*".

V rozsáhlé publikaci autoři Jan Osolsobě a Mirko Zapletal spolu s dalšími odborně fundovanými spolupracovníky přehledným a srozumitelným způsobem zpracovali problematiku uzemnění a širokého spektra uzemňovacích soustav. Pojednali základní otázky uzemnění, konstrukční zvláštnosti jednotlivých druhů uzemňovacích soustav, jako jsou uzemnění v rozvodnách vn a vvn, uzemnění v elektrárnách, včetně vodních, uzemnění stejnosměrných přenosů vvn, uzemnění sdělovacích zařízení. Jsou uvedeny příklady ochrany v průmyslových zařízeních, v zemědělství a v domácnostech.

Přestože se jedná o dílo více než půlstoletí staré, forma a hloubka jeho zpracování stále umožňuje proniknout do probírané oblasti jevů a zákonitostí tak, že si vnímavý zájemce může odnést poznatky užitečné i v současnosti.

[9] RÝMUS, J., et al.: *Současný stav a výhled elektrotechnických předpisů ČSN,* ELEKTRO 5/2002, str. 10-14.
[10] *Předpisy a normálie elektrotechnického svazu*, ESČ, str. 36.

1.5.1 Předpisy ESČ 1950

Ve sborníku „Předpisy ESČ 1950“ problematiku elektrického zemnění upřesňuje „*Část X. Elektrická zařízení obyčejná; Hlava B. Ochrana před dotykem, isolace, jištění*“. Kritéria zemnění jako způsobu ochrany, jsou rozebírána v §§ 10 100 – 10 140.

Obecně platné požadavky pak pro oblast slaboproudých a sdělovacích zařízení upřesňuje „*Část XX. Všeobecně o elektrickém sdělování*“. Oddíl „*Hlava C. Základní ustanovení*“, v §§ 20 260 – 20 267 vymezuje požadavky na pracovní uzemnění, rozsáhlejší „*Hlava D. Bezpečnost zařízení*“, v §§ 20 300 – 20 338 následně rozebírá specifické nároky bezpečnosti sdělovacích technologií.

Ustanovení podchycená v citovaných paragrafech provázela elektrotechnickou normotvorbu i v následujících obdobích, kdy došlo k významným změnám v metodice vydávání technických předpisů a norem.

Články normálií vydávaných v intencích zákona č. 96/1964, Sb., o technické normalizaci, často souběžně upravovaly podobnou nebo velmi blízkou oblast.

Norma „*ČSN 34 1010 – Elektrotechnické předpisy ČSN. Všeobecné předpisy pro ochranu před nebezpečným dotykovým napětím*“, platná v období 1. 7. 1966 – 1. 2. 1996, o uzemnění a zemničích pojednává v článcích č. 108 – 115, č. 131 – 158, č. 186 – 195, č. 228 – 231. Tématu jsou věnovány přílohy 1 – 11, 13 – 14a.

Norma „*ČSN 38 1795 – Uzemnění v elektrických stanicích*“, platná v období 1. 1. 1967 – 1. 10. 1988 se věnuje otázkám uzemnění v elektrických stanicích v celém svém obsahu.

Norma „*ČSN 34 1390 – Elektrotechnické předpisy ČSN. Předpisy pro ochranu před bleskem*“, platná v období 1. 4. 1970 – 1. 2. 2009, problematiku ochranného uzemnění podchycuje v článcích č. 96 – 108 a č. 117.

Zároveň v období 1. 7. 1985 – 1. 2. 1996 platila norma „*ČSN 33 2050 – Elektrotechnické předpisy. Uzemnění elektrických zařízení*“. Ve svých článcích sjednotila požadavky na podzemní části uzemňovacích soustav elektrických zařízení a hromosvodů, na jejich provedení a měření. Po jejím vydání byly duplicitní články ve výše citovaných normáliích zrušeny a tyto odkázány na ustanovení ČSN 33 2050.

1.5.2 Současnost

Zcela nová situace nastává v 90. letech, v období propojování s hospodářským systémem Evropské unie. Tuzemské normy se sbližují s evropskou normotvornou, postupně dochází k sjednocování a tzv. harmonizaci českých norem.

Technické požadavky pro zřizování uzemnění a pro ochranné vodiče jsou od r. 1996 obsaženy v normě označené „ČSN 33 2000-5-54“. V současné době platí již třetí edice této normy s názvem: „*ČSN 33 2000-5-54, ed. 3 – Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení-Uzemnění a ochranné vodiče*“. Byla vydaná v dubnu 2012 jako česká verze evropského harmonizačního dokumentu HD 60364-5-54. S účinností od 27. 4. 2014 nahrazuje dřívější ČSN 33 2000-5-54, ed. 2 ze září 2007.[11]

Předpisem, stanovujícím základní požadavky na ochranná opatření, která je pro zabezpečení ochrany osob před úrazem elektrickým proudem potřeba v elektrických instalacích zajistit, je norma „*ČSN 33 2000-4-41, ed. 2 – Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem*“, vydaná 1. 8. 2007. Pravidla a podmínky uzemnění v síti TN norma blíže vymezuje v Příloze NB.[12]

Specifikum při ochraně před škodlivými účinky způsobené atmosférickými výboji je podchyceno v souboru norem „*ČSN EN 62305-1/4 ed. 2*“. Zvláštnostmi zemnícího systému se zabývá „*ČSN EN 62305-3, ed. 2 – Ochrana před bleskem – Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života*“, v oddíle 5.4 „*Uzemňovací soustava*“ a z části též „*Příloha E*.“[13]

[11] ČSN 33 2000-5-54, ed.3.
[12] ČSN 33 2000-4-41, ed.2.
[13] ČSN EN 62305-1/4, ed.2.

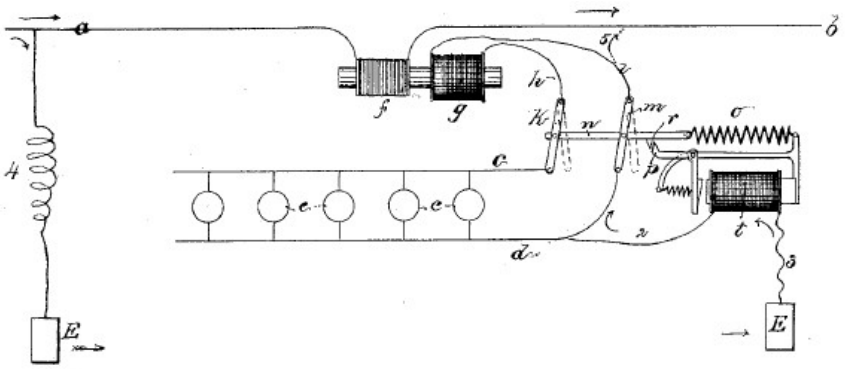
2 Zemnění

Při zpětném pohledu lze uzemňování v elektrotechnice považovat za nepochybně letitou ochranu.

Antický učenec se židovskými kořeny, Josephus Flavius ve svém díle „*Židovské starožitnosti*“ zmiňuje stavbu Šalamounova chrámu, jehož střecha byla pokryta zlatými deskami. Zachycenou dešťovou vodu ze střechy svádělo velké množství kovových rour do zásobních cisteren. Ačkoliv se tento chrám nacházel v bouřkově velmi bohaté oblasti, po téměř čtyřsetletou dobu jeho existence (10. – 6. stol. př. n. l.) na něm údajně nebyly zaznamenány žádné škody způsobené bleskem.[1]

Historicky je doloženo, že se již v roce 1754 učený český kněz Prokop Diviš zabýval atmosférickou elektřinou a vytvořil funkční zemnič. Jeho „*machina meteorologica*“ byla železnými řetězy spojena se v zemi zakopanými železnými kužely.[2]

Skutečnou funkční ochranu elektrického zařízení prostřednictvím uzemnění navrhl v r. 1885 Elihu Thomson. Americký profesor a průmyslník britského původu si nechal patentovat zapojení k ochraně elektrického obvodu, které dokázalo vyhodnotit zkrat nebo porušenou izolaci a prostřednictvím zemního spojení odpojilo vadnou instalaci. Princip vyhovoval T. A. Edisonem v USA preferovanému stejnosměrnému rozvodu.[3]



Obr. 2.1 Bezpečnostní zařízení pro elektrické obvody – E. Thomson

[1] Hájek, J., Šalanský, D.: *První elektronická KníŠka o ochraně před bleskem*, str. 8.
[2] Sach, V.: *P. Prokop Diviš, kněz, fysik, lékař a hudebník*.
[3] *E.Thomson, Safety Device for Electrical Circuits, US Patent No. 327,039*.

2.1 Význam uzemnění

Pojem „*uzemnění*“ označuje záměrné vodivé spojení elektrického zařízení nebo jiného předmětu s vodivým objektem uloženým v zemi. Zemní elektroda nebo zemnič je označení vodivého předmětu, který po uložení v zemi slouží k účelům uzemnění.[4]

Základním posláním uzemnění je:[5]

* udržovat na potenciálu země požadovaná elektrická zařízení,
* umožnit nebo napomáhat správné funkci elektrických strojů, přístrojů a zařízení,
* chránit zdraví a životy osob před nebezpečím úrazu v případě vzniku poruchy na elektrickém zařízení,
* chránit hospodářská zvířata a omezit škody na majetku způsobené škodlivými účinky elektrického proudu v případě vzniku poruchy na elektrickém zařízení,
* chránit elektrické stroje, přístroje a zařízení před účinky přepětí a nadměrných proudů,
* chránit objekty a zařízení před atmosférickými výboji a omezit atmosférická přepětí.

Uzemnění se člení na:[6]

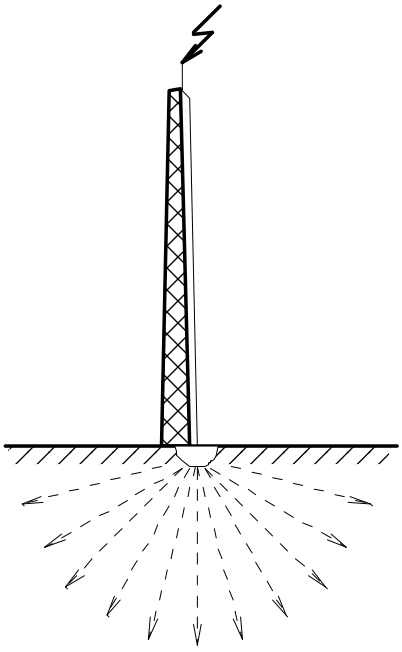
* *Pracovní* – přechodné nebo trvalé spojení se zemí částí elektrické instalace nebo zařízení, které patří do pracovního obvodu, jímž se má zabránit škodlivému působení napětí nebo elektrického přepětí na toto nebo jiné zařízení,
* *Ochranné* – přechodné nebo trvalé spojení se zemí částí elektrické instalace nebo zařízení, které jsou zpravidla bez elektrického napětí, ale nacházejí se v jeho blízkosti, jímž se má zabránit, aby na nich vzniklo nebo na ně bylo přeneseno napětí nebezpečné.

Uzemnění může sloužit současně jako pracovní i jako ochranné, nebo se pracovní a ochranné uzemnění může instalovat jako samostatné podle toho, jak to elektrické zařízení vyžaduje. Požadavky na ochrannou funkci mají vždy přednost.[7]

[4] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 21.
[5] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 22.
[6] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 23.
[7] ČSN 33 2000-5-54, ed.3, čl.542.1.1.

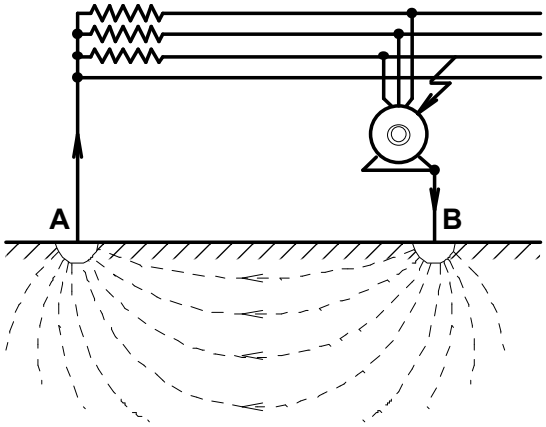
2.2 Fyzikální principy

Po úderu blesku do zemského povrchu se proud výboje rozptyluje zemí stejnosměrně všemi směry. Jev si lze představit jako průchod proudu mezi zemnicí elektrodou tvaru polokoule a soustřednou elektrodou s velmi velkým poloměrem, rozprostřenou v zemi.[8]



Obr. 2.2 Rozptyl elektrického náboje v zemi

Při průchodu proudu mezi dvěma zemními elektrodami proud prochází z jednoho zemniče do druhého vymezeným směrem.[9]



Obr. 2.3 Zemní proud mezi zemniči při elektrickém zkratu

[8] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 25.
[9] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 25.

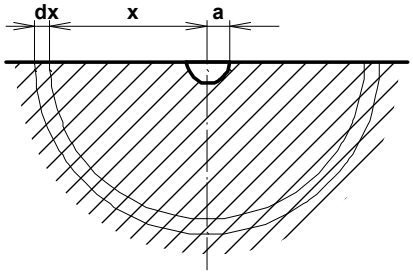
Zemniče ***A*** a ***B*** jsou od sebe obvykle značně vzdálené. Zemnič ***A*** je spojen se zdrojem energie, k zemniči ***B*** je izolovaným vodičem připojena kostra spotřebiče. Proud se od zemniče ***B*** vrací k zemniči ***A*** zemí. Země slouží jako zpětný vodič.

Způsob, jakým prochází proud zemí, závisí na vzdálenosti a vzájemné poloze zemních elektrod, na tvaru a kvalitě jejich povrchu a na vlastnostech okolní půdy. Půda je zpravidla špatným vodičem elektřiny. Proud se však při výstupu z elektrody rozptyluje široce do země, takže se vzdáleností od elektrody jeho hustota rychle klesá. Výsledná hodnota zemního odporu elektrody může být poměrně nízká.

Pro zjednodušení dalších úvah a výpočtu přijmeme předpoklad, že zemní elektrody mají tvar polokoule a půda je stejnorodá, s jednotnou hodnotou měrného odporu.

Zemní proud vycházející ze zemniče ***B*** se šíří rovnoměrně všemi směry, paprskovitě ze středu polokoule. Při homogenním odporu půdy napětí klesá ve všech směrech rovnoměrně a kolem zemní elektrody se tvoří polokulovité napěťové hladiny. Proudová hustota se snižuje se vzdáleností od elektrody ***B***. V okolí elektrody ***A*** se zemní proud zhušťuje a směřuje do jejího středu.

Půdu v okolí elektrody lze uvažovat jako polokouli o poloměru ***x***.



Obr. 2.4 Zemní elektroda

Povrch polokoule je: $$S = \frac{1}{2} \cdot 4\pi \cdot x^2 = 2\pi \cdot x^2 \quad [\mathrm{m}^2] \qquad (2.1)$$

Odpor tenké vrstvy polokulové slupky **dx** bude **dR** (při měrném odporu půdy ρ)

Podle vztahu: $$R = \rho \frac{l}{S} \quad [\Omega] \qquad (2.2)$$

musí být: $$dR = \rho \frac{dx}{S} = \rho \frac{dx}{2\pi \cdot x^2} \quad [\Omega] \qquad (2.3)$$

Je zřejmé, že odpor půdního prostředí je největší na povrchu elektrody, protože průřez první slupky je nejmenší. Odpor dalších půdních slupek klesá s druhou mocninou vzdálenosti od středu. Celkový odpor půdy od elektrody k danému místu je součtem odporů všech následných vrstev.

Odpor mezi povrchem elektrody s poloměrem a a polokoulí s poloměrem x bude:

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

Pro poloměr $x >> a$ platí: $$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot a} \qquad [\Omega] \qquad (2.5)$$

Pro polokouli s poloměrem x platí poměrný vztah:

$$\frac{R_x}{R} = \frac{\frac{\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{x}\right)}{\frac{\rho}{2\pi \cdot x}} = \frac{x}{a} - 1 \qquad [-] \qquad (2.6)$$

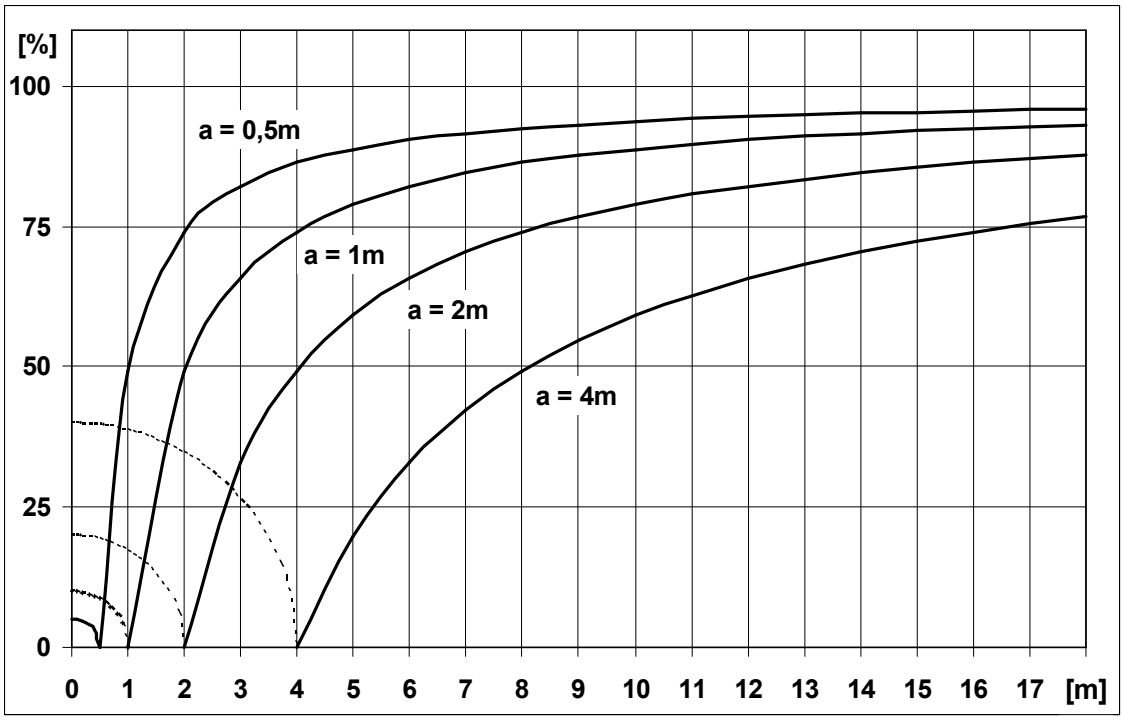
Při homogenním odporu půdy nezávisí poměrný růst zemního odporu na měrném odporu půdy, ale pouze na velikosti elektrody.

Graf 2.1 udává rozložení zemního odporu vzhledem ke vzdálenosti od zemní elektrody. Odpor R je vyjádřen v procentuálním poměru celkového zemního odporu. Největší podíl odporu se projevuje v několikametrové vzdálenosti od zemniče. Hodnota zemního odporu se projevuje úměrně velikosti zemniče. U menší elektrody se projeví blíže než u elektrody větší.

Graf je vytvořen pro zemniče o čtyřech poloměrech. Pro elektrodu s poloměrem $r = 0{,}5$ **m** se 75 % odporu projeví ve vzdálenosti 2 m, při poloměru $r = 1$ **m** ve vzdálenosti 4 m, při poloměru $r = 2$ **m** ve vzdálenosti 8 m, při $r = 4$ **m** ve vzdálenosti 16 m. Zároveň hodnota celkového zemního odporu s druhou mocninou velikosti povrchu zemniče klesá. Má-li být odpor poloviční, musí se povrch čtyřikrát zvětšit.

Odporový vliv půdy na elektrodu s poloměrem $r = 0{,}5$ **m** sahá do vzdálenosti přibližně 20 m, u rozměrnějších elektrod je dosah delší. Odpor elektrody lze vyjádřit jako odpor půdy mezi zemní elektrodou a povrchem koule o poloměru cca $r = 20$ **m**.

Graf 2.1 Závislost zemního odporu na poloměru elektrody[10]



Výchozí parametry výše uvedených výpočtů byly pro zjednodušení idealizovány. Byl uvažován souměrný půlkulový zemnič v homogenním půdním prostředí. Skutečné poměry v reálné zemní soustavě jsou složitější.

Zemní odpor kulové elektrody, uložené v zemi, s plochou pláště:

$$S = 4\pi \cdot a^2 \qquad [\mathrm{m}^2] \qquad (2.7)$$

určuje vztah:

$$R = \frac{\rho}{4\pi \cdot a} = \frac{\rho}{2\sqrt{\pi} \cdot \sqrt{S}} \qquad [\Omega] \qquad (2.8)$$

Zemní odpor je nepřímo úměrný druhé odmocnině plochy jejího povrchu. Pro snížení odporu na polovinu se musí povrch pláště čtyřikrát zvětšit.

Pro jiné tvary zemničů se tento poměr mění podle jejich hlavních rozměrů. U štíhlého trubkového zemniče lze polovičního zemního odporu dosáhnout zdvojnásobením jeho délky nebo zněkolikanásobením jeho průměru.[11]

[10] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 27.
[11] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 25-29.

2.3 Měrný odpor půdy

Velmi důležitým aspektem pro úroveň zemního odporu je druh a stav prostředí, v němž se zemnič nachází. Jednotlivé půdní druhy se liší z pohledu fyzikálního a chemického.

Souvislé horniny jsou obvykle velmi dobrými izolanty. Elektrickou vodivost způsobuje teprve sypký substrát nasycený vodou s ionty rozpuštěných solí. Půda vzniklá zvětráváním matečné horniny přejímá její vlastnosti. Křemičité půdy s žulovým podložím, trpící nedostatkem rozpustných uhličitanů jsou špatně vodivé. Půdy vzniklé na podložích vápencových, s vysokým obsahem rozpuštěných uhličitanů, mají naopak zemnící vlastnosti dobré. Organické zbytky látek po půdních biologických procesech taktéž zlepšují vodivost horních vrstev půdy.

Zemní vodivost významně ovlivňuje obsah vody v zemině. Propustné písčité vrstvy nejsou pro zemnící účely vhodné. Hlinité, dobře vodou prosycené zóny jsou pro uložení zemnících soustav naopak výborné.

Měrný odpor půdy, její rezistivitu vyjadřuje jednotka „Ωm“, číselně se jedná o elektrický odpor zeminou naplněného válce o průřezu 1 m^2 a délce 1 m.[12]

Průměrné hodnoty rezistivity některých druhů půd udává *Tab. 2.1*:[13]

Tab. 2.1 Průměrné hodnoty rezistivity různých druhů půd

Charakter půdy	Průměrná hodnota rezistivity [Ωm]
Sytá orná půda, vlhký kompaktní břeh	50
Chudá orná půda, štěrk, tvrdý břeh	500
Holá kamenitá půda, suchý písek, neproniknutelná skála	3000

Tabulka *Tab. 2.1* poskytuje pouze velmi hrubý obraz o hodnotách půdní rezistivity. Spoléhat se při výpočtu na tabulkami udávané hodnoty nelze, protože skutečné výsledky stanovené na základě měření mohou být velice odlišné.

[12] ČSN 33 2000-5-54, ed.3, Příl.D.
[13] ČSN 33 2000-5-54, ed.3, Příl.D.

3 Zemniče

Celkový odpor zemniče závisí na jeho tvaru a rozměrech, na způsobu jeho uložení v zemi, na fyzikálních a chemických vlastnostech zeminy v jeho okolí. Zemnič musí mít malý zemní odpor. Napěťový spád v půdě kolem zemniče musí být rozdělen tak, aby na povrchu nevznikaly potenciálové rozdíly nebezpečné osobám a hospodářským zvířatům.Toho se dosahuje především náležitými rozměry zemniče a jeho uspořádáním.[1]

Jako zemnící prvek může sloužit jakékoliv těleso, předmět nebo objekt uložený v zemi, který vůči okolnímu prostředí vykazuje dostatečně nízký odpor a je schopné vhodně přenášet elektrický náboj do země. Ne každé těleso se však může, z hlediska funkční bezpečnosti a spolehlivosti, jako zemnič uplatnit.

S přihlédnutím k technologické realizaci existují dvě základní kategorie zemničů:

* zemniče náhodné,
* zemniče strojené.

3.1 Zemniče náhodné

Přirozeným zemničem může být jakékoliv kovové těleso uložené v zemi nebo se jí neizolovaně dotýkající. V dřívějších dobách se s výhodou užívaly rozsáhlé vodárenské rozvody, litinová potrubí, kovové pláště zemních kabelů nebo ocelové drážní kolejnice. Vzhledem k obvykle velkoplošným sítím dosahovaly mimořádně nízkých zemních odporů.

Nevyhnutelné materiálové změny, např. plastová vodárenská potrubí, izolované pláště kabelů a obvyklý nesouhlas jejich provozovatelů, rovněž tak nezbytné zavádění elektroniky v drážním provozu výrazně omezilo možnosti využití náhodných zemničů. Pro praktické uplatnění se v současnosti hodí kovové podzemní konstrukce objektů nebo ocelové armatury v železobetonových základech staveb, pokud se nejedná o výztuž v předpjatém betonu. Kvalitním zemničem bývá štětovnicová stěna, která pozbyla svůj primární účel zpevňující konstrukce.[2]

Uzemňovací potenciál drážních kolejnic si pro vlastní technologické potřeby vyhradil dopravní provozovatel.

[1] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 23.
[2] Novotný, V.: *Uzemnění a jeho měření*, str. 40.

Platná norma ČSN 33 2000-5-54, ed. 3 v příloze NA. 11 jako náhodné zemniče uvádí kovové vodovodní sítě a kovové pláště kabelů, ovšem za předpokladu souhlasu majitelů a zajištěné informovanosti o změnách, které by mohly uzemňovací schopnost ovlivnit. Za úzce vymezených podmínek předpis povoluje propojit potrubí s pracovním uzemněním ve stejnosměrných zařízeních, a to výhradně na území společné uzemňovací sítě. Norma striktně zakazuje užití potrubní sítě hořlavých kapalin nebo plynů, topných systémů apod. jako zemničů pro ochranné uzemnění.[3]

3.2 Zemniče strojené

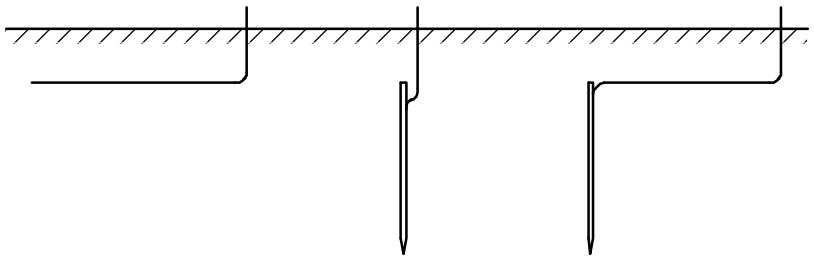
Strojené zemniče jsou zřizovány jako výsostně jednoúčelové systémy, po své realizaci neplní žádnou jinou funkci než uzemňovací.

Strojené zemniče se budují tehdy, pokud:[4]

* náhodný zemnič nelze využít (není dostupný, stavební objekt jej neobsahuje),
* náhodný zemnič nevyhovuje požadavkům předpisů,
* nevyhovuje hodnota zemního odporu náhodného zemniče,
* použití náhodného zemniče by bylo neekonomické,
* požární nebo jiné předpisy použití náhodného zemniče nepovolují,
* nelze zajistit, že spojení s náhodným zemničem nebude přerušeno,
* jiný předpis zřízení strojeného zemniče výslovně vyžaduje.

Podle způsobu uložení rozeznáváme zemniče:

* podpovrchové (horizontální),
* hloubkové (vertikální),
* kombinované (sdružené).



Obr. 3.1 Typy strojených zemničů

[3] ČSN 33 2000-5-54, Příl. NA.11.
[4] ČSN 33 2000-5-54, Příl. NA.4.

Materiálové požadavky na zemniče vycházejí z potřeb jejich dlouhodobé korozní odolnosti. Využívá se materiálů, které zaručují stabilitu ve vlhkém prostředí. Zemniče je dlužno ukládat mimo místa zamořená agresivními produkty skládek odpadů nebo chemických prostředků a doporučuje se zřizovat je vzdáleně od frekventovaných míst.

Materiály vhodné pro zemniče:[5]

* ocel žárově zinkovaná,
* ocel pokrytá mědí (žárově nebo elektrolyticky),
* ocel nerezová,
* měď.

Vzájemné spoje mezi součástmi z kovů rozdílných povah nesmí být nechráněně uloženy v zemi. Platí všeobecný úzus, že rozdílné kovy a slitiny by se neměly kombinovat.

Konstrukčně jsou zemniče řešeny jako tyče, trubky, pásky, dráty nebo desky.

3.2.1 Zemniče podpovrchové – pásky a dráty

Podpovrchové horizontální zemniče se ukládají do zemní rýhy v prostředí s dobrou vodivostí v horních vrstvách půdy do 1 m hloubky. Jako zemní elektrody se obvykle užívají žárově zinkované ocelové pásky (30x4 mm) nebo dráty (d=10 mm). V agresivních půdách je vhodnější používat zemniče s vyšší odolností. Dříve se užívaly ocelové s měděným povrchem nebo měděné, v současné době především zemniče z nerezové oceli.

Zemní odpor pásku délky ***l***, šířky ***a***, uloženého v zemi v hloubce ***h***, určuje vztah:[6]

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot l}\left(\ln\frac{4l}{a} + \ln\frac{l}{2h} \right) \qquad [\Omega] \qquad (3.1)$$

Zemní odpor drátu o průměru ***d*** je dán vztahem:[7]

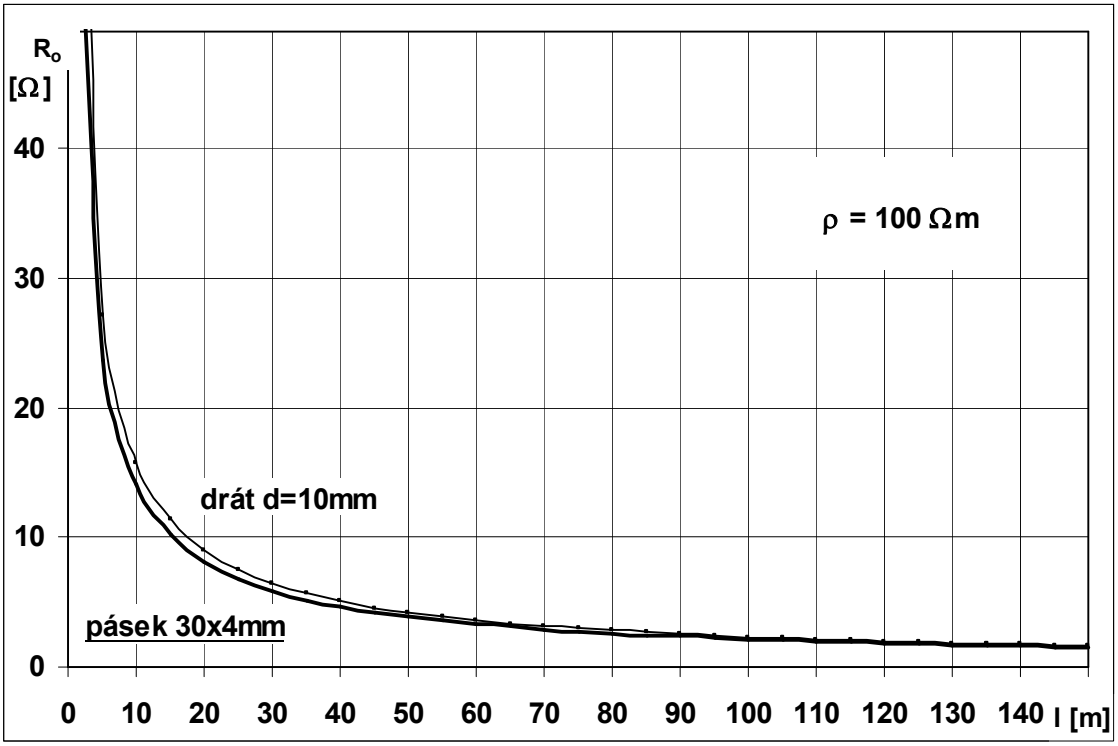
$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \ln\frac{l}{2h} \right) \qquad [\Omega] \qquad (3.2)$$

Vztahy platí za předpokladu: $l >> h >> a$ (d)

[5] ČSN 33 2000-5-54, Příl.D.3.
[6] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 57.
[7] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 57.

Graf 3.1 znázorňuje vliv délky dlouhého horizontálního zemniče na hodnotu jeho zemního odporu. Zobrazení grafu ukazuje páskový zemnič 30x4 mm a zemnič drátový o průměru d = 10 mm, uložené v hloubce h = 1 m, v půdě rezistivity ρ=100 Ωm.

Graf 3.1 Vliv délky zemniče na velikost zemního odporu



Z grafu vyplývá, že prodlužování zemniče nad 30 m délky přináší pouze nevýrazný účinek a z ekonomického hlediska je neefektivní.

Při srovnání páskového a drátového zemniče stejné délky, páskový zemnič vykazuje pouze nevýznamně nižší hodnoty zemního odporu než zemnič drátový. Jeho životnost je však vyšší, samozřejmě při o polovinu vyšších materiálových nárocích.

Předností horizontálních zemničů je jejich poměrně snadná výstavba za předpokladu dostupných volných ploch. Zemnič lze položit i do připravených kabelových tras.

3.2.2 Zemniče hloubkové – tyče a trubky

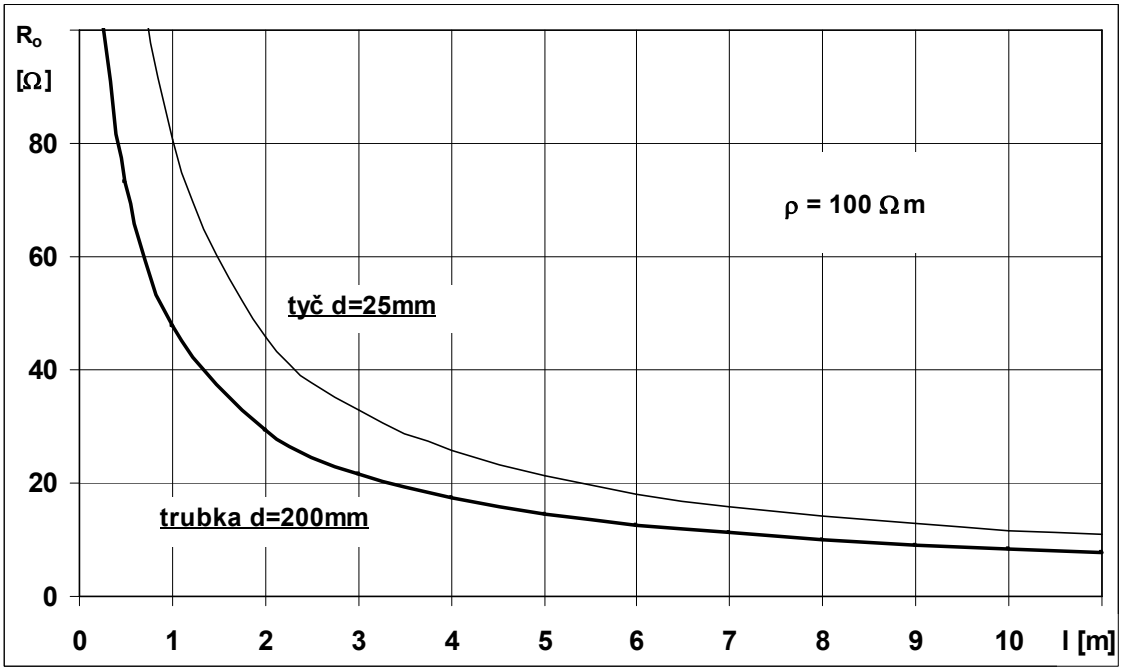
Hloubkové vertikální zemniče se uplatní v prostředí, kde byly měřením půdní rezistivity nalezeny vrstvy s optimální vodivostí v hloubkách nad 1 m. Zemní elektrody zpravidla tvoří žárově zinkované tyče (d = 25mm) dlouhé 1–2 m nebo 2–3 m dlouhé žárově zinkované trubky (až d = 50 mm). Jako zemniče mohou být využity též tyče jiných tvarů, např. válcované T profily. Pokud bude technologicky zajištěno vodivé propojení jednotlivých segmentů, lze napojované zemniče ukládat i do předvrtaných otvorů větších hloubek.

Zemní odpor tyče nebo trubky délky ***l***, o průměru ***d*** určuje vztah:[8]

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4l}{d} \qquad [\Omega] \qquad (3.3)$$

Graf 3.2 znázorňuje vliv délky vertikálního zemniče na hodnotu jeho zemního odporu. Zobrazení ukazuje tyčový zemnič o průměru d = 25 mm a zemnič trubkový o průměru d = 200 mm, v půdě rezistivity $\rho = 100\ \Omega$m.[9]

Graf 3.2 Vliv délky a průměru zemniče na velikost zemního odporu



[8] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 53.
[9] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 27.

Z grafu lze odvodit, že u 1 m dlouhého zemniče se osminásobným zvětšením průměru podaří snížit zemní odpor přibližně o 40 %. Obdobného výsledku lze docílit prodloužením identického zemniče na délku 2 m. Z tohoto plyne jednoznačný závěr, že podstatný vliv na výsledný zemní odpor má zvětšení délky zemniče.

Hloubkový vertikální zemnič nachází své nezastupitelné místo při uzemňování v hustě zastavěných oblastech s nedostatkem volných prostranství. Rovněž se uplatňuje při zlepšování stavu starších nevyhovujících zemních soustav.

3.2.3 Zemniče deskové

Dříve hojně využívaných deskových zemničů se je pro jejich malou účinnost a značnou materiálovou náročnost v České republice v současnosti užívat nedoporučuje.[10]

Pokud už k jejich instalaci dojde, je potřeba dbát na jejich orientaci ve vertikálním podélném směru. Samotná poloha desky sice na zemní odpor vliv obvykle nemá, ale se svislou polohou roste pravděpodobnost, že deska bude procházet vodivějšími vrstvami zeminy. Dalším pozitivem svislé polohy je, že zabraňuje možnému zhoršení styku desky se zeminou po slehnutí podložní vrstvy.

3.2.4 Zemniče sdružené

Jedinou zemní elektrodou zpravidla nelze dosáhnout potřebné kvality uzemnění. K dosažení požadované hodnoty zemního odporu bývá zapotřebí instalovat zemničů více. Elektrody je vždy nezbytné umístit tak, aby se jejich účinek vzájemně nerušil. Počet elektrod je volen s přihlédnutím k ekonomické hospodárnosti soustavy. Nadměrné zvyšování počtu zemničů vede již jen k nepatrnému zlepšení hodnoty zemního odporu.

Sdružovat lze zemniče vertikální propojením zemnících tyčí, horizontální vhodným spojením zemnících pásků, nebo doplněním zemnících pásků o optimálně umístěné tyče.

a) ***Vertikální zemnič***

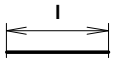
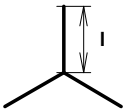
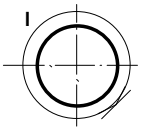
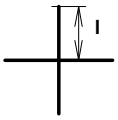
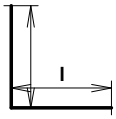
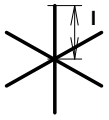
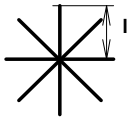
Tyčové zemniče se umisťují na minimální vzájemnou vzdálenost odpovídající jejich délce. V zónách s dostatečným volným prostorem je vhodné rozteč tyčí zvětšit na dvoj- až čtyřnásobek délky zemnicí tyče.[11]

[10] ČSN 33 2000-5-54, čl.542.2.3.
[11] Markiewicz, H.: *Uzemnění & EMC – Uzemňovací systémy*, str. 6.

b) ***Horizontální zemnič***

Sdružený zemnič horizontálního typu může být instalován v různých konfiguracích.

Tab. 3.1 Koeficient účinnosti páskového zemniče[12]

Uzemňovací elektroda	Koef. η	Uzemňovací elektroda	Koef. η
	**1**		**0,845**
	**0,940**		**0,736**
	**0,928**		**0,682**
	0,900		**0,515**

Zemní odpor sdruženého zemniče je dán vztahem:[13]

$$R_v = \frac{R_0}{n \cdot \eta} \qquad [\Omega] \qquad (3.4)$$

R_0 – zemní odpor jednoho zemniče (viz 3.5) [Ω]
n – počet zemničů [–]
η – koeficient účinnosti[14](~0,52 – 1,00) [–]

Zemní odpor jednoho páskového zemniče lze popsat zjednodušeným vztahem:[15]

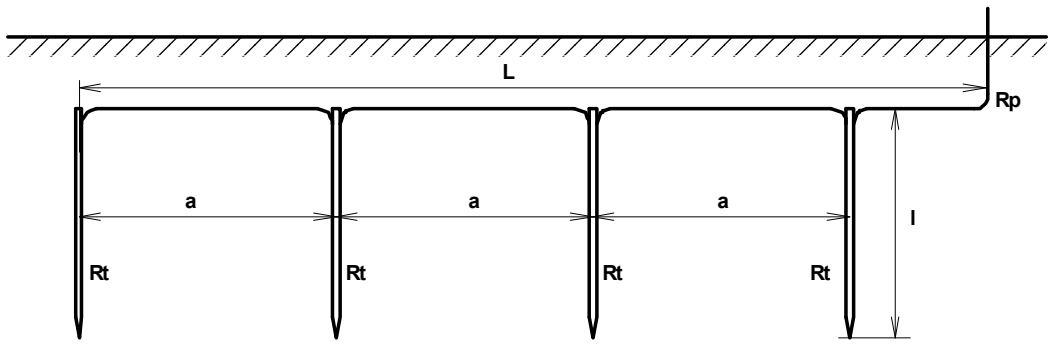
$$R_0 = 2 \cdot \frac{\rho}{l} \qquad [\Omega] \qquad (3.5)$$

Zpravidla se nedoporučuje ukládat více než čtyři zemnicí paprsky. Snížení zemního odporu položením většího počtu paprsků není adekvátní ekonomickým nákladům.[16]

[12] Novotný, V.: *Uzemnění a jeho měření*, Tab. 2, str. 28.
[13] Novotný, V.: *Uzemnění a jeho měření*, str. 27.
[14] Novotný, V.: *Uzemnění a jeho měření*, str. 27.
[15] Novotný, V.: *Uzemnění a jeho měření*, str. 27.

c) ***Kombinovaný zemnič***

Velmi efektivní konfiguraci sdruženého zemniče nacházíme v zemnící soustavě složené z tyčových zemničů vzájemně propojených spojovacím páskem.



Obr. 3.2 Kombinovaný zemnič

Celkový odpor sdruženého zemniče udává vztah:[17]

$$R_C = \frac{1}{\frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot n}{R_t} + \frac{1}{R_p}} \qquad [\Omega] \qquad (3.6)$$

R_p – zemní odpor spoj. pásku (viz 3.1) [Ω]
R_t – zemní odpor jedné tyče (viz 3.3) [Ω]
n – počet tyčí [–]
η_1 – koef. účinnosti tyčí (~0,30-0,80)[18] [–]
η_2 – koef. účinnosti vlivu soustavy pásku a tyčí (~0,90 pro L >> l)[19] [–]

Výslednou hodnotu zemního odporu sdruženého zemniče je významně ovlivňuje vzájemné působení jednotlivých elementů zemniče. Vzájemný vliv tyčových elektrod zohledňuje koeficient η_1. Jako optimální distance uložení tyčí byla stanovena vzdálenost trojnásobku délky zemnicí tyče.[20] Koeficient η_2 je úměrný vzájemné interakci zemnicích tyčí a spojovacího pásku. U zemnící soustavy, jejíž celková délka mnohonásobně přesahuje délku jednotlivých tyčí, se negativní vzájemné působení redukuje a velikost koeficientu se pohybuje na úrovni $\eta_2 = 0{,}9$.[21]

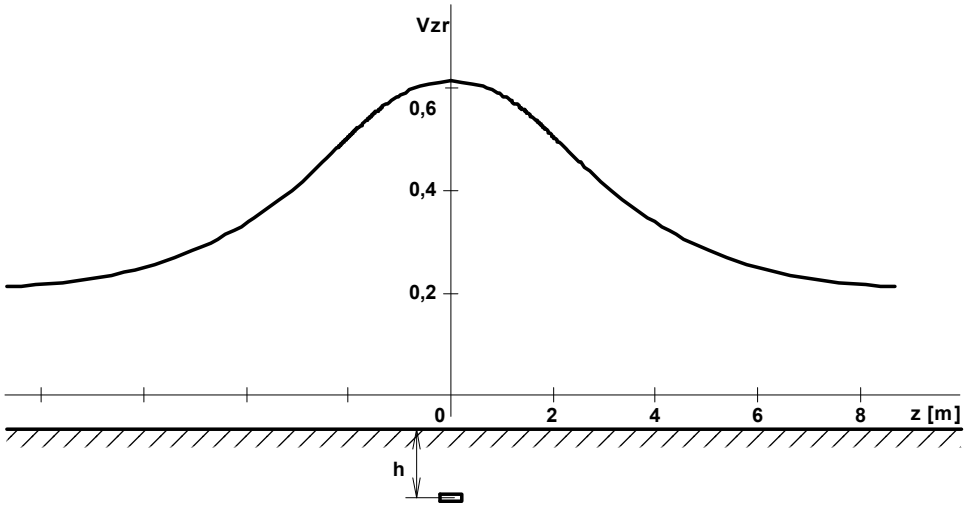
[16] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 63.
[17] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 63.
[18] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 64.
[19] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 63.
[20] Novotný, V.: *Uzemnění a jeho měření*, str. 20.
[21] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 63.

3.2.5 Zemniče mřížové

Průchodem elektrického proudu skrz elektricky vodivé prostředí se v tomto prostředí, v závislosti na jeho elektrickém odporu a rozměrech vytváří napěťový spád. Proto i elektrický proud opouštějící zemnič vytváří v okolní zemině proměnnou napěťovou hladinu, vázanou na hustotu zemního proudu, tvar zemniče a měrný odpor půdy.

Potenciálové rozdíly vzniklé na půdním povrchu se stávají nebezpečnými pro živé objekty. Vytvářejí velmi nebezpečná tzv. kroková napětí, která je potřeba vhodným technickým řešením eliminovat.

Rozložení povrchového potenciálu nad osamoceným horizontálním zemničem znázorňuje Obr. 3.3.[22]



Obr. 3.3 Rozložení povrchového potenciálu nad horizontálním zemničem

Rozložení potenciálu v okolí zemniče délky ***l***, uloženého v hloubce ***h***, při zemním proudu I_Z, udává vztah:[23]

$$V_Z = \frac{\rho \cdot I_Z}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{\sqrt{l^2 + 4h^2 + 4z^2} + l}{\sqrt{l^2 + 4h^2 + 4z^2} - l} \quad [\mathrm{V}] \qquad (3.7)$$

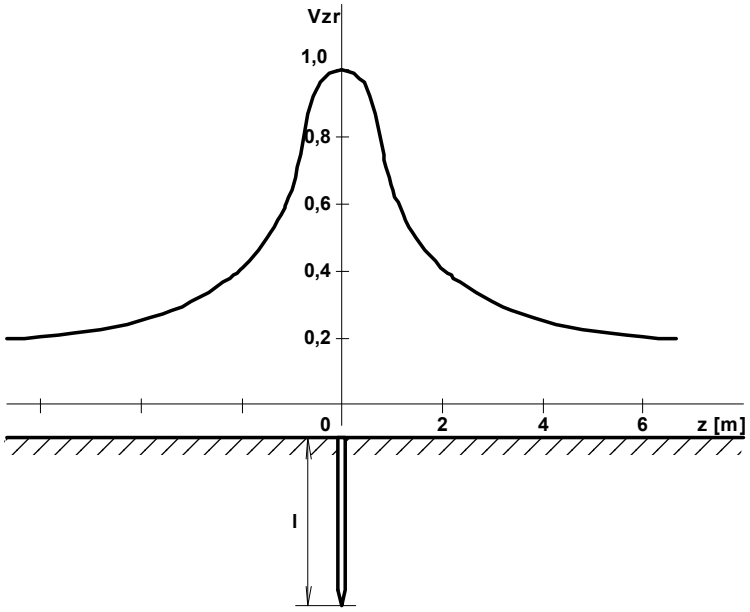
Relativní hodnota povrchového potenciálu je dána vztahem:

$$V_{Zr} = \frac{V_Z}{V_H} \quad [\mathrm{V}] \qquad (3.8)$$

V_H – potenciál uzemňovací elektrody [V]

[22] Markiewicz, H.: *Uzemnění & EMC – Uzemňovací systémy*, str. 3.
[23] Markiewicz, H.: *Uzemnění & EMC – Uzemňovací systémy*, str. 3.

Potenciálový spád v okolí vertikálního tyčového zemniče zobrazuje Obr. 3.4:[24]



Obr. 3.4 Rozložení povrchového potenciálu nad vertikálním zemničem

Hodnota povrchového potenciálu je dána vztahem:[25]

$$V_Z = \frac{\rho \cdot I_Z}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{\sqrt{l^2 + z^2} + l}{\sqrt{l^2 + z^2} - l} \qquad [\mathrm{V}] \qquad (3.9)$$

Při porovnání grafů Obr. 3.3 a Obr. 3.4 vychází výrazně nepříznivější napěťová konfigurace v okolí vertikálního zemniče.

Technicky vhodné řešení pro zajištění bezpečnosti se nalézá v optimálním vyrovnání zemních potenciálů chráněného území. Vyrovnání dosahujeme vytvořením mřížové sítě. Rozložením propojených horizontálních vodičů do pravidelných ok a jejich připojením ke všem vodivým součástem, se potenciál povrchu země přiblíží na úroveň, blízkou potenciálu uzemněných součástí. Působení vhodně navržené sítě eliminuje vznik potenciálových rozdílů, takže živé objekty nejsou v chráněné oblasti ohroženy.

Proudová hustota mřížové sítě je rozložena nerovnoměrně, nejvyšší zemní proudy procházejí okrajovými vodiči, přičemž obvodový vodič má vyšší zemní odpor než centrum sítě. Pokud se mřížová síť doplňuje hloubkovými vertikálními zemniči, instalují se po obvodu chráněné oblasti. Jejich vliv na vylepšení hodnoty zemního odporu však bývá marginální.[26]

[24] Markiewicz, H.: *Uzemnění &EMC – Uzemňovací systémy*, str. 5.
[25] Markiewicz, H.: *Uzemnění &EMC – Uzemňovací systémy*, str. 5.
[26] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 67.

3.2.6 Zemniče současné

Doporučujícím předpisem pro stavbu zemnících systémů v souladu s technickými požadavky v současnosti platnými v České republice je norma ČSN 33 2000-5-54, ed. 3.

Uvedená norma je českou verzí evropského harmonizačního dokumentu HD 60364-5-54:2011, který sám přebírá ustanovení mezinárodní normy IEC 60364-5-54:2011 s modifikacemi.[27] Zapracované modifikace jsou upřesněny v předmluvě citované ČSN. Obecně se požadavky na uzemnění a jejich uspořádáním zabývají jednotlivé body zmíněné normy v článku č. 542. Připojená „Příloha C" ozřejmuje principy ukládání základových zemničů do betonových základů a následná „Příloha D" ukládání zemničů do půdy. Národní příloha NA připojuje bližší informace k provádění uzemnění u elektrických instalací do 1000 V.

Specifika zemnících systémů elektrických instalací AC nad 1 kV jsou uvedena v normě „*ČSN EN 50522 – Uzemňování elektrických instalací AC nad 1 kV*". Harmonizovaná norma „*ČSN EN 62305-3, ed. 2 – Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života*" pak v jednotlivých bodech článku č. 5.4 „*Uzemňovací soustava*" upřesňuje podmínky a kritéria významná pro správnou činnost uzemňovacích soustav sloužících k ochraně staveb před bleskem.

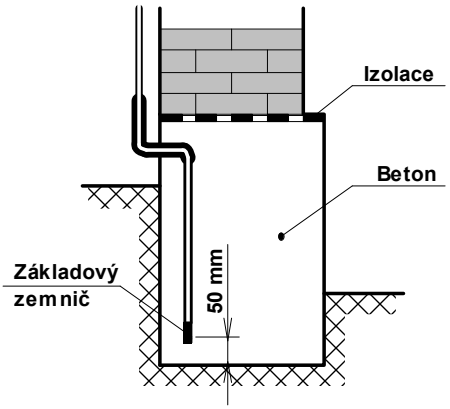
Stěžejní zásadou všech doporučení je využití náhodných zemničů. Pod pojmem „*náhodný zemnič*" v současnosti již nelze vidět neočekávaně objevený objekt nebo jeho část, u nějž byly dodatečně zjištěny vhodné vlastnosti, pro něž pak byl objekt jako zemnič využit. Jako náhodný zemnič se dnes většinou chápe záměrně zhotovená součást, s cíleně upravenými atributy, která však primárně slouží k jinému účelu. Názorným příkladem je armování základů staveb nebo spodky ocelových konstrukcí uložených v betonových základových patkách.

Principem základového zemniče je technologické řešení, kdy se v železobetonových deskových, vanových nebo pásových základech svaří alespoň jeden prut výztuže o požadovaném průřezu tak, aby vznikl obvodový kruh nebo mřížová síť. Přednostně se volí pruty výztuže, které v základu leží co nejníže a při jeho vnější straně.[28]

Zásadním požadavkem je, aby betonový základ byl ve volném styku s okolní zeminou. Jeho odizolování např. asfaltovým nátěrem zcela eliminuje uzemňovací potenciál.

[27] ČSN 33 2000-5-54, Předmluva.
[28] ČSN 33 2000-5-54, Příl. NA.10.6.4.

Strojený základový zemnič tvořený páskovou ocelí nebo ocelovým drátem, s předepsaným průřezem, se ukládá jako obvodový zemnič pod hydroizolační vrstvy tak, aby se nacházel 5 cm nade dnem výkopu, zcela obklopen betonovou směsí. Páskový zemnič je nutné ukládat nastojato, aby se při zalití betonem pod ním nevytvářily vzduchové kapsy, znatelně zvyšující hodnotu zemního odporu.[29]



Obr. 3.5 Uložení zemniče v betonových základech

Ze základového zemniče musí být vyvedeny přívody pro připojení všech uzemňovaných technologií, případně dalších zemničů. Potřebný počet přívodů, podle normy nejméně dva, se vyvedou tak, aby již neprocházely zemí. Jestliže tento požadavek nelze dodržet, musí být přívody ošetřeny pasivní ochranou.[30]

Zvláštní pozornost je zapotřebí věnovat překlenutí dilatačních spár v konstrukci. Zemniče je nutno uspořádat tak, aby nemohly být dilatačními silami porušeny.[31]

Optimálně navržený a správně instalovaný základový zemnič pro technologické potřeby většiny normálních staveb zpravidla postačí. Pokud základový zemnič svými vlastnostmi nedostačuje, nezbývá než zemnící soustavu rozšířit. Dobrou možnost nabízí uložení horizontálního vedení v optimální hloubce a vzdálenosti od obvodu chráněného objektu. V případě potřeby ekvipotenciálního vyrovnání lze přidat další obvodový horizontální vodič uložený ve větší hloubce a vzdálenosti od předešlého. Horizontální zemniče mohou být vhodně doplněny vertikálně uloženými zemnícími tyčemi. Všechny části soustavy a zemnicí prvky je třeba předepsaným způsobem propojit.

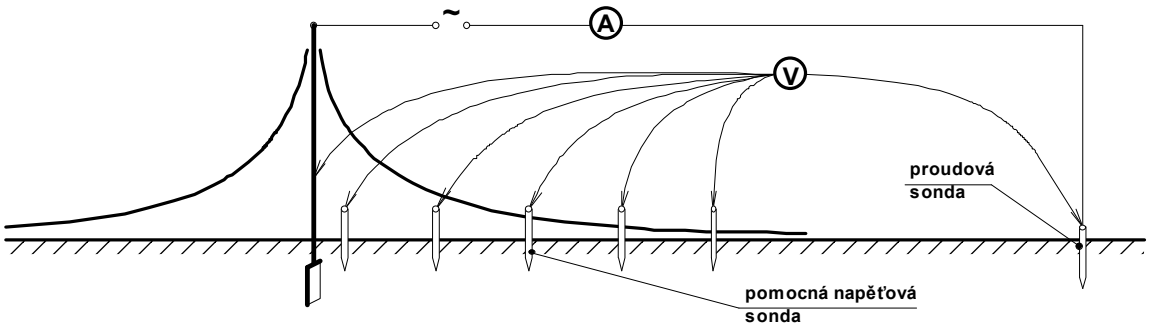
[29] ČSN 33 2000-5-54, Příl. NA.10.6.1.
[30] ČSN 33 2000-5-54, Příl. NA.10.6.3.
[31] ČSN 33 2000-5-54, Příl. NA.10.6.2.

4 Měření zemničů

Kvalita uzemnění a schopnost zemniče vypořádat se s požadavky připojeného technického zařízení závisí na jeho uložení. Různorodost a nehomogenita půdního prostředí, v němž se zemní elektroda nachází, nutí hledat charakteristický element tohoto uložení. Společným prvkem pro všechna uzemnění je hodnota zemního odporu.

Celkový zemní odpor zahrnuje několik dílčích složek. Především pojímá odpor materiálu zemniče, dále přechodový odpor mezi zemničem a půdním okolím a jako hlavní součást je reprezentován skutečný odpor zeminy obklopující zemnící soustavu.

Průchodem proudu zemnícím obvodem vznikají na dílčích odporech úbytky napětí. Napěťové stavy lze měřit a z jejich hodnot a velikosti procházejícího proudu pak příslušný odpor vypočítat. V homogenním prostředí by byl úbytek napětí rovnoměrně rozložen v kruhovém tvaru kolem zemniče. Nejvyšší potenciál se nachází v bezprostřední blízkosti zemnící elektrody a se vzdáleností potenciál postupně klesá. Ve vzdálenostech nad zhruba 20 m protéká proud tak rozlehlou plochou, že zemina už proudu neklade žádný odpor a potenciál klesá na nulu. Dá se proto odpor půdy do vzdálenosti přibližně 20 m považovat za odpor zemní elektrody.[1]



Obr. 4.1 Testování potenciálového spádu na povrchu země[2]

Zemní odpor uzemňovací elektrody se nedá oprostit od ostatních vnějších působení, proto jej nelze měřit přímo, ale pouze metodami nepřímými, prostřednictvím vhodně umístěných pomocných zemničů. V praxi se využívá metod dvou pomocných proudových sond nebo jedné pomocné proudové a druhé pomocné napěťové sondy.

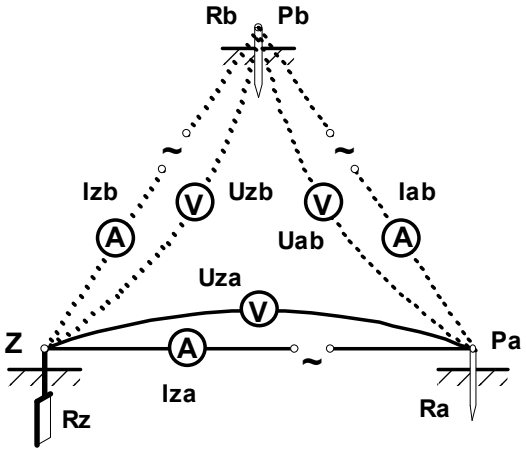
[1] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 636.
[2] Kolektiv autorů: *Revize elektrických zařízení a hromosvodů*, str. 71.

Při měření zemních odporů se musí přihlížet k specifickým vlastnostem prostředí a uplatňovat účelných měřicích metod. Konduktivita zemních vrstev je tvořena iontovou vodivostí rozpuštěných minerálií půdního podzemí. Stejnosměrný proud je pro polarizaci zemních elektrod a elektrolytické působení k měření nevhodný. Hodnoty zemních odporů získané metodami stejnosměrných měření vykazují nesprávné výsledky.

Při měření střídavým proudem z principu nezáleží na měřícím kmitočtu. Zemní obvod vykazuje charakter činného odporu, kapacitní a indukční složky jsou nevýznamné. Při měření je však vhodné se vyhnout užití průmyslového kmitočtu. Přítomná napětí a falešné proudy by do měření zanášely hrubé nepřesnosti a obzvláště v blízkosti velkých elektrických provozoven by docházelo k významnému zkreslení výsledků. Jako doporučující kmitočet se nabízejí frekvence 38 – 42 Hz nebo 62 – 78 Hz.[3]

4.1 Měření pomocí dvou proudových sond

Prostou metodu měření odporu zemniče prostřednictvím proudového zdroje, dvou zemních sond a jednoduchých elektrických měřidel demonstruje Obr. 4.2.



Obr. 4.2 Trojúhelníková metoda měření zemního odporu[4]

Elektrický proud ze zdroje ***G*** přivedený na zemnič ***Z*** a pomocnou sondu $\boldsymbol{P_a}$ prochází zemí a na součtovém odporu $\boldsymbol{R_z + R_a}$ vytváří napěťový spád $\boldsymbol{U_{za}}$. Procházející proud $\boldsymbol{I_{za}}$ je měřen ampérmetrem ***A***, napěťový spád voltmetrem ***V***.

[3] Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 115.
[4] Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 136.

Z Ohmova zákona vychází:

$$R_{z+a} = \frac{U_{za}}{I_{za}} \qquad [\Omega] \qquad (4.1)$$

Následná měření mezi zemničem $\boldsymbol{Z}$ a pomocnou sondou $\boldsymbol{P_b}$ a mezi pomocnými sondami $\boldsymbol{P_a}$ a $\boldsymbol{P_b}$ poskytnou hodnoty zemních odporů $\boldsymbol{R_{z+b}}$ a $\boldsymbol{R_{a+b}}$.

$$\begin{aligned} R_{z+a} &= R_z + R_a \\ R_{z+b} &= R_z + R_b \\ R_{a+b} &= R_a + R_b \end{aligned} \qquad [\Omega] \qquad (4.2)$$

Řešením soustavy rovnic je výsledný vztah:

$$R_z = \frac{R_{z+a} + R_{z+b} - R_{a+b}}{2} \qquad [\Omega] \qquad (4.3)$$

Tato měřící metoda umožňuje snadno pochopit nastíněnou problematiku. Pro praktické měření se však nevyužívala. Je časově náročná, potřebuje rozlehlý prostor v okolí zemniče, s volným povrchem a vyžaduje sice triviální, ale opakované početní úkony. Odpovídající výsledky poskytuje pouze za předpokladu, že zemnič i pomocné sondy vykazují blízké zemní odpory. V případě větších rozdílů, pak i drobné nepřesnosti při odečítání měřených údajů, způsobí velkou relativní chybu konečné hodnoty.[5]

4.2 Měření pomocí sondy proudové a napěťové

Výhodnější způsob měření, s přesnějšími výsledky, poskytuje metoda proudového obvodu a napěťové sondy.

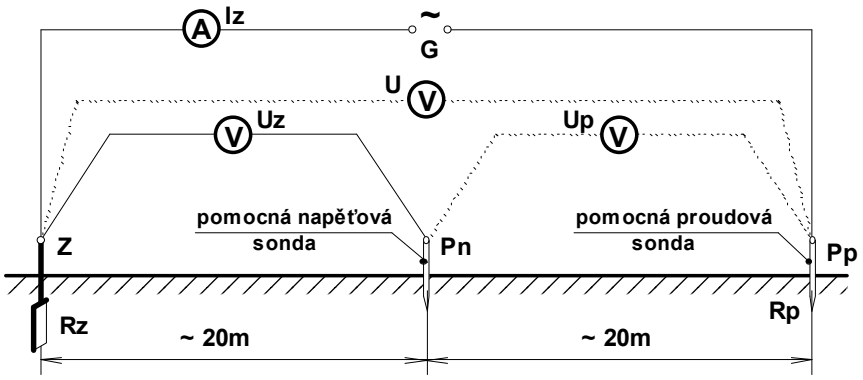
Zemní obvod tvořený měřeným zemničem $\boldsymbol{Z}$ a pomocnou proudovou sondou $\boldsymbol{P_p}$ je napájen ze zdroje $\boldsymbol{G}$ střídavým proudem $\boldsymbol{I_z}$, o velikosti 2,5–3,0 A. Napětí na zemniči $\boldsymbol{U_z}$ je měřeno prostřednictvím pomocné napěťové sondy $\boldsymbol{P_n}$.[6]

Zemní odpor vychází z Ohmova zákona:

$$R_z = \frac{U_z}{I_z} \qquad [\Omega] \qquad (4.4)$$

[5] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 646.
[6] Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 138.

V okolí zemniče $\boldsymbol{Z}$ i pomocné proudové sondy $\boldsymbol{P_p}$ se průchodem testovacího proudu vytvářejí potenciálová pole. Jejich úroveň klesá k nulové hodnotě teprve za hranicí prostoru působení elektrod. Pomocná napěťová sonda $\boldsymbol{P_n}$ měřící obvod zatěžuje pouze malým proudem, daným velikostí vnitřního odporu měřidla voltmetru. Díky nízké hodnotě tohoto proudu napěťová sonda potenciálový spád nevytváří a neovlivňuje měřicí obvod.

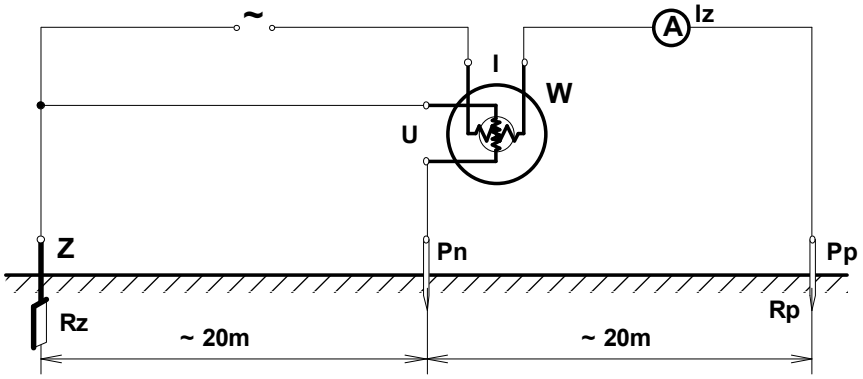


Obr. 4.3 Měření zemního odporu voltmetrem a ampérmetrem

Umístění a vzdálenost mezi zemničem $\boldsymbol{Z}$ a pomocnou proudovou sondou $\boldsymbol{P_p}$ musí vyloučit interakci jejich potenciálových polí. Většinou postačí dodržet odstup zhruba 40 m. Ve střední části jejich spojnice se nachází neutrální prostor vhodný k umístění pomocné napěťové sondy $\boldsymbol{P_n}$.[7]

4.2.1 Měření wattmetrem

Efektivní variantou předchozí metody je měření odporu zemniče prostřednictvím wattmetru a ampérmetru.[8]



Obr. 4.4 Měření zemního odporu wattmetrem a ampérmetrem

[7] Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 141.
[8] Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 142.

Hodnota zemního odporu je dána vztahem:

$$R_z = \frac{W_z}{I_z^2} \qquad [\Omega] \qquad (4.5)$$

Metoda nacházela využití především při měření malých zemních odporů rozsáhlých zemnících soustav. Nevelký napěťový spád na nelineární stupnici střídavého voltmetru je špatně odečitatelný. Stejnoměrná stupnice wattmetru byla pro tento účel mnohem vhodnější.[9]

4.3 Měřicí zařízení

Měření zemních odporů pomocí univerzálních měřicích přístrojů je neefektivní, zdlouhavé, náročné a nepřehledné při propojování zemničů s přístroji. Všechny popisované metody vyžadují následné početní zpracování naměřených dat. Úsilí konstruktérů bylo zaměřeno k hledání zjednodušených postupů nebo úpravu měřicích přístrojů tak, aby se co nejvíce usnadnil a urychlil proces získání potřebných hodnot a výsledků.

Postupně vykrystalizovaly dvě měřicí metody:[10]

- *Můstková metoda* – v měřidle je proměnnými odpory vyvažován odporový můstek, jehož jednu větev tvoří měřený zemnič;
- *Metoda upravených ohmmetrů* – měřidlo zjišťuje velikost zemního odporu přímo z úrovně přiloženého napětí a intenzity procházejícího proudu.

Součástí měřidla byl obvykle generátor měřicího proudu, zpravidla ve formě kličkového induktoru a indikátor vyvážení nebo naměřené hodnoty, což byl nejčastěji nějaký typ ručkového měřicího přístroje. Pokud se jednalo o měřidlo pracující na principu vyvažovaného můstku, pak indikátor jako citlivý galvanometr sloužil k vyvážení nuly. V případě měřidla typu ohmmetru, stupnice indikovala přímo naměřenou hodnotu.

Při práci s těmito typy měřidel se téměř výhradně využívalo dvou pomocných zemních sond. Sondy se umisťovaly v přímkové linii se zemničem, ve vzájemném rozestupu nejméně 20 m.[11]

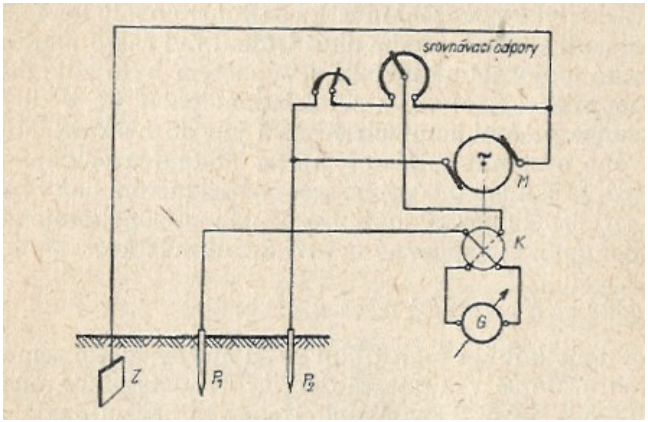
[9] Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 648.
[10] Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 144.
[11] Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 144.

4.3.1 Mášův měřič zemních odporů

Mášův měřič byl v československém poválečném prostředí dostupnou a rozšířenou technickou pomůckou sloužící při výstavbě a kontrolách zemnicích soustav.

Přístroj je reprezentantem měřidla využívajícího metody citlivého můstkového vyvážení. Dvou – (25/250 Ω) až třírozsahové (10/100/1000 Ω) zařízení je tvořeno dvojitým Wheatstonovým můstkem napájeným z kličkového induktoru přes mechanicky vázaný rotační usměrňovač. Vyvážení můstku bylo indikováno stejnosměrným ručkovým galvanometrem.

Měřič byl z elektrického hlediska dobře vyřešen, při měření dosahoval na tehdejší dobu velmi přesných hodnot. Po delším užívání však vykazoval poruchy na mechanických částech a především ve stykové dráze pohyblivého jezdce u vyvažovacích odporů.[12]



Obr. 4.5 Zjednodušené schéma zapojení Mášova měřiče zemních odporů

Pod pojmem „*Mášův přístroj*" bylo v pozdějším období na československém trhu k dispozici zařízení pro měření a kontrolu odporu obvodu vypínacího proudu.[13]

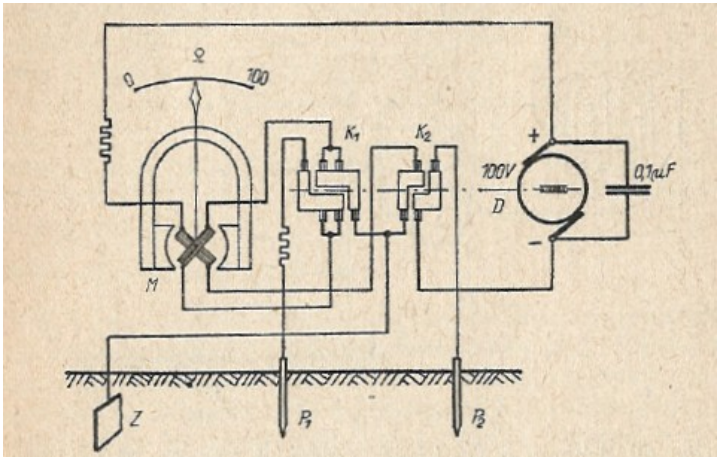
4.3.2 Terromet

Tuzemský výrobce METRA Blansko v 50. letech vyráběl pro účely měření zemních odporů měřicí přístroj, dodávaný pod obchodním názvem „*TERROMET*".

Přístroj zjišťoval odpor zkoušeného zemniče přímo jako podíl napětí na zemniči a intenzity proudu, který zemničem protékal. Měřicí ústrojí ručkového indikátoru bylo řešeno jako dvě zkřížené, navzájem kolmé cívky otočně uložené v magnetickém poli pólo-

[12] Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 147.
[13] Kolektiv autorů: *Revize elektrických zařízení a hromosvodů*, str. 67.

vých nástavců permanentního magnetu. Principiálně jde o poměrový přístroj, který při vhodném zapojení přímo ukazuje poměr dvou veličin, které jsou na cívky přivedeny.

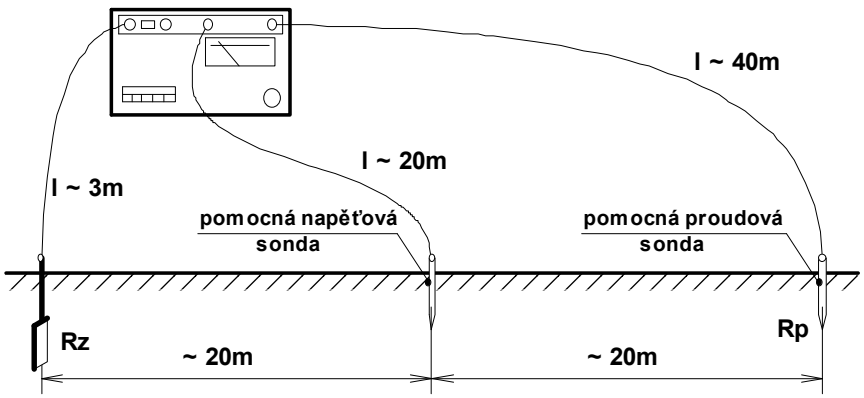


Obr. 4.6 Schéma zapojení měřiče zemních odporů Terromet

Vestavěný kličkový induktor sloužící jako napájecí zdroj, byl mechanicky spojený se dvěma rotačními komutátory. První komutátor induktorem vyráběný stejnosměrný proud měnil na střídavý pro napájení zemních sond. Druhý komutátor potom zpětný proud přivedený ze zemniče usměrňoval pro potřeby měřicího ústrojí deprézského systému měřidla.

4.3.3 Měřič zemních odporů PU 430

Od 70. let výrobce METRA Blansko nabízel měřič zemních odporů s tranzistorovou technologií. Přístroj PU 430 uzemnění testuje se standardním způsobem zapojeným zemničem a dvěma měřicími sondami.



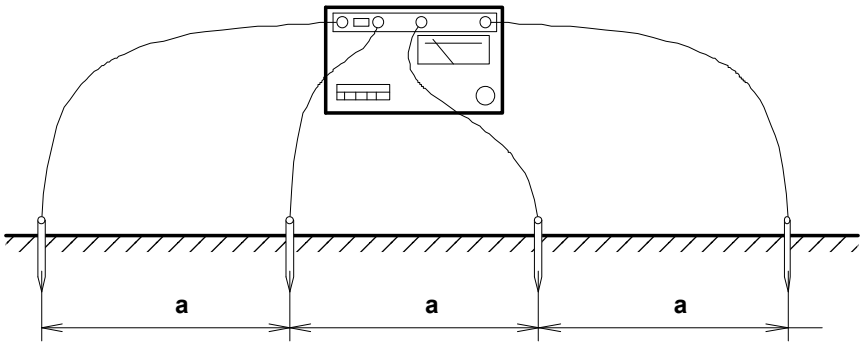
Obr. 4.7 Měření zemního odporu přístrojem PU 430

Velikost zemního odporu přístroj určuje srovnávací metodou. Měřicí proud ***I*** vytváří úbytek napětí $\boldsymbol{U_z}$ na odporu zemniče $\boldsymbol{R_z}$ a úbytek napětí $\boldsymbol{U_n}$ na sériově řazeném měrném odporu $\boldsymbol{R_z}$ v měřidle.

Odpor zemniče je dán vztahem:[14]

$$R_z = \frac{R_n}{U_n} \cdot U_z \qquad [\Omega] \qquad (4.6)$$

Měřičem lze zjišťovat měrný odpor zeminy $\boldsymbol{\rho}$. Wennerova čtyřbodová metoda měření vyžaduje čtyři zemní sondy, rozmístěné v jedné linii se stejnými rozestupy $\boldsymbol{a}$.



Obr. 4.8 Měření měrného odporu Wennerovou metodou

Po změření odporu $\boldsymbol{R_m}$ je hodnota měrného odporu zeminy dána vztahem:[15]

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot R_m \qquad [\Omega m] \qquad (4.7)$$

Takto stanovený měrný odpor je středním měrným odporem půdy do hloubky rovnající se přibližně rozestupu elektrod $\boldsymbol{a}$.[16]

Přístroj je napájen dvěma plochými bateriemi. Při odběru 100 – 350 mA je schopen na jeden pár baterií absolvovat několik desítek měření. Měřicí napětí U_M = 75 V/135 Hz vyrábí tranzistorový měnič, měřicí proud dosahuje maximální hodnoty I_M = 20 mA.

[14] Návod k obsluze PU 430.
[15] Návod k obsluze PU 430.
[16] ČSN 332050, čl.6.2.

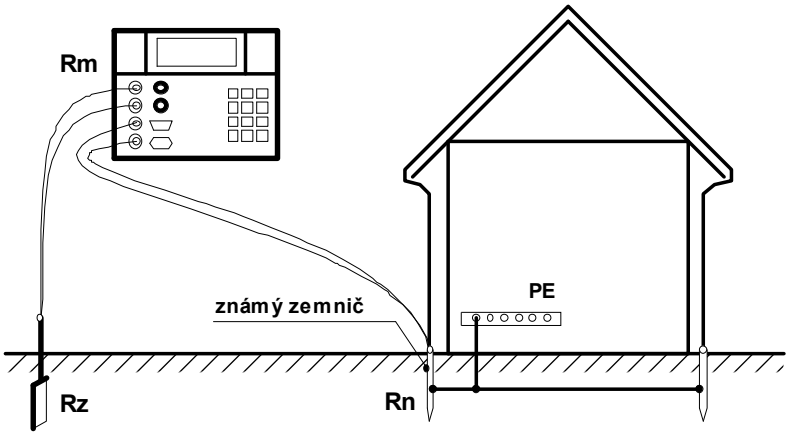
4.3.4 Další metody měření

Klasické metody měření selhávají v hustě zastavěných oblastech nebo stísněných prostorách, v nichž nelze vhodně umístit měřicí sondy a pomocné zemniče.

V takovýchto případech nezbývá než využít některé z alternativních měřicích metod, která s dostatečnou pravděpodobností zaručí relevantní výsledek.

a) ***Měření s využitím známého zemniče***

Je-li k dispozici zemnič, jehož zemní odpor je známý, lze vhodným měřidlem změřit odpor sériového spojení známého a měřeného zemniče.



Obr. 4.9 Měření s využitím známého zemniče

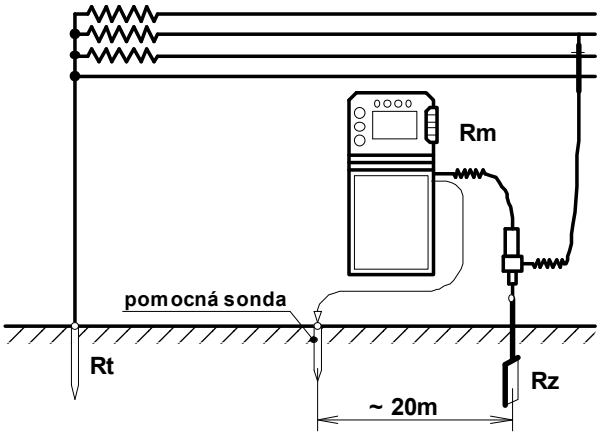
Po změření odporu R_m je velikost odporu měřeného zemniče R_z dána vztahem:

$$R_z = R_m - R_n \qquad [\Omega] \qquad (4.8)$$

Takovýmto známým zemničem může být i PEN vodič sítě TN. V rozsáhlých sítích TN s dobře provedeným uzemněním je zemní odpor PEN vodiče obvykle velmi nízký.

b) ***Měření s využitím elektrické sítě a pomocné sondy***

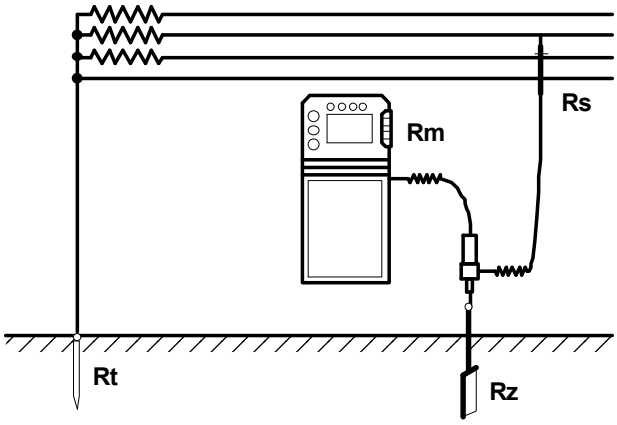
Měřicí napětí pro měření zemního odporu může poskytnout elektrická distribuční síť. Vhodně řešeným měřidlem doplněným pomocnou sondou lze přímo stanovit hodnotu zemního odporu měřeného zemniče.



Obr. 4.10 Měření s využitím el. sítě a pomocné sondy

c) ***Měření s využitím elektrické sítě bez pomocné sondy***

V případě, že v oblasti měření není dostatečný prostor pro umístění pomocné sondy, lze měření uskutečnit bez sondy.



Obr. 4.11 Měření s využitím el. sítě bez pomocné sondy

Ze změřené hodnoty $\boldsymbol{R_m}$ odpor měřeného zemniče $\boldsymbol{R_z}$ je dán vztahem:

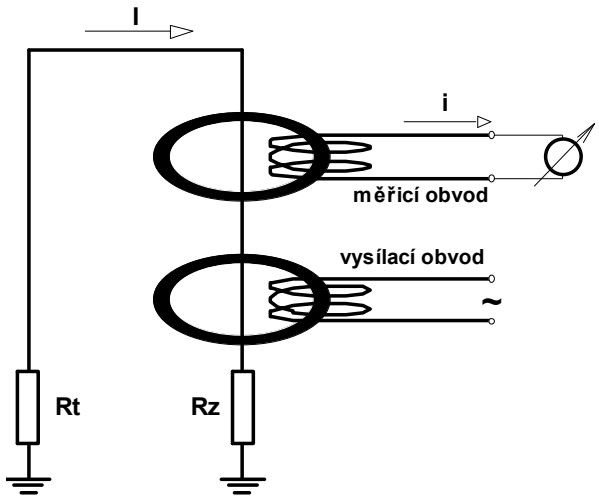
$$R_z = R_m - \frac{1}{2} R_s - R_t \qquad [\Omega] \qquad (4.9)$$

Změřená hodnota $\boldsymbol{R_m}$ zahrnuje hledaný odpor zemniče $\boldsymbol{R_z}$, odpor fázového vodiče $\boldsymbol{R_s}$ a odpor uzemnění uzlu transformátoru $\boldsymbol{R_t}$. Uzel transformátoru sítě TN je uzemněn s dostatečně nízkou hodnotou zemního odporu, která obvykle v místě měření není známa. Skutečný odpor zemniče $\boldsymbol{R_z}$ je tedy nižší než změřený.

4.3.5 Měření pomocí proudových kleští

V uzemňovací soustavě, která se skládá z více paralelně zapojených zemničů, se klasickými metodami měření odporu uzemnění zjistí celkový odpor uzemňovací soustavy. Pro stanovení hodnot odporů jednotlivých zemničů je nutno každý zemnič nejprve odpojit od soustavy a poté jej samostatně změřit. Takovýto postup je v praxi časově náročný a pracný. V případě vyšších vyrovnávacích proudů může být i nebezpečný.

Řešení přináší metoda měření prostřednictvím dvojice proudových kleští.



Obr. 4.12 Princip měření klešťovým měřičem

Vysílací sonda generuje střídavé napětí, které prostřednictvím magnetického obvodu v zemní smyčce indukuje proud ***I***. Měřicí sonda velikost tohoto proudu měří. Hodnota indukovaného proudu je úměrná odporu zemní smyčky.

Základní předností metody je, že nevyžaduje instalaci zvláštních pomocných zemničů nebo zatloukání měřicích sond.

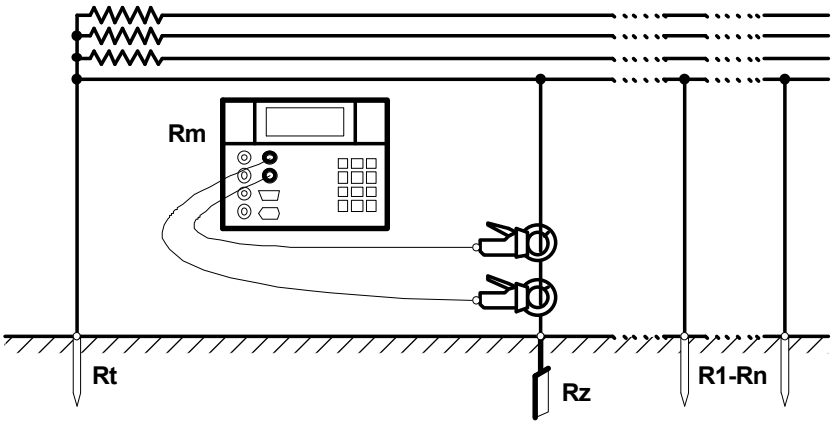
a) ***<u>Měření v rozsáhlé, vzájemně propojené uzemňovací soustavě</u>***

Souhrnná hodnota R_s odporů všech paralelně řazených zemničů napájené soustavy je obvykle velmi nízká:

$$R_s = \frac{1}{\frac{1}{R_t} + \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{R_j}} \qquad [\Omega] \qquad (4.10)$$

Změřená hodnota $\boldsymbol{R_m}$ zahrnuje všechny zemniče měřené soustavy:

$$R_m = R_z + R_s \qquad [\Omega] \qquad (4.11)$$

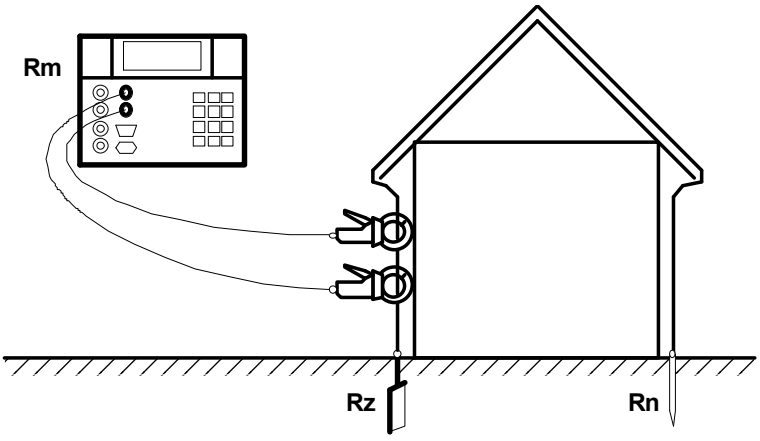


Obr. 4.13 Princip měření odporu zemní smyčky pomocí proudových kleští

Pokud rozsah měřené soustavy je takový, že hodnota odporu $\boldsymbol{R_s}$ je výrazně nižší než hodnota $\boldsymbol{R_z}$, lze změřený odpor $\boldsymbol{R_m}$ považovat za hledaný odpor $\boldsymbol{R_z}$.

b) ***Měření v lokální uzemňovací soustavě***

V lokální uzemňovací soustavě s několika málo zemniči se do změřené hodnoty $\boldsymbol{R_m}$ zpravidla promítne hodnota zemního odporu každého zemniče.



Obr. 4.14 Měření odporu zemní smyčky pomocí proudových kleští

Princip, na kterém je metoda měření pomocí proudových kleští založená, vyžaduje, aby měřenou soustavu tvořily nejméně dva vzájemně propojené zemniče. V případě

měření jednoduchého zemniče je nutné předem zřídit pomocný zemnič, případně využít blízkého náhodného zemniče.[17]

Změřená hodnota $\boldsymbol{R_m}$ vyjadřuje hodnotu zemního odporu celé soustavy:

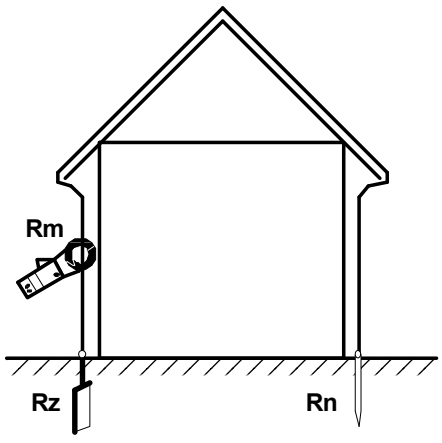
$$R_m = R_z + R_n \qquad [\Omega] \qquad (4.12)$$

Ze vztahu (4.12) plyne, že hledaná hodnota zemního odporu $\boldsymbol{R_z}$ je nižší než změřená hodnota $\boldsymbol{R_m}$. Pokud takto zjištěná hodnota požadavkům na účel zemnící soustavy vyhovuje, lze ji akceptovat jako hodnotu oficiální. Pokud nevyhovuje nebo se nachází na hranici přijatelnosti, nezbývá než přesnější hodnotu hledat vhodnější metodou.

c) ***Měřicí přístroje jednoklešťové***

Metoda měření zemního odporu pomocí proudových kleští vyžaduje dvojici klešťových senzorů a vyhodnocovací jednotku. Klešťové sondy se při měření umisťují v předepsané minimální vzájemné vzdálenosti a s vyhodnocovací jednotkou jsou propojeny připojovacími vodiči. Měřicí sestava je dosti těžkopádná a obzvláště v nepřístupných a stísněných prostorách vcelku nepraktická.

Přední světoví výrobci elektronických měřidel dokázali celou sestavu sloučit do jednoho mechanického celku a elegantně tak vyřešili poměrně náročné měření.



Obr. 4.15 Měření odporu zemní smyčky jednoklešťovým měřidlem

[17] Návod k obsluze PU 193.

4.4 Technická omezení

Každá z popsaných měřicích metod má svoje limity a svá omezení. Při měření konkrétního zemniče je vždy potřeba uvážit jeho technickou dispozici a pro vlastní měření užít nejvhodnější metodu.

V současnosti se pro měření zemničů téměř výhradně užívají zvlášť konstruovaná měřidla buď jednoúčelového typu, nebo jako součást sdruženého měřicího přístroje. Měřidla zpravidla pracují na principu ohmmetru, popřípadě na principu měřicích kleští. Můstkovou měřicí metodu, pokud je ji už nezbytné aplikovat, tak pouze pro ryze speciální a ojedinělé případy spíše výzkumného nebo vědeckého charakteru.

a) ***Měření prostřednictvím měřicích sond***

Měření s využitím pomocné napěťové a proudové sondy představuje velice účinnou a spolehlivou metodu. Při dodržení správné topografie zemních elektrod a doporučených vzdáleností, metoda poskytuje velmi korektní výsledné hodnoty.

Nevýhody měřicí metody:

* Měření vyžaduje v okolí zemniče rozsáhlý prostor s volným povrchem;
* Zemnič nesmí být spojen s ochranným vodičem elektrické sítě, což v rozsáhlých instalacích městských aglomerací je těžko kontrolovatelné. Pokud toto spojení, byť náhodné existuje, pak naměřená hodnota prezentuje hodnotou zemního odporu paralelní kombinace zkoumaného zemniče a všech připojených instalací včetně uzlu distribučního transformátoru.

b) ***Metody využívající elektrickou síť***

Časově rychlá a operativní metoda. Sofistikovaně řešené měřicí přístroje jsou schopny, s poměrně nevelkými nároky na přípravu měření poskytnout přijatelně přesné výsledky.

Nevýhody měřicí metody:

* Měření vyžaduje mít v blízkosti zemniče k dispozici elektrickou síť;
* Při nesprávně instalovaném nebo přerušeném přívodu k zemniči hrozí zavlečení velmi nebezpečného elektrického potenciálu na přístupné části elektrických zařízení a jiných vodivých součástí;
* Podmínka propojeností zemniče s ochranným vodičem odpovídá stavu popsanému u předchozí metody.

c) ***Měřidla klešťová***

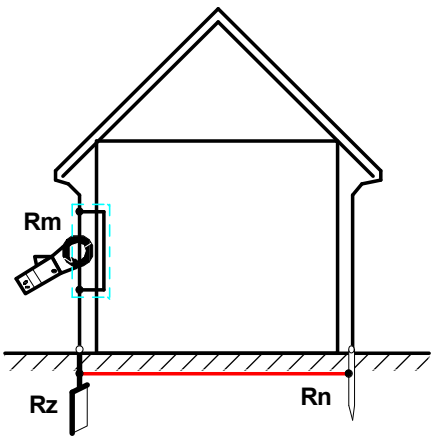
Obzvláště u jednoklešťových měřidel se jedná nejspíše o nejrychlejší a nejsnáze realizovatelnou metodu měření. Zároveň však o metodu, která při nesprávném vyhodnocení může produkovat též nejvyšší míru zavádějících výsledků.

Metoda je určena především pro zemnící soustavy s minimálně dvěma zemniči. Existuje i vypracovaná metodika pro měření soustavy s jedním zemničem, ovšem lze vést diskuzi, zda v takovém případě není lépe využít jiné, příhodnější měřicí metody.

Nedocenitelnou předností této metody je fakt, že se při měření nemusí rozpojovat zkušební svorky k zemniči. Odpadá tak nebezpečí poruch a poškození technologických zařízení vyžadujících trvalé uzemnění, jako jsou např. některé typy vysílačů. Rovněž se významně snižuje riziko možného úrazu přítomných osob v případě časového souběhu odpojení zemniče s náhodnou poruchou na místně připojeném elektrickém zařízení.

Nevýhody měřicí metody:

* Jednotlivé zemniče nesmí být mezi sebou vzájemně v zemi propojeny;
* Při nepozorně umístěných kleštích hrozí riziko měření falešných uzavřených smyček.



Obr. 4.16 Nesprávné měření odporu zemní smyčky jednoklešťovým měřidlem

5 Měření reálné zemnící soustavy

Pro ukázku praktického měření, při níž lze demonstrovat užití několika měřicích metod prostřednictvím tří různých měřicích přístrojů, byl vybrán objekt s jednoduchou zemnící soustavou. Poněkud širší rozsah měření požaduje minimalizovaný provoz v objektu, kdy se ani po odpojení některých technických částí výrazně nezvyšuje riziko vzniku materiálních škod nebo zdravotního poškození v objektu přítomných osob.

5.1 Doporučení pro měření zemních odporů[1]

Při měření zemních odporů je účelné dodržovat některá praxí ověřená opatření, která zaručují nejen správné změření hodnot, ale též bezpečnost práce při vlastním měření.

Při měření:

a) je nutné dbát na to, aby pomocné elektrody byly umístěny v jedné přímce s měřeným zemničem;
b) je nutné – pokud to lze prakticky provést, umístit pomocné elektrody kolmo na vedení přípojek;
c) pomocné elektrody se nemají umisťovat nad zemnící pásek nebo jiné kovové konstrukce uložené v zemi;
d) nemáme-li jistotu, kde a jak je uloženo zemnící zařízení, je účelné zvětšit vzdálenost pomocných elektrod od měřeného zemnícího zařízení minimálně na 40 a 80 m;
e) délka spojovacího vodiče od měřeného zemniče k měřicímu přístroji nemá být větší než 3 m; není-li možno tuto vzdálenost dodržet je nutno zdvojit spojovací vodiče, a tím odstranit (zejména při měření malých hodnot odporů), vliv odporu spojovacího vedení na celkový výsledek měření.

Dle ČSN EN 50110, ed. 2, „*Obsluha a práce na elektrických zařízeních*“ je měření (obecně) považováno za práci na elektrickém zařízen související s kontrolou funkčního stavu zařízení. Touto normou je dána i nutná kvalifikace osob pro jednotlivé druhy měření.

[1] Heřman, J., Trintkewitz, Z., et al.: *Elektrotechnické a telekomunikační instalace,* část 14, díl 7, kap. 3, str. 5.

5.2 Měřicí přístroje

Obvyklá měření zemních odporů zemnících soustav i jednotlivých zemničů, zřizovaných pro zajištění provozní bezpečnosti elektrických instalací a k hromosvodové ochraně, se v praxi zpravidla realizují běžně dostupnými, komerčně nabízenými měřicími přístroji. Měřidla ukazující přímo hodnotu měřené veličiny, jsou vyráběna buď jako jednoúčelové typy nebo mohou tvořit měřicí rozsah sdruženého víceúčelového zkušebního zařízení. Přístroje od různých výrobců jsou k dispozici v analogové nebo digitální formě, jejich napájení většinou zajišťují běžné typy napájecích článků, u některých modelů bývají též užity výměnné akumulátory.

Ke zdárnému průběhu celé měřicí procedury je nezbytné disponovat i dalším podpůrným vybavením, jako jsou zemnící tyče, pomocný zemnič a měřicí sonda, propojovací vodiče a různé jiné drobné příslušenství.

Zkoumaná zemnící soustava byla testována třemi měřicími přístroji.

K dispozici byly:

* Tranzistorový měřič zemních odporů PU 430;
* Zkušební přístroj PROFITEST 0100S-II;
* Klešťový měřič zemního odporu C.A 6412.

5.2.1 Tranzistorový měřič zemních odporů PU 430

Představuje jednoúčelové analogové měřidlo, určené ke klasickým metodám měření. Stručná informace o technických údajích a krátký popis měřicích možností přístroje se nachází na str. 41 – 42, v kap. 4.3.3 této práce.

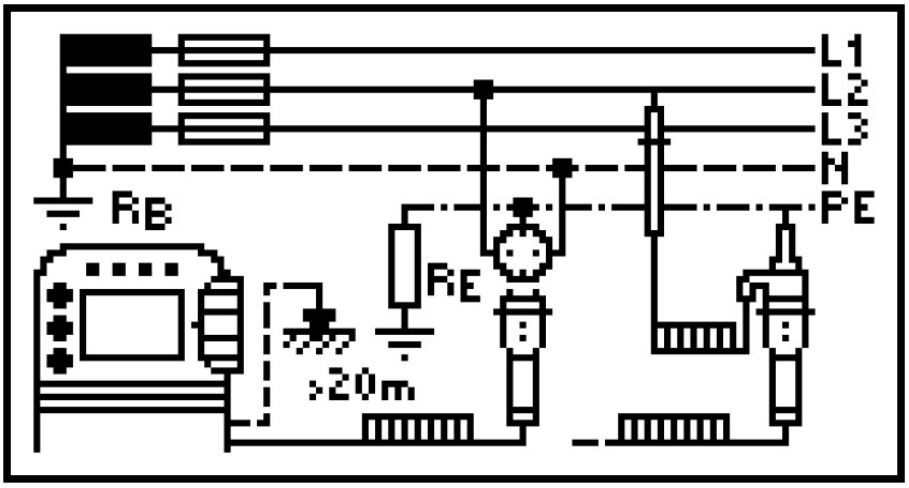
5.2.2 Zkušební přístroj PROFITEST 0100S-II

Výrobce GOSSEN METRAWATT před více než dvaceti lety uvedl na trh univerzální měřicí přístroj pro revize elektrických zařízení, pod obchodním názvem PROFITEST 0100S.

Digitální přístroj s plnohodnotným spektrem měřených veličin se zařadil na tehdejší špičku v oboru revizních měřidel. Přístroj byl několikrát inovován, zejména jeho programové vybavení vyžadovalo průběžně zdokonalit. V současné době je přístroj již kvalitativně překonán jinými výrobky, přesto si stále udržuje solidní úroveň a při běžné údržbě a pravidelných kalibracích zaručuje odpovídající a přesné výsledky.

S měřicím přístrojem lze provádět širokou škálu potřebných měření. Pro účely předkládané práce byl uplatněn rozsah „*Měření odporu uzemnění* (*Funkce* R_E)“.[2]

Jednoduchá grafická nápověda pro zapojení měřicího adaptéru je, po aktivaci příslušným tlačítkem, dostupná přímo v měřidle (viz Obr. 5.1).



Obr. 5.1 Připojení přístroje – Měření odporu uzemnění

Přístroj měří odpor uzemnění $\boldsymbol{R}_E$ metodou přiloženého napětí a proudu. Měřicí proud procházející obvodem při měření je přístrojem automaticky řízen. Vzniklý napěťový spád je úměrný odporu uzemnění.

Měření může být absolvováno s pomocnou měřicí sondou nebo bez ní. Se sondou je měření přesnější, avšak pomalejší, bez sondy je měření rychlejší, ovšem méně přesné.

a) ***Měření se sondou***

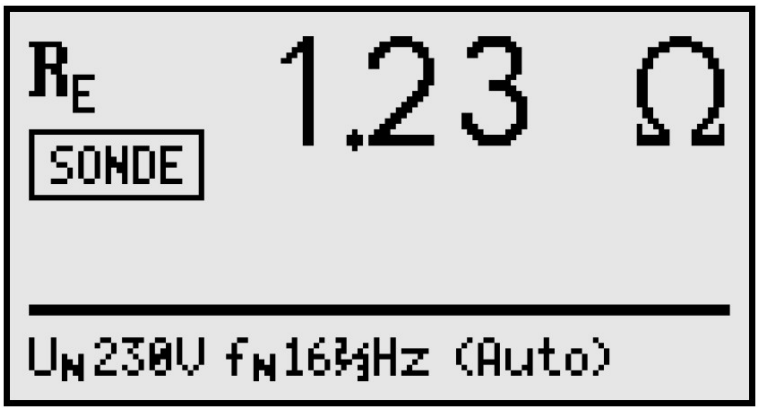
Měření s pomocnou sondou, při dodržení správné topografie a doporučených vzdáleností, poskytuje okamžitou, velmi přesnou hodnotu. Velikost zemního odporu je v digitální podobě zobrazena na displeji přístroje (viz Obr. 5.2).

Odpory měřicího vedení a přístrojového adaptéru jsou měřidlem automaticky kompenzovány a nejsou součástí výsledku.

Podmínky připojení pomocné sondy a její umístění odpovídá obecným doporučením pro všechna zemní měření. Užívá se sonda umístěná kolmo na měřený zemnič, ve vzdá-

[2] Návod k obsluze PROFITEST 0100S-II, str. 40.

lenosti nejméně 20 m, mimo přímý vliv jiných zemničů. Zemní odpor měřicí sondy může dosáhnout hodnoty až 50 kΩ a rovněž se nezapočítá do výsledku měření. Pokud je hodnota odporu příliš vysoká, přístroj automaticky přechází do způsobu měření bez sondy.



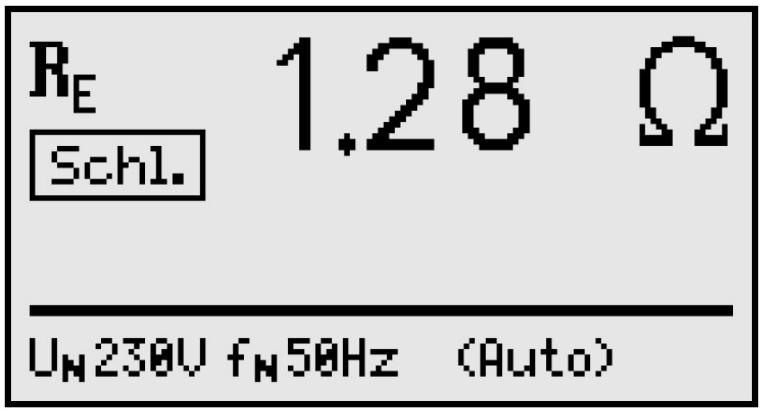
Obr. 5.2 Měření odporu uzemnění – měření se sondou

b) ***<u>Měření bez sondy</u>***

V případech, kdy umístění měřicí sondy v místě měření není z prostorových důvodů nebo neprostupného terénu reálné, je možné změřit odpor uzemnění bez sondy metodou „*Měření impedance smyčky zemniče*“.

Zapojení přístroje a měřicího adaptéru je shodné s původním, pouze v měřidle nedojde k připojení sondy.

Změřená hodnota, zobrazena na displeji přístroje (viz Obr. 5.3), je zatížená chybou odpovídající úhrnnému zemnímu odporu celé napájecí sítě (R_B) v místě měření s přičteným odporem fázového vodiče až do místa měření (1/2 R_l).



Obr. 5.3 Měření odporu uzemnění – měření bez sondy

Ze změřené hodnoty $\boldsymbol{R_{ESchl}}$ se odpor měřeného zemniče $\boldsymbol{R_E}$ vypočítá podle vztahu:[3]

$$R_E = R_{ESchl} - \frac{1}{2} R_I - R_B \qquad [\Omega] \qquad (5.1)$$

Celková hodnota zemního odporu napájecí sítě v místě měření (R_B) zpravidla není známa. Hodnota vnitřní impedance sítě (R_I), kterou lze změřit přístrojem PROFITEST, bývá obvykle velmi nízká. Přístrojem udaná hodnota je tedy vyšší, než skutečná velikost zemního odporu měřeného zemniče. Pokud přístrojem udaná hodnota splňuje technické a bezpečnostní požadavky, lze ji přijmout jako hodnotu konečnou. Pokud požadavky nesplňuje nebo se pohybuje na dovolené hranici, pak je potřeba měřit jinou metodou.

5.2.3 Klešťový měřič zemního odporu C.A 6412

Klešťová metoda měření elektrických veličin založená na měření magnetického pole je metoda letitá. Francouzskému výrobci CHAUVIN ARNOUX se jako prvnímu podařilo technicky vyřešit problém magnetické separace dvou blízkých magnetických obvodů, takže mohl do jednoho mechanického celku sloučit dvojici klešťových jednotek, vysílací a měřicí, připojit k nim elektronickou vyhodnocovací jednotku a uvést do praxe a vstoupit na trh s elegantním měřidlem odporu uzavřených smyček.

Jednoúčelový digitální měřič zemního odporu C.A 6412 měří odpor uzavřené smyčky klasickou metodou měřicích kleští. Vysílací segment kleští generuje střídavé napětí, toto napětí je přivedeno do uzavřené měřené smyčky, v níž indukuje elektrický proud. Hodnota indukovaného proudu, úměrná odporu smyčky je měřicím segmentem kleští změřena a na výstupním displeji indikována.

Měřidlo je rovněž schopno měřit cizí proudy procházející testovaným obvodem. Velikost unikajícího proudu poskytuje obraz o stavu zařízení připojených k zemniči.

Přístroj s průměrem otvoru kleští 32 mm umožňuje měření na běžných zemničích včetně zemních pásků FeZn 30x4 mm.

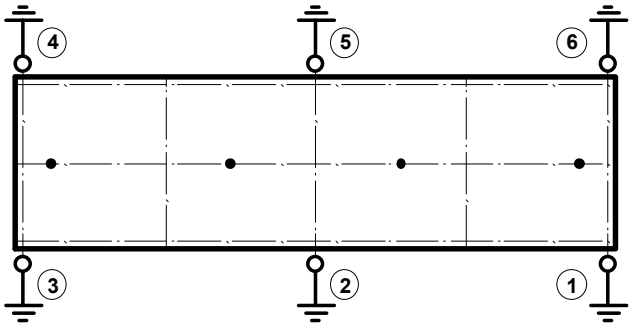
5.3 Měřený objekt

Demonstrační objekt tvoří jednoduchá přízemní budova s nízkou sedlovou střechou. Objekt o půdorysných rozměrech cca 42x12 m je vystrojen hromosvodem s mřížovou

[3] Návod k obsluze PROFITEST 0100S-II, str. 42.

jímací soustavou, na hřebeni střechy doplněnou čtyřmi tyčovými jímači. Jímací soustava je šesti svody spojena se strojeným zemničem.

Půdorys objektu je schematicky znázorněn na Obr. 5.4:



Obr. 5.4 Měřený objekt s rozložením svodových vedení

Pro správné směrování práce bylo potřeba nejprve stanovit jakou zemnící soustavou je objekt opatřen. U starších instalací jakákoliv dokumentace je většinou nedostatečná a nekompletní nebo spíše zcela chybí. Tento poznatek se vztahuje i na testovaný objekt.

Jednu z mála schůdných cest, jak zjistit poměry v zemnící soustavě, představuje měření. Rozpojením měřicích svorek u všech svodů došlo k oddělení jímací a zemnící soustavy. Následně byly proměřeny jednotlivé vývody svodů. K měření byl využit sdružený revizní přístroj PROFITEST 0100S-II na rozsahu „*Měření nízkoohmových odporů* (R_{LO})".

Výsledky jsou zaneseny do Tab. 5.1:

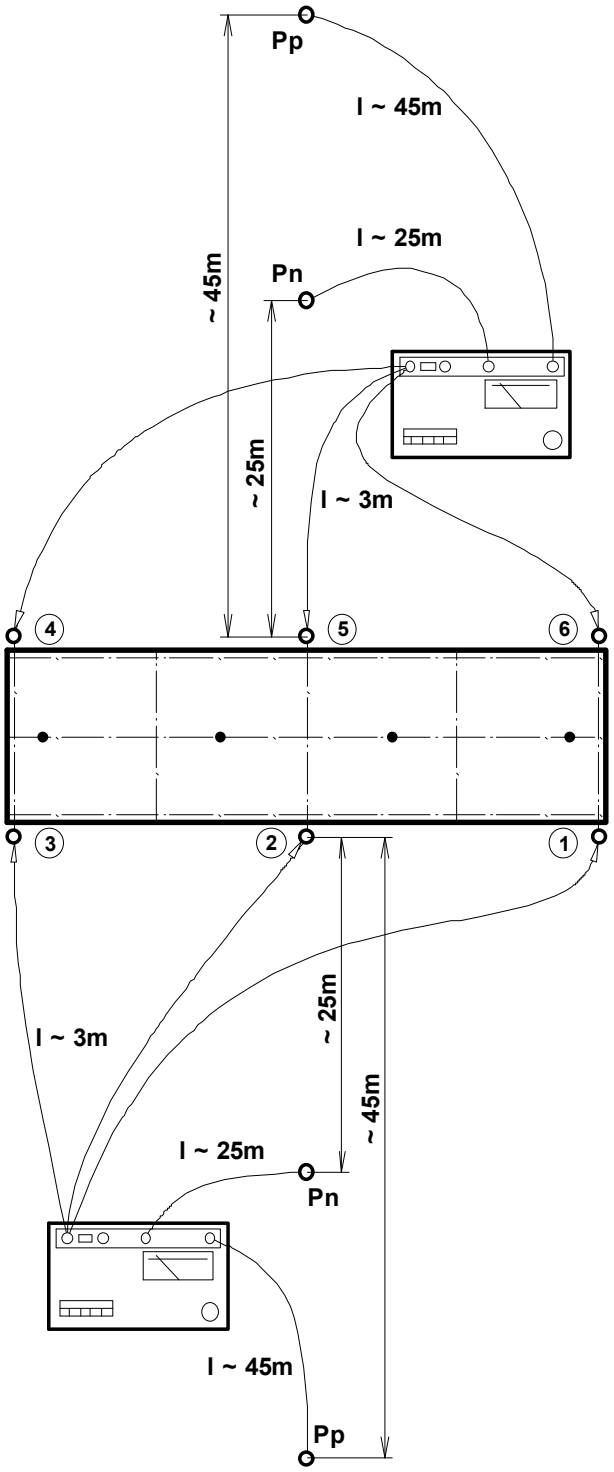
Tab. 5.1 Měření svodových přívodů

č.měř.	svody č.	$R_{měř}$ [Ω]			R_{vod} [Ω]	R_{sz} [Ω]
1	1 - 2	0,61	0,67	0,63	0,49	0,15
2	1 - 3	0,74	0,72	0,75		0,25
3	1 - 6	0,62	0,63	0,65		0,15
4	4 - 3	0,68	0,65	0,69		0,19
5	4 - 5	0,72	0,77	0,71		0,25
6	4 - 6	0,69	0,68	0,66		0,19
Pozn.	$R_{měř}$	*– naměřená hodnota*				
	R_{vod}	*– odpor měřicího vodiče*				
	R_{sz}	*– odpor svodů a zemniče* (*vypočtený*)				

Z naměřených hodnot lze usuzovat, že zemnící soustavu s velkou pravděpodobností tvoří podpovrchový zemnič vzájemně propojující všechna svodová vedení.

5.4 Měření přístrojem PU 430

Klasická třívodičová metoda měření zemního odporu uzemňovací soustavy měřicím přístrojem PU 430, s pomocným zemničem a měřicí sondou.



Obr. 5.5 Měření přístrojem PU 430

Podle metodiky měření musí být v okolí demonstračního objektu instalovány pomocné elektrody. Z prostorových důvodů bylo měření rozděleno na dvě fáze. Sondy byly umístěny po obou stranách objektu, kolmo na jeho delší stranu (viz Obr. 5.5).

Měření se uskutečnilo po rozpojení všech zkušebních svorek, z důvodu eliminace vlivu druhotného propojení svodových přívodů.

Výsledky jsou zaneseny do Tab. 5.2:

Tab. 5.2 Měření přístrojem PU 430

č.měř.	svod č.	$R_{měř}$ [Ω]
1	1	2,9
2	2	2,6
3	3	2,9
4	4	2,7
5	5	2,7
6	6	2,8

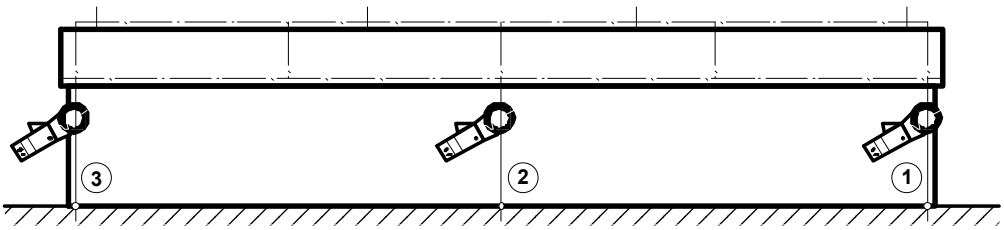
Analogový měřicí přístroj PU 430, třídy přesnosti 2,5, s ručkovou stupnicí, umožňuje odečítat hodnoty s rozlišením ½ dílku. Hodnoty zemního odporu jsou si blízké u všech svodových přívodů a to i po přemístění měřicích sond.

5.5 Měření klešťovým přístrojem C.A 6412

S klešťovým měřičem byly realizovány dva způsoby měření.

5.5.1 Měření oddělené soustavy

Měření se uskutečnilo při všech spojených zkušebních svorkách, z důvodu nezbytného zajištění uzavřených smyček.



Obr. 5.6 Měření přístrojem C.A 6412 – oddělená soustava

Výsledky jsou zaneseny do Tab. 5.3:

Tab. 5.3 Měření přístrojem C.A 6412 (oddělená soustava)

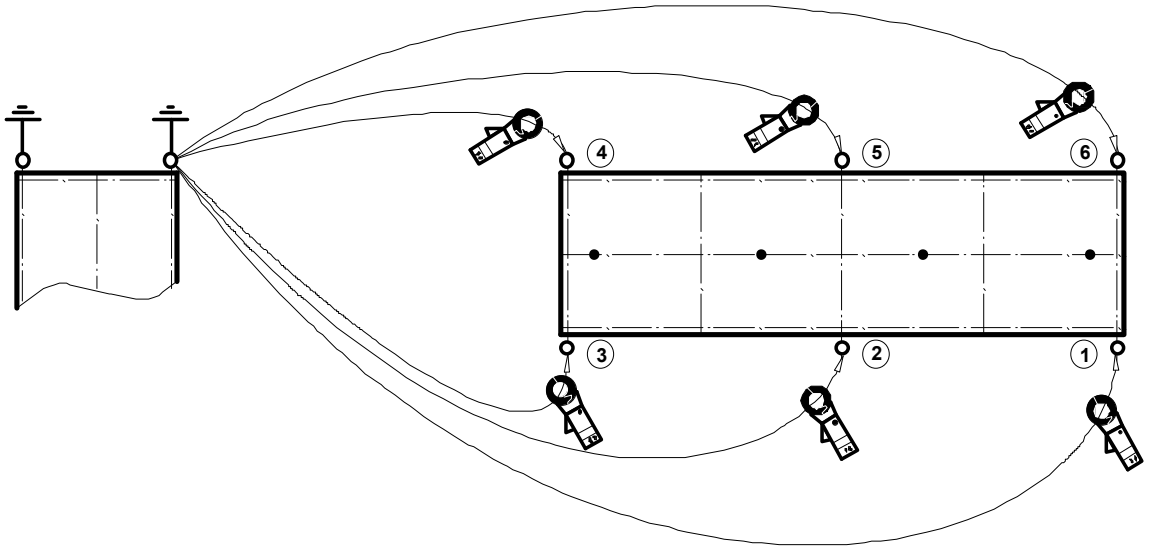
č.měř.	svod č.	$R_{měř}$ [Ω]			R_{SM} [Ω]	R_{ZCA} [Ω]
1	1	0,77	0,75	0,76	0,76	0,76
2	2	0,88	0,89	0,88	0,88	0,89
3	3	0,79	0,79	0,78	0,79	0,79
4	4	0,96	0,98	0,97	0,97	0,97
5	5	0,84	0,83	0,84	0,84	0,84
6	6	0,82	0,82	0,81	0,82	0,82
Pozn.	$R_{měř}$	*– naměřená hodnota*				
	R_{SM}	*– střední naměřená hodnota*				
	R_{ZCA}	*– odpor zemničů (vypočtený)*				

Hodnoty odporů jsou si blízké u všech svodů a jsou velmi nízké. Jedná se o vodivé, vzájemně propojené součásti jedné společné soustavy. Rozdíly jsou s velkou pravděpodobností dány přechodovými odpory ve spojích.

5.5.2 Měření s pomocným zemničem

Měření se uskutečnilo po rozpojení všech zkušebních svorek, z důvodu eliminace vlivu druhotného propojení svodových přívodů.

Jako pomocného zemniče bylo využito uzemnění přilehlého objektu (viz Obr. 5.7).



Obr. 5.7 Měření přístrojem C.A 6412 – pomocný zemnič

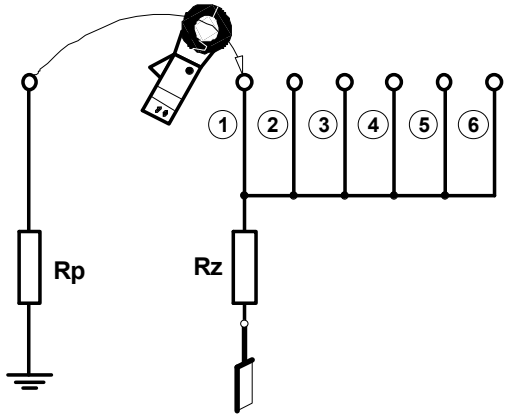
Výsledky jsou zaneseny do Tab. 5.4:

Tab. 5.4 Měření přístrojem C.A 6412 (pomocný zemnič)

č.měř.	svod č.	$R_{měř}$ [Ω]			R_{SM} [Ω]	R_{vod} [Ω]	R_{ZCA} [Ω]
1	1	6,0	5,9	6,1	6,0	0,76	2,7
2	2	5,7	5,9	5,8	5,8	0,49	2,7
3	3	5,9	5,8	5,9	5,9	0,49	2,7
4	4	5,4	5,3	5,3	5,3	0,19	2,6
5	5	5,5	5,6	5,7	5,6	0,49	2,6
6	6	5,9	5,9	6,0	5,9	0,76	2,6

Pozn.
$R_{měř}$ – *naměřená hodnota*
R_{SM} – *střední naměřená hodnota*
R_{vod} – *odpor měřicího vodiče*
R_{ZCA} – *odpor zemničů* (*vypočtený*)

Hodnoty odporů jsou si blízké u všech svodů. Pomocný zemnič je společný, u měřené soustavy se jedná o vodivé, vzájemně propojené součásti (viz Obr. 5.8).



Obr. 5.8 Měření přístrojem C.A 6412 – princip pomocného zemniče

Ze změřené hodnoty $\boldsymbol{R_{SM}}$ se odpor měřeného zemniče $\boldsymbol{R_{ZCA}}$ vypočítá podle vztahu:

$$R_{ZCA} = R_{SM} - R_{vod} - R_P \qquad [\Omega] \qquad (5.2)$$

Hodnota zemního odporu pomocného zemniče $\boldsymbol{R_P}$ není známa. Přijmeme-li tezi, že oba objekty jsou podobné konstrukce, budované nedaleko od sebe, ve stejném období, jejich zemnící soustavy jsou podobného typu, pak budou zemní odpory přibližně stejné.

$$R_{ZCA} = R_P = \frac{1}{2}\left(R_{SM} - R_{vod}\right) \qquad [\Omega] \qquad (5.3)$$

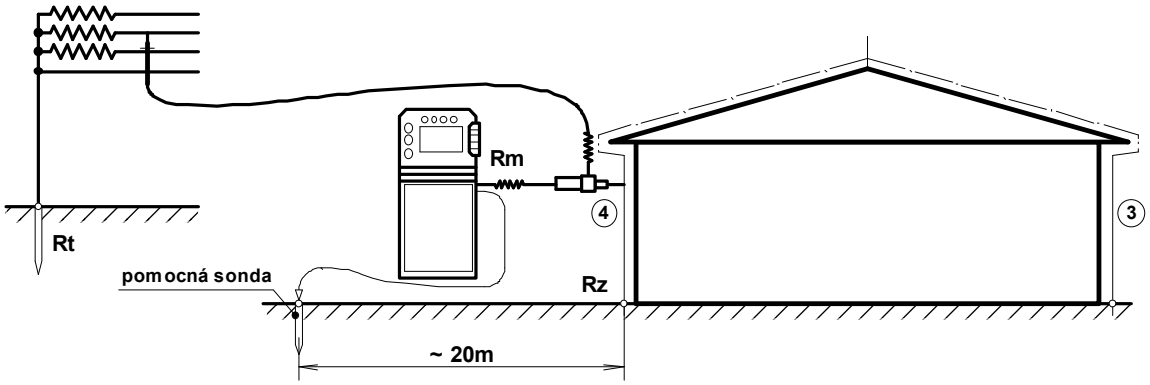
5.6 Měření zkušebním přístrojem PROFITEST 0100S-II

Měření se uskutečnila po rozpojení všech zkušebních svorek, z důvodu eliminace vlivu druhotného propojení svodových přívodů.

Se zkušebním přístrojem PROFITEST byly uskutečněny tři varianty měření.

5.6.1 Měření s měřicí sondou

Podle metodiky měření byla v blízkosti demonstračního objektu zavedena měřicí sonda. Z prostorových důvodů bylo měření rozděleno na dvě fáze. Sonda byla postupně umístěna po obou stranách objektu, kolmo na jeho delší stranu (viz Obr. 5.9).



Obr. 5.9 Měření přístrojem PROFITEST – měřicí sonda

Výsledky jsou zaneseny do Tab. 5.5:

Tab. 5.5 Měření přístrojem PROFITEST (měřicí sonda)

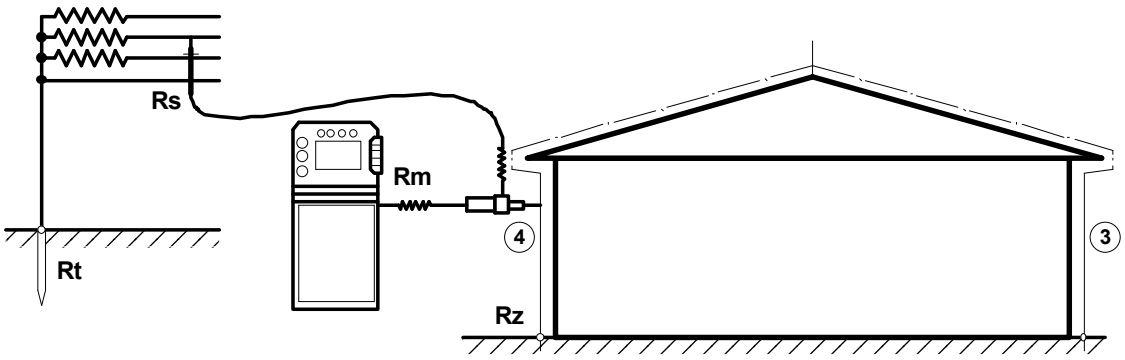
č.měř.	svod č.	$R_{měř}$ [Ω]			R_{SM} [Ω]	R_{ZP} [Ω]
1	1	2,3	2,3	2,4	2,3	2,3
2	2	2,4	2,4	2,3	2,4	2,4
3	3	2,2	2,3	2,2	2,2	2,2
4	4	2,3	2,4	2,2	2,3	2,3
5	5	2,5	2,5	2,4	2,5	2,5
6	6	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4
Pozn.	$R_{měř}$	*– naměřená hodnota*				
	R_{SM}	*– střední naměřená hodnota*				
	R_{ZP}	*– odpor zemničů (vypočtený)*				

Hodnoty zemního odporu jsou si blízké u všech svodových přívodů a to i po přemístění měřicí sondy.

5.6.2 Měření bez měřicí sondy

Jde o velmi rychlou měřicí metodu, ovšem zatíženou významnou nejistotou měření.

Do změřené hodnoty R_m se kromě odporu zemniče R_Z promítá rovněž úhrnný odpor uzemnění celé napájecí sítě v místě měření R_t a polovina její vnitřní impedance sítě R_s.



Obr. 5.10 Měření přístrojem PROFITEST – bez měřicí sondy

Hodnota vnitřní impedance napájecí sítě R_s byla změřena přístrojem PROFITEST na rozsahu „*Měření vnitřní impedance sítě* (Z_l)“, úroveň celkového odporu uzemnění napájecí sítě R_t byla odhadnuta. Není k dispozici jednoduchá metoda, jak ji zjistit.

Odpor měřeného zemniče R_{ZP} se vypočítá podle vztahu:

$$R_{ZP} = R_{SM} - \frac{1}{2} R_S - R_t \qquad [\Omega] \qquad (5.4)$$

Výsledky jsou zaneseny do Tab. 5.6:

Tab. 5.6 Měření přístrojem PROFITEST (bez měřicí sondy)

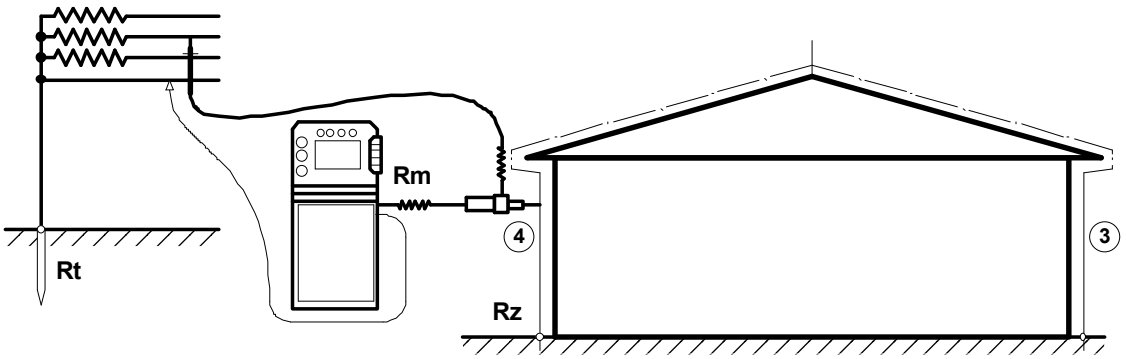
č.měř.	svod č.	$R_{měř}$ [Ω]			R_{SM} [Ω]	R_S [Ω]	R_t [Ω]	R_{ZP} [Ω]
1	1	5,8	5,6	5,7	5,7	2,1	2,0	2,7
2	2	6,1	6,2	6,0	6,1			3,1
3	3	5,9	5,9	6,0	5,9			2,9
4	4	6,0	6,0	6,1	6,0			3,0
5	5	5,8	6,0	5,9	5,9			2,9
6	6	6,0	5,9	6,0	6,0			2,9

Pozn.
$R_{měř}$ – *naměřená hodnota*
R_{SM} – *střední naměřená hodnota*
R_S – *vnitřní impedance sítě*
R_t – *celkový zemní odpor sítě*
R_{ZP} – *odpor zemniče* (*vypočtený*)

Hodnoty zemního odporu jsou si blízké u všech svodových přívodů.

5.6.3 Měření s PEN vodičem

Metoda je blízká metodě měření s měřicí sondou. Pozici měřicí sondy zaujímá PEN vodič napájecí sítě (viz Obr. 5.11).



Obr. 5.11 Měření přístrojem PROFITEST – PEN vodič

Výsledky jsou zaneseny do Tab. 5.7:

Tab. 5.7 Měření přístrojem PROFITEST (PEN vodič)

č.měř.	svod č.	$R_{měř}$ [Ω]			R_{SM} [Ω]	R_{ZP} [Ω]
1	1	2,2	2,1	2,3	2,2	2,2
2	2	2,7	2,6	2,8	2,7	2,7
3	3	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6
4	4	2,5	2,6	2,5	2,5	2,5
5	5	2,6	2,6	2,7	2,6	2,6
6	6	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4

Pozn. $R_{měř}$ – *naměřená hodnota*
R_{SM} – *střední naměřená hodnota*
R_{ZP} – *odpor zemničů* (*vypočtený*)

Hodnoty zemního odporu jsou si blízké u všech svodových přívodů.

6 Výsledky a vyhodnocení

Srovnání výsledků dosažených různými metodami měření potvrzuje prvotní poznatek, že zemnící soustava je tvořená jedním zemničem s více vnějšími přívody.

Tezi stanovenou po prvním proměření zemních přívodů podporují výsledky všech dalších měření. Případnou znevažující proklamaci, že každé následné měření v podstatě znamená šestinásobný test jednoho a téhož zemniče, vyvažuje potěšující zjištění o pravděpodobně kvalitních a korozí nenarušených spojích zemních přívodů a vlastního zemniče.

Celkové výsledky jsou shrnuty v Tab. 6.1:

Tab. 6.1 Výsledné hodnoty

svod č.	PU 430 [Ω]	C.A 6412 [Ω]		PROFITEST [Ω]		
		I	II	I	II	III
1	2,9	0,76	2,7	2,3	2,7	2,2
2	2,6	0,89	2,7	2,4	3,1	2,7
3	2,9	0,79	2,7	2,2	2,9	2,6
4	2,7	0,97	2,6	2,3	3,0	2,5
5	2,7	0,84	2,6	2,5	2,9	2,6
6	2,8	0,82	2,6	2,4	2,9	2,4
soustava	R_{ZPU}	R_{ZCA1}	R_{ZCA2}	R_{ZP1}	R_{ZP2}	R_{ZP3}
	2,8	0,90	2,7	2,4	2,9	2,6

a) ***Výsledky měření – PU 430***

Osvědčená měřicí metoda poskytla při všech testech velmi blízké hodnoty. Jejich rozptyl představuje na analogové stupnici 1,5 dílku. Vzhledem ke třídě přesnosti přístroje a nesnadným podmínkám venkovního prostředí je možno výsledek hodnotit jako zdařilý.

Hodnota zemního odporu celé soustavy $\boldsymbol{R_{ZPU}}$ je aritmetickým průměrem hodnot odporů všech uzemňovacích přívodů (viz vztah 6.1):

$$R_{ZPU} = \frac{\sum_{m=1}^{n} R_m}{n} \qquad [\Omega] \qquad (6.1)$$

b) ***<u>Výsledky měření – C.A 6412</u>***

Nejrychlejší, nejsnáze realizovatelný a v současnosti patrně nejvyužívanější způsob měření přinesl výsledky značně rozporné.

Hodnoty odporů jednotlivých přívodů naměřené v samostatné soustavě (bez pomocného zemniče) jsou jednoznačně zavádějící. Jediné co osvědčují, je náležitá spojitost svodového přívodu se zbylou částí zkoumané soustavy. Nikterak nehovoří o kvalitě vlastního uzemnění a úrovni zemního odporu jednotlivých přívodů nebo celé soustavy. Vypovídající význam by měly teprve v případě, když by byl každý přívod připojen na vlastní zemnič. Nelze však reálně předpokládat, že by i poté naměřené hodnoty byly nižší než 1 Ω.

Hodnota odporu celé soustavy $\boldsymbol{R_{ZCA1}}$ (viz Tab. 6.1) je aritmetickým průměrem hodnot odporů všech uzemňovacích přívodů (viz vztah 6.2):

$$R_{ZCA1} = \frac{\sum_{m=1}^{n} R_m}{n} \qquad [\Omega] \qquad (6.2)$$

Hodnoty odporů jednotlivých přívodů měřené v soustavě propojené s pomocným zemničem reflektují skutečný stav zemnění testované soustavy. Numericky blízké hodnoty potvrzují názor připomenutý v úvodu kapitoly 6.

Zásadní problém metody spočívá v neurčitém postavení pomocného zemniče. Zemní odpor pomocného zemniče by měl být co nejnižší a hlavně známý. Ideálním řešením by bylo si aktuální odpor přesně změřit. Vzhledem k technickým poměrům, v nichž měření zpravidla probíhá, je takováto představa spíše iluzorní. Technik by se dostal do uzavřeného cyklu potřeby měřit neznámou hodnotu za pomoci neznámé hodnoty. Pokud již popisovaná situace nastane, je potřeba vymezit a přijmout zjednodušující výchozí předpoklady. S přihlédnutím k definovaným podmínkám je následně nutno též takto zjištěná data posuzovat.

Hodnota zemního odporu celé soustavy $\boldsymbol{R_{ZCA2}}$ (viz Tab. 6.1) je aritmetickým průměrem hodnot odporů všech uzemňovacích přívodů (viz vztah 6.3):

$$R_{ZCA2} = \frac{\sum_{m=1}^{n} R_m}{n} \qquad [\Omega] \qquad (6.3)$$

c) ***Výsledky měření – PROFITEST***

Všechny tři metody uplatněné při měření přístrojem PROFITEST poskytly reálně vyhlížející výsledky.

Skutečnému stavu nejblíže příslušející hodnoty patrně přinesla metoda měření s pomocným zemničem. Metoda do měření zanáší minimum nejistot. Měřicí napětí i procházející proud jsou měřeny v reálném čase, zemní odpor pomocného zemniče není v širokém rozsahu kritický, odpor měřicích přívodů je plně kompenzován. Nedostatky se v podstatě mohou vyskytnout pouze v numerickém zpracování digitálním způsobem přenášené veličiny.

Měřicí metoda bez pomocného zemniče pracuje s nejistotou vnitřního odporu sítě. Přestože se obecně jedná o poměrně nízkou hodnotu, která je zpravidla v místě i měřitelná, nelze přesně určit jaký díl vnitřní impedance připadá na fázový vodič.

Další nejistou veličinou metody je hodnota celkového odporu uzemnění napájecí sítě. Jde o hodnotu v místě měření obvykle neznámou a jednoduchým způsobem v podstatě nezjistitelnou. Záleží pouze na zkušenosti a znalostech technika, jak si s předestřeným úkolem poradí.

Metoda měření využívající PEN vodič je ovlivněna tradičním nedostatkem informací o připojení PEN vodiče k místnímu uzemnění. Při blízkém souběhu pracovního uzemnění napájecí sítě a testovaného zemniče může dojít k znevážení měřených dat.

Hodnoty zemních odporů celé soustavy $\boldsymbol{R_{ZPx}}$ (viz Tab. 6.1) jsou aritmetickými průměry hodnot odporů všech uzemňovacích přívodů (viz vztah 6.4):

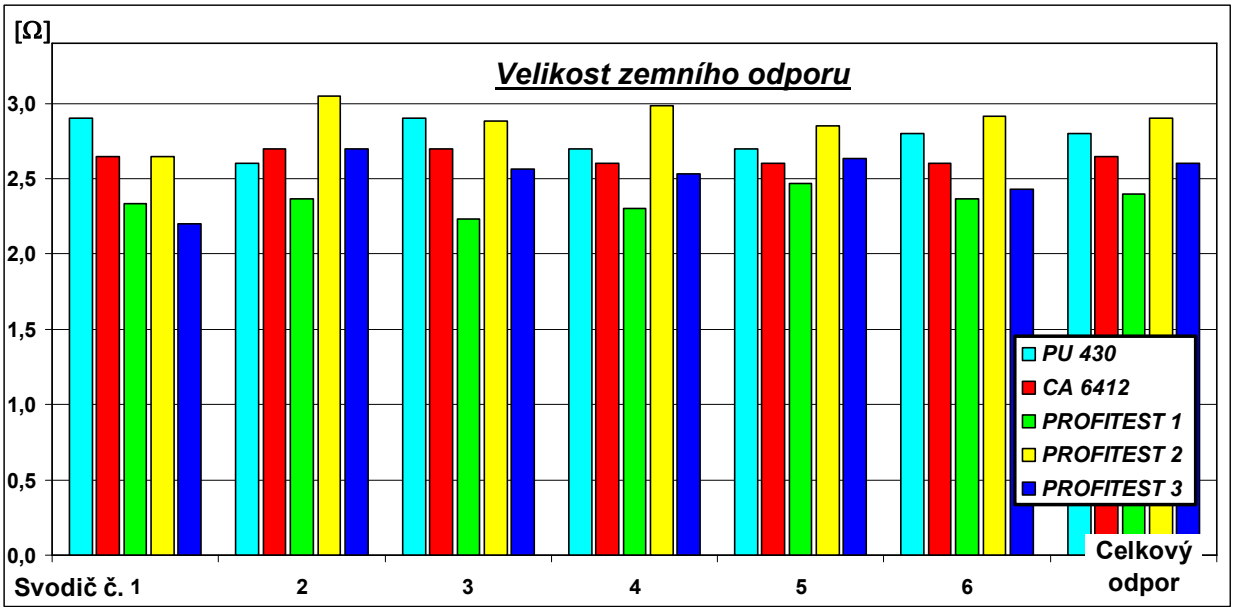
$$R_{ZPx} = \frac{\sum_{m=1}^{n} R_m}{n} \qquad [\Omega] \qquad (6.4)$$

6.1 Vyhodnocení

Graf 6.1 shrnuje zpracovaná data měření zemních odporů. Jsou v něm vyneseny všechny reálné výsledky. Do grafu není zahrnuto měření klešťovým měřidlem C.A 6412 samostatné soustavy (bez pomocného zemniče). Jednoznačně zavádějící hodnoty postrádají vypovídající smysl o zkoumané problematice, proto s grafickým vyhodnocením nebyly spojeny.

Všechna ostatní data, naměřená výše popsanými metodami a jejich variantami, spolu jednoznačně a zřetelně korelují. Drobné rozdíly na úrovni desetin ohmů, jsou způsobeny základními atributy jednotlivých metod měření. Rozdíly v rámci jedné metody lze přičíst přechodovým odporům ve spojích svodových přívodů k zemniči a přechodovým odporům v kontaktech připojení měřicího vodiče.

Graf 6.1 Velikost zemního odporu jednotlivých svodů a celé soustavy



6.2 Zpracování dat

Celé měření a následné vyhodnocení naměřených dat bylo uskutečněno s přihlédnutím k obecným pravidlům platným pro zpracování dat fyzikálních měření.[1]

Některá doporučení nebyla zcela detailně dodržována. Při měření analogovým měřidlem PU 430 byla naměřená hodnota, z praktických důvodů odečítána pouze jedenkrát. Po ustálení ručky, ani při delším sledování stupnice, nedocházelo ke změně její výchylky.

Při měření digitálními měřidly PROFITEST a C.A 6412 byl počet opakovaných měření stanoven na **n = 3**, místo doporučených **n > 5**.[2] Odečítané hodnoty se při opakovaných měřeních každou metodou neustále překrývaly a jejich rozptyl byl minimální. Nejistoty měření stanovené v kalibračních protokolech obou měřidel obecně přesahují rozptyl hodnot vykázaných při jednotlivých měřeních.

[1] Vybíral, B.: *Zpracování dat fyzikálních měření*.
[2] Vybíral, B.: *Zpracování dat fyzikálních měření*, str. 17.

7 Závěr

Základní téma rozebírané v předkládané diplomové práci ponechává i nadále prostor k diskusím a individuálním úvahám.

Požadavky na růst efektivity práce a stále se zvyšující tempo pracovního nasazení vyžadují do všech oblastí společensky významných procesů etablovat progresivní a novátorské metody a postupy. Proto i v oboru měření jsou, v souladu s vědeckotechnickým pokrokem, osvědčené avšak již technicky překonané procesy nahrazovány prvky moderními a výkonnějšími.

Tento vývoj se nevyhnul ani oblasti měření spojených s uzemňovacími systémy. V zapomnění je doba měření univerzálním ampérmetrem a voltmetrem, též obdiv nad kličkou poháněným Terrometem už dávno pohasl. Výkonné digitální přístroje, ve spolupráci s výpočetní technikou, přinesly nové možnosti rozvoje letitého odvětví.

Co se však nezměnilo, jsou stále platné fyzikální zákonitosti.

Praktické měření prokázalo, že nejefektivnější přístroj, který byl k dispozici, klešťové měřidlo C.A 6412, ve spolupůsobení s nevhodnou metodou poskytl zdánlivě přijatelné, avšak nesprávné výsledky. Naproti tomu, konzervativní způsob měření s uplatněním dvou zemních sond, při rutinních kontrolách zemničů v současné době však pouze málo užívaný, s největší pravděpodobností přinesl nejvěrohodnější údaje. Léty prověřená a uznávaná metoda má však slabinu, je časově náročná a vázána na existenci volného prostoru v okolí měřeného objektu.

Měření s využitím napájecí sítě lze přijmout jako vhodnou měřicí alternativu. Není enormně náročné na volný prostor, do měření však zanáší více nejistot.

Nepříjemný problém při měření působí spojení zemniče s PEN vodičem. Legislativou předepsaný bezpečnostní element znemožňuje správné vyhodnocení stavu zkoumaného systému. Musíme si uvědomit, že pokud je zemnič spojen s PEN vodičem, pak měřidlo nevyhodnotí úroveň odporu zemniče, ale úroveň zemního odporu celé napájecí sítě, se kterou je měřený zemnič ve spojení. Měřicí metody a předpisy, které postupy měření upravují, jednoznačně nabádají připojený PEN vodič, před zahájením měření, odpojit. U, v současnosti provozovaných soustav běžných budov technického nebo administrativního rázu však nikdy nelze vyloučit jejich neúmyslné nebo náhodné spojení. Technik v podstatě nemá žádnou možnost místo tohoto spojení lokalizovat.

Při souhrnném hodnocení dosažených výsledků nelze jednoznačně upřednostnit některou z metod. Všechny naleznou uplatnění, každá má svoje dobré stránky a žádná není bez slabin. Pokud chce technik provádějící měření dosáhnout dobrých výsledků, potom musí být odborně na výši, znalý problematiky, zkušený a zběhlý ve vykonávané činnosti. Především musí umět kriticky posoudit výsledky svojí práce. Pokud se u standardního zemniče naměřené hodnoty pohybují pod úrovní $1\,\Omega$, velmi pravděpodobně se bude jednat o hodnoty zavádějící.

SEZNAM LITERATURY

[1] *Předpisy a normálie elektrotechnického svazu*, ESČ, Praha 1920.

[2] Rýmus, J., et al.: *Současný stav a výhled elektrotechnických předpisů ČSN* Elektro, časopis pro elektrotechniku. 5/2002, s. 10-14.

[3] Hájek J., Šalanský D.: *První elektronická KníŠka o ochraně před bleskem*; Dostupná z: http://www.kniska.eu/kniska/kniska_2.1-1

[4] Sach V.: *P. Prokop Diviš, kněz, fysik, lékař a hudebník*, Vydavateství Moravské kukačky, Brno 1936.

[5] E.Thomson, Safety Device for Electrical Circuits, US Patent No. 327,039, dated September 29, 1885. Dostupné z: http://www.google.cz/url?url=http://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US327039.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=5mcUVeXyCNDvaKuugrgC&ved=0CBQQFjAA&usg=AFQjCNEq_Byk5gv21MVfgjHRfz8t0W2dWA

[5] Osolsobě, J.: Zapletal, M., *Zemnění a bezpečnost*, Nakl. ČSAV, Praha 1964.

[7] Novotný, V.: *Uzemnění a jeho měření*, SNTL Praha 1973.

[8] Markiewicz, H.: *Uzemnění & EMC – Uzemňovací systémy*, Wroclaw University of Technology 2005; Dostupné z: http://copperalliance.eu/docs/librariesprovider3/kvalita-elektrick%C3%A9-energie6-5-1-pdf.pdf?Status=Master&sfvrsn=0

[9] Kolektiv autorů: *Revize elektrických zařízení a hromosvodů*, SNTL Praha 1968.

[10] Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, SNTL, Praha 1958.

[11] Heřman, J., Trinkewitz, Z. a kolektiv autorů:, *Elektrotechnické a telekomunikační instalace.,*Dashöfer Holding, Ltd. a Verlag Dashöfer, nakladatelství, s.r.o.,2010. 1888 s. ISBN 80-86897-06-0.

[12] METRA PU 430 – *Tranzistorový měřič zemních odporů: Návod k obsluze*.

[13] METRA PU 193 – *Měřič zemních odporů: Návod k obsluze*.

[14] GOSSEN METRAWATT PROFITEST 0100S-II – *Zkušební přístroj: Návod k obsluze*.

[15] Vybíral, B.: *Zpracování dat fyzikálních měření*. Knihovnička fyzik. olympiády č. 52, Hradec Králové: MAFY, 2002, 72 s. ISBN 80-86148-54-8.

České normy:

[N1] ČSN 33 2000-5-54, ed. 3 – Elektrické instalace nízkého napětí – Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění a ochranné vodiče, 2012.

[N2] ČSN 33 2000-4-41, ed. 2 – Elektrické instalace nízkého napětí – Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem, 2007.

[N3] ČSN EN 62305-1/4, ed. 2 – Ochrana před bleskem, 2011.

[N4] ČSN 33 2050 – Uzemnění elektrických zařízení, 1985;

[N5] ČSN 33 2000-6 – Elektrické instalace nízkého napětí – Revize, 2007

Internetové odkazy:

[W1] http://www.techmania.cz/edutorium/art_vedci.php?key=22

[W2] http://www.techmania.cz/edutorium/art_vedci.php?key=22

[W3] http://www.converter.cz/fyzici/galvani.htm

[W4] http://en.wikipedia.org/wiki/Georg_Wilhelm_Richmann

[W5] http://en.wikipedia.org/wiki/Louis-Fran%C3%A7ois-Clement_Breguet

[W6] http://edison.rutgers.edu/patents/00438305.PDF

[W7] http://old.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25041

[W8] http://cs.wikipedia.org/wiki/Mezin%C3%A1rodn%C3%AD_elektrotechnick%C3%A1_komise

Poznámka: Dostupnost internetových odkazů byla ověřena dne 15. 5. 2015

SEZNAM VYOBRAZENÍ

Obr. 1.1 Galvaniho pokusy se žabím korpusem
Zdroj: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/c/c7/Galvani-frogs-legs-electricity.jpg

Obr. 1.2 Richmannovy nebezpečné experimenty
Zdroj: http://en.wikipedia.org/wiki/Georg_Wilhelm_Richmann

Obr. 1.3 Předpisy a normálie ESČ 1920
Zdroj: http://www.antikvariat-smichov.cz/detail.php?kategorie=20&id=83778

Obr. 2.1 Bezpečnostní zařízení pro elektrické obvody – E. Thomson
Zdroj: E.Thomson, Safety Device for Electrical Circuits, US Patent No. 327,039, dated September 29, 1885.

Obr. 2.2 Rozptyl elektrického náboje v zemi
Zdroj: autor

Obr. 2.3 Zemní proud mezi zemniči při elektrickém zkratu
Zdroj: Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 25

Obr. 2.4 Zemní elektroda
Zdroj: Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 26

Obr. 3.1 Typy strojených zemničů
Zdroj: autor

Obr. 3.2 Kombinovaný zemnič
Zdroj: autor

Obr. 3.3 Rozložení povrchového potenciálu nad horizontálním zemničem
Zdroj: Markiewicz, H.: *Uzemnění & EMC – Uzemňovací systémy*, str. 3

Obr. 3.4 Rozložení povrchového potenciálu nad vertikálním zemničem
Zdroj: Markiewicz, H.: *Uzemnění & EMC – Uzemňovací systémy*, str. 5

Obr. 3.5 Uložení zemniče v betonových základech
Zdroj: ČSN 33 2000-5-54, ed. 3, Příl. NA.10.6.1, Obr. NA.2

Obr. 4.1 Testování potenciálového spádu na povrchu země
Zdroj: Kolektiv autorů: *Revize elektrických zařízení a hromosvodů*, str. 71

Obr. 4.2 Trojúhelníková metoda měření zemního odporu
Zdroj: Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 136

Obr. 4.3 Měření zemního odporu voltmetrem a ampérmetrem
Zdroj: Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 141

Obr. 4.4 Měření zemního odporu wattmetrem a ampérmetrem
Zdroj: Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 143

Obr. 4.5 Zjednodušené schéma zapojení Mášova měřiče zemních odporů
Zdroj: Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 146

Obr. 4.6 Schéma zapojení měřiče zemních odporů Terromet
Zdroj: Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, str. 152

Obr. 4.7 Měření zemního odporu přístrojem PU 430
Zdroj: METRA PU 430 – Tranzistorový měřič zemních odporů: Návod k obsluze

Obr. 4.8 Měření měrného odporu Wernerovou metodou
Zdroj: METRA PU 430 – Tranzistorový měřič zemních odporů: Návod k obsluze

Obr. 4.9 Měření s využitím známého zemniče
Zdroj: autor

Obr. 4.10 Měření s využitím el. sítě a pomocné sondy
Zdroj: autor

Obr. 4.11 Měření s využitím el. sítě bez pomocné sondy
Zdroj: autor

Obr. 4.12 Princip měření klešťovým měřičem
Zdroj: autor

Obr. 4.13 Princip měření odporu zemní smyčky pomocí proudových kleští
Zdroj: autor

Obr. 4.14 Měření odporu zemní smyčky pomocí proudových kleští
Zdroj: METRA PU 193 – Měřič zemních odporů: Návod k obsluze

Obr. 4.15 Měření odporu zemní smyčky jednoklešťovým měřidlem
Zdroj: autor

Obr. 4.16 Nesprávné měření odporu zemní smyčky jednoklešťovým měřidlem
Zdroj: autor

Obr. 5.1 Připojení přístroje – Měření odporu uzemnění
Zdroj: Zkušební přístroj PROFITEST 0100S-II: Návod k obsluze

Obr. 5.2 Měření odporu uzemnění – měření se sondou
Zdroj: Zkušební přístroj PROFITEST 0100S-II: Návod k obsluze

Obr. 5.3 Měření odporu uzemnění – měření bez sondy
Zdroj: Zkušební přístroj PROFITEST 0100S-II: Návod k obsluze

Obr. 5.4 Měřený objekt s rozložením svodových vedení
Zdroj: autor

Obr. 5.5 Měření přístrojem PU 430
Zdroj: autor

Obr. 5.6 Měření přístrojem C.A 6412 – oddělená soustava
Zdroj: autor

Obr. 5.7 Měření přístrojem C.A 6412 – pomocný zemnič
Zdroj: autor

Obr. 5.8 Měření přístrojem C.A 6412 – princip pomocného zemniče
Zdroj: autor

Obr. 5.9 Měření přístrojem PROFITEST – měřicí sonda
Zdroj: autor

Obr. 5.10 Měření přístrojem PROFITEST – bez měřicí sondy
Zdroj: autor

Obr. 5.11 Měření přístrojem PROFITEST – PEN vodič
Zdroj: autor

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Průměrné hodnoty rezistivity různých druhů půd
Zdroj: ČSN 33 2000-5-54, ed. 3, Příl. D

Tab. 3.1 Koeficient účinnosti páskového zemniče
Zdroj: Novotný, V.: *Uzemnění a jeho měření*, Tab.2, str. 28

Tab. 5.1 Měření svodových přívodů
Zdroj: autor

Tab. 5.2 Měření přístrojem PU 430
Zdroj: autor

Tab. 5.3 Měření přístrojem C.A 6412 (oddělená soustava)
Zdroj: autor

Tab. 5.4 Měření přístrojem C.A 6412 (pomocný zemnič)
Zdroj: autor

Tab. 5.5 Měření přístrojem PROFITEST (měřicí sonda)
Zdroj: autor

Tab. 5.6 Měření přístrojem PROFITEST (bez měřicí sondy)
Zdroj: autor

Tab. 5.7 Měření přístrojem PROFITEST (PEN vodič)
Zdroj: autor

Tab. 6.1 Výsledné hodnoty
Zdroj: autor

SEZNAM GRAFŮ

Graf 2.1 Závislost zemního odporu na poloměru elektrody
Zdroj: Osolsobě J., Zapletal M.: *Zemnění a bezpečnost*, str. 27

Graf 3.1 Vliv délky zemniče na velikost zemního odporu
Zdroj: autor

Graf 3.2 Vliv délky a průměru zemniče na velikost zemního odporu
Zdroj: autor

Graf 6.1 Velikost zemního odporu jednotlivých svodů a celé soustavy
Zdroj: autor

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA [1]
ČSN 33 2000-5-54, ed. 3, Tab. 54.1 – Minimální rozměry zemničů

PŘÍLOHA [2]
ČSN 33 2000-5-54, ed. 3, Tab. D.54.1 – Hodnoty rezistivity půdy

PŘÍLOHA [3]
Mášův měřič zemních odporů

PŘÍLOHA [4]
Mášův přístroj s příslušenstvím pro zkoušení zemních soustav

PŘÍLOHA [5]
Měření odporu obvodu vypínacího proudu Mášovým přístrojem

PŘÍLOHA [6]
TERROMET – prodejní list

PŘÍLOHA [7]
Měřič zemních odporů TERROMET

PŘÍLOHA [8]
Měřič zemních odporů METRA PU 430

PŘÍLOHA [9]
Klešťový měřič C.A 6412 – katalogový list

PŘÍLOHA [10]
Klešťový měřič C.A 6412

PŘÍLOHA [11]
Zkušební přístroj PROFITEST 0100S-II

PŘÍLOHA [1]

ČSN 33 2000-5-54, ed. 3, Tab. 54.1 – Rozměry zemničů (str. 12)

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 poškozování 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).

PŘÍLOHA [2]

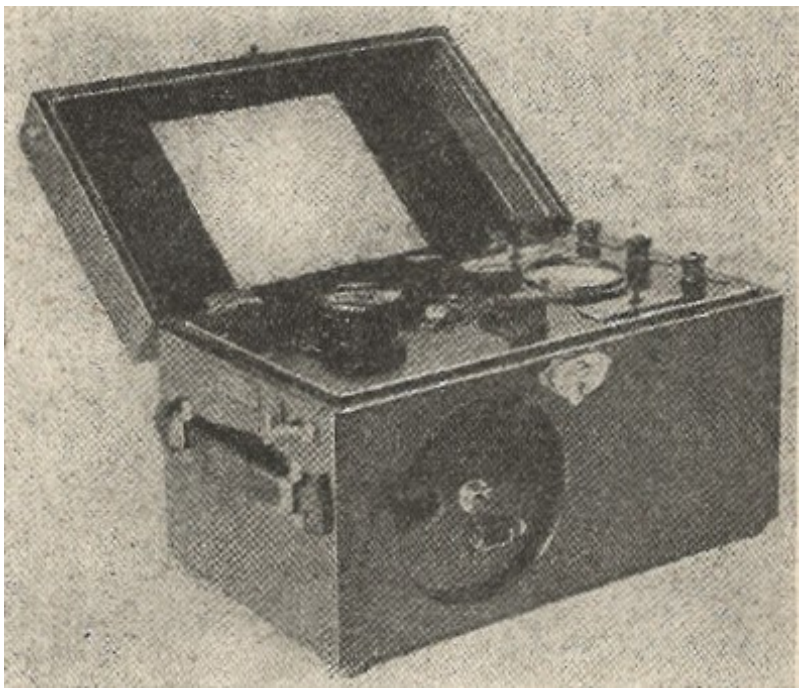
ČSN 33 2000-5-54, ed. 3, Tab. D.54.1 – Rezistivita půdy (str. 30)

Charakter půdy	Rezistivita Ωm
Bažinatá půda	Od několika do 30
Naplaveniny	20 až 100
Humus, prsť	10 až 150
Vlhká rašelina	5 až 100
Tvárný jíl	50
Vápenatý a kompaktní jíl	100 až 200
Jurský jíl	30 až 40
Jílovité písky	50 až 500
Křemenné písky	200 až 3 000
Holé kamenité půdy	1 500 až 3 000
Zatravněné kamenité půdy	300 až 500
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 zvětrání	1 500 až 10 000
Žula nebo velmi zvětralý vápenec (podle míry zvětrání)	100 až 600

PŘÍLOHA [3]

Mášův měřič zemních odporů

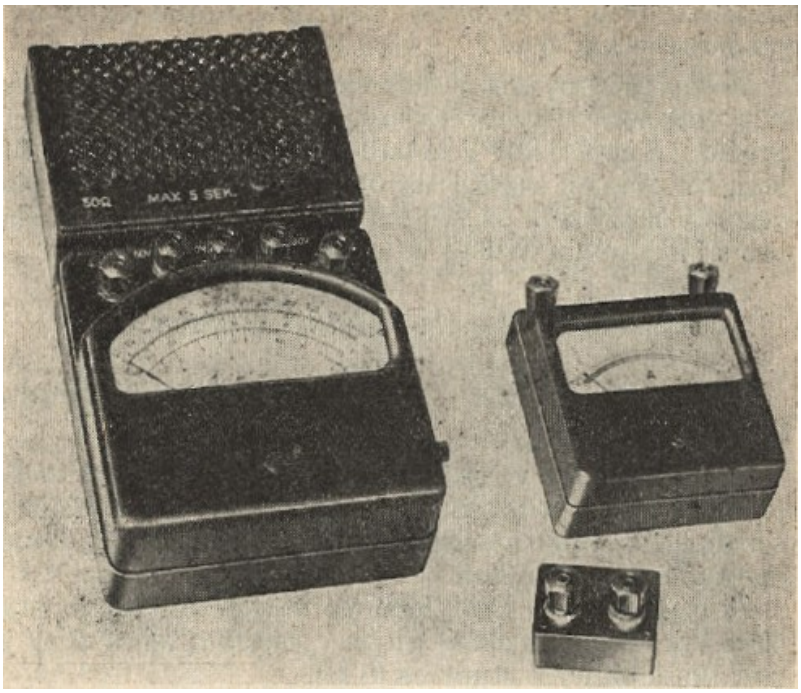
Zdroj: Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, SNTL, Praha 1958 (str. 147, obr. 58)



PŘÍLOHA [4]

Mášův přístroj s příslušenstvím pro zkoušení zemních soustav

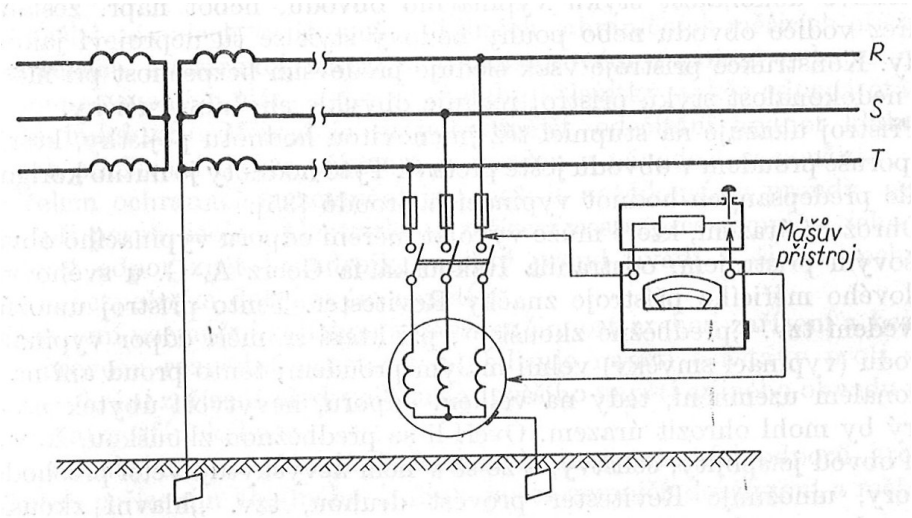
Zdroj: Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, SNTL, Praha 1958 (str. 181, obr. 78)



PŘÍLOHA [5]

Měření odporu obvodu vypínacího proudu Mášovým přístrojem

Zdroj: Kolektiv autorů: *Revize elektrických zařízení a hromosvodů*,
SNTL Praha 1968 (str. 67, obr. 11)

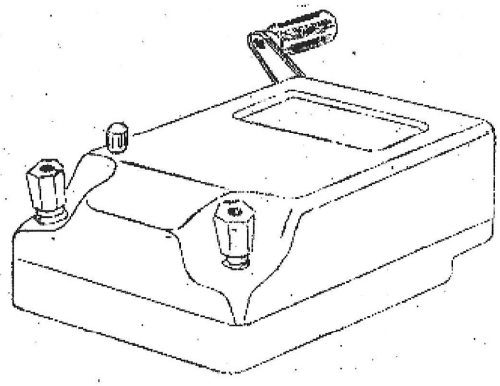


PŘÍLOHA [6]

TERROMET – prodejní list

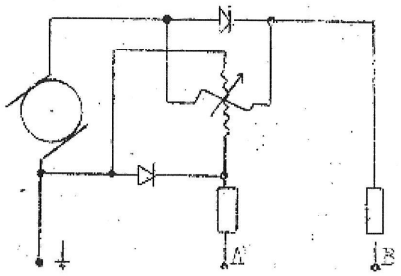
Zdroj:
http://www.radiohistoria.sk/Oldradio/main.nsf/0/C1206F75CE377554C1257B8C006DB6D3/$file/Terro.pdf

T E R R O M E T



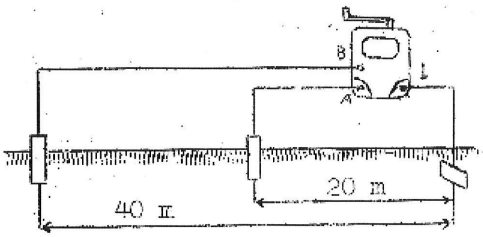
Terromet je malý a lehký měřič zemních odporů hromosvodů, pracovních a ochranných odporů v silnoproudových a slaboproudových zařízeních. Vyznačuje se velmi jednoduchou obsluhou, měřená hodnota se čte přímo bez dalšího přepočítávání. Lze ho užívati též k měření pevných bezindukčních a bezkapacitních odporů. Údaje jsou v širokých mezích nezávislé na počtu obrátek. Stupnice je velmi přehledně téměř logaritmicky dělená. Přístroj měří správně i při velkém odporu zemních elektrod. Vliv cizích zemních proudů je vykompenzován. Měřící rozsah přístroje TERROMET je 0 – 100 Ω.

Schema zapojení a funkce přístroje.



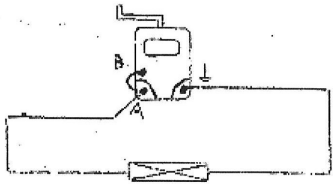
Jako zdroje proudu používá se stejnosměrného dynamka. Pohyb z dynamka se přenáší na dva mechanické usměrňovače. První usměrňovač mění stejnosměrný proud dynamka na střídavý, který projde zemí a měří se v druhém usměrňovači zpět na stejnosměrný. Měřící systém je poměrový bez mechanické direkční síly a ručka se proto nevrací na nulu když se přístrojem neměří. Tlumení systému je velmi dobré, takže ručka ukáže měřenou hodnotu rychle a bez kývání

Měření zemních odporů.



K měření je zapotřebí dvou pomocných elektrod. Vzdálenost první elektrody A od měřeného území X má býti cca 20m a vzdálenost druhé elektrody B cca 40 m. Měřený odpor připojíme isolovanými dráty na svorku označenou ⏚, pomocné elektrody na svorky A a B. Hledaný zemní odpor ukáže TERROMET přímo bez počítání, otáčíme-li kličkou cca 150 – 170 ot./min.

TERROMET jako ommetr.



Svorky A a B spojíme nakrátko. Odpor zapojíme mezi svorky ⏚ a B, jinak je měření stejné jako při měření zemních odporů.

Nomenklatura : MVS 14-659

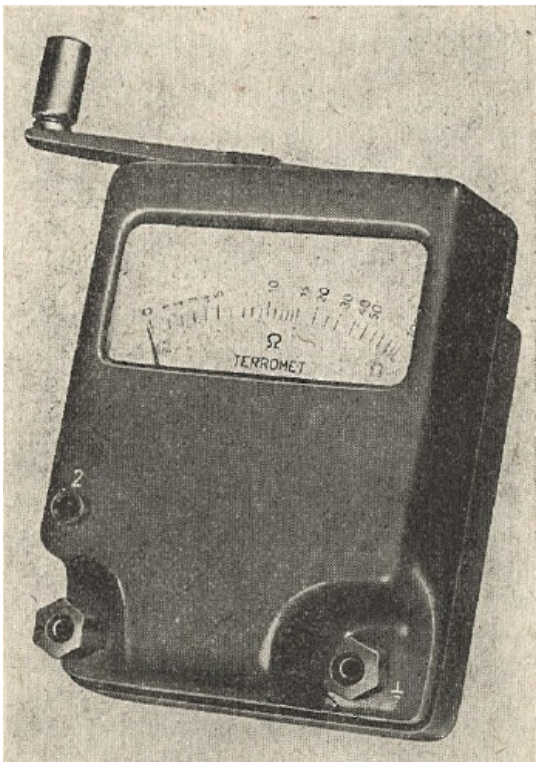
Rozměry	100 x 140 x 55 mm
Váha	1 kg
Cena	851,--
Daň	90,--

Řemeslnické potřeby, národní podnik 28. září 1953

PŘÍLOHA [7]

Měřič zemních odporů TERROMET

Zdroj: Macháček, C.: *Uzemnění a jeho kontrola*, SNTL, Praha 1958 (str. 155, obr. 64)



PŘÍLOHA [8]

Měřič zemních odporů METRA PU 430

Zdroj: http://www.hd.cz/meraky/metra_pu430.php

PŘÍLOHA [9]

Klešťový měřič C.A 6412 – katalogový list

Zdroj: http://www.ghvtrading.cz/merici-pristroje/revize/zemni-odpor/ca6412.html

GHV Trading

KLEŠŤOVÉ MĚŘIČE ZEMNÍCH ODPORŮ

C.A 6410, C.A 6412 a C.A 6415

C.A 6410

C.A 6415

Charakteristika

- Digitální testery pro kontrolu uzemňovacích smyček
- Přístroje umožňují měření za provozu bez přerušení uzemňovacích vodičů
- Měřená instalace zůstává v průběhu měření trvale připojena k zemi
- Přístroje C.A 6412 a C.A 6415 dovolují také měření unikajících proudů (TRMS) tekoucích zemničem
- Model C.A 6415 má navíc paměť pro uložení naměřených hodnot a funkci akustické výstrahy při překročení nastavených mezí
- Průměr otvoru kleští je 32 mm
- Indikace stavu baterie
- Automatické vypínání
- Přidržení údaje na displeji HOLD
- Indikace otevřených kleští a rušivých proudů
- K přístroji je možné přikoupit kontrolní smyčku CL1 s hodnotami odporů 7,9 Ω/12,4 Ω/22 Ω/49,5 Ω/198 Ω

Technická data

Zobrazení	LCD, 9999 digitů		
Měření odporu:	Rozsah	Rozlišení	Přesnost
	0,07…1,0 Ω	0,01 Ω	±(1,5% z č.h. + 0,02 Ω)
	1,0…50,0 Ω	0,1 Ω	±(1,5% z č.h. + 0,1 Ω)
	50,0…100,0 Ω	0,5 Ω	±(2% z č.h. + 0,5 Ω)
	100…200 Ω	1 Ω	±(3% z č.h. + 1 Ω)
	200…400 Ω	5 Ω	±(6% z č.h. + 5 Ω)
	400…600 Ω	10 Ω	±(10% z č.h. + 10 Ω)
	600…1200 Ω	50 Ω	±(cca 25% z č.h. + 50 Ω)
Měření proudu:	Rozsah	Rozlišení	Přesnost
	1…299 mA	1 mA	±(2,5% z č.h. + 2 mA)
	0,300…2,999 A	1 mA	±(2,5% z č.h. + 2 mA)
	3,00…29,99 A	10 mA	±(2,5% z č.h. + 20 mA)
Max. přetížení:	100 A trvale, 200 A < 5 s		
Nastavení ALARMu:	1 až 199 Ω pouze C.A 6415		
Kapacita paměti:	99 měření		
Průměr otvoru kleští:	32 mm		
Napájení:	9 V baterie typu IEC 6LF22, možnost použití NiCd		
Kapacita baterií:	1000 měření po dobu 30 s (cca 8 hodin)		
Elektrická bezpečnost:	ČSN 6110-1 Ed 95/CAT III-2, 150 V		
Stupeň krytí:	IP30, IK04		
Hmotnost/rozměry:	1 kg/55 x 100 x 240 mm		

Údaje pro objednávku:

C.A 6410	P01.1220.11
C.A 6412	P01.1220.12
C.A 6415	P01.1220.13
CL1 smyčka	P01.1223.01

Součást dodávky:

Měřicí přístroj	1 ks
Plastový kufřík	1 ks
Baterie 9 V	1 ks
Návod k obsluze	1 ks

PŘÍLOHA [10]

Klešťový měřič C.A 6412

Zdroj: http://www.ghvtrading.cz/merici-pristroje/revize/zemni-odpor/ca6412.html

PŘÍLOHA [11]

Zkušební přístroj PROFITEST 0100S-II

Zdroj: https://www.gossenmetrawatt.com/english/produkte/profitest0100s-ii.htm