

Odpor uzemnění, dotykové napětí a kompaktnost rozsáhlé zemnicí soustavy

Ing. Mečislav Hudeczek, Ph.D., HUDECZEK SERVICE, s. r. o., Albrechtice u Českého Těšína

1 Úvod

K napsání tohoto článku mě vedou zkušenosti z realizace projektů, montáží, revizí elektrických zařízení, oprav a odstraňování poruch. Za posledních 25 let došlo ve všech odvětvích naší společnosti k významné modernizaci elektrických zařízení a spotřebičů. Celý tento proces nebyl systémový probíhal značně chaoticky. Po roce 1989 došlo k „vyrojení“ velkého množství montážních firem elektro, projektantů elektro, projektantů staveb, kteří si myslí, že umí také projektovat elektrické instalace a rozvody, revizních techniků elektro a dalších mudrlantů včetně nepoctivců v této branži. Všichni tento stav tolerují. Velká většina těchto subjektů byla bez patřičné praxe a především bez zkušeností v daných odvětvích průmyslu, obchodu, zdravotnictví, hornictví atd. Na trhu se objevila výběrová řízení, ve kterých vždy vyhrávají ti nejlacinější a ve většině případů firmy, které neví, do čeho jdou. Z vedoucích míst odešli zkušení pracovníci a na uvolněná místa nastoupili mladí a nezkušení odborníci, s dobrou znalostí angličtiny. Největším problémem celé elektrotechniky, a nejenom, byla ztráta závaznosti norem. Normy jsou pouze platné. Zákony, vyhlášky a vládní nařízení, jsou natolik obecná, že je lze různě interpretovat a tím neplnit podstatné elektrotechnické zásady pro provozování elektrických zařízení. Obrovské zklamání, vnesly do problematiky elektro evropské normy a nařízení EU, které vyhovují, ve většině případů, především výrobcům elektrických zařízení.

2 Kde se především projevil chaos v provozovaném elektrickém zařízení?

V zemi!

Tím, že po roce 1989 došlo k jednoznačnému přechodu na tržní hospodářství, nastalo i rozdělení velkých organizačních jednotek na dílčí jednotky samostatně ekonomicky hospodařící, ale spadající pod jednu matku, i tak je nadále zachován jeden subjekt. To platí pro celý průmysl těžký i lehký, hutě, doly, nemocnice různých stupňů, vojenská zařízení, sklady různých bezpečných i velmi nebezpečných skladovaných materiálů, obytné domy a města, atd. Samostatné dílčí jednotky se rychle modernizují, ale společné prvky elektrotechniky nikdo nemodernizuje a co hůř nikdo je nesleduje. Tímto společným prvkem elektrotechniky ve všech organizačních jednotkách je to nejdůležitější, to je zemnicí soustava nebo uzemnění.

Při mé praktické činnosti ve firmě HUDECZEK SERVICE, s. r. o., Albrechtice u Českého Těšína jsem se setkal s tím, že zemi a zemnicí soustavě nikdo nerozumí, pro některé odborníky je „španělskou vesnicí“. Níže uvádím pár fotografií a příkladů z technické praxe.



Zemniče Z1 – 49 Ω , Z2 – 1,3 Ω , Z3 – 0,3 Ω ,
kulatý vodič – 60 Ω

Chybí uzemnění vstupních dveří a kolejnice pod transformátory č. 3 a č. 4



Zemnění – jeden zemnič uhnulý, druhý má
hodnotu 157 Ω

Zemniče nejsou v ústí do země chráněny proti korozi dle ČSN 33 2000–5-54 ed. 3



Zemnič – $8,2 \Omega$, není chráněn proti mechanickému poškození ani korozi, silně napaden korozí



Prostupy ve stropě, zkorodovány lavice, zemnění a kovové obaly kabelů



Mezi stanovišti transformátorů – přerušen zemničí pásek Uzemnění trafokobky – $42,7 \Omega$,



Zemnič ze zadní strany budovy rozvodny u čísla 7 – $30,5 \Omega$ Zemnič RZ5 = 91Ω

Při pravidelné revizi bylo zjištěno, že nejsou uzemněny nulové body transformátorů. Jedná se o soustavu TN. K neuzemnění uzlu transformátoru došlo pravděpodobně při výměně stávajícího transformátoru za nový, moderní. Firma, která vyhrála soutěž na výměnu transformátorů nejnižší cenou, neměla ponětí o tom, že se uzel transformátoru musí přizemnit na zemničí soustavu. Tak toto zařízení bylo provozováno do doby provádění pravidelné revize. Nikomu to nevadilo a to ani místním odborníkům na elektrická zařízení.

V organizaci, která v jednom areálu provozuje přes 30 trafostanic, byla vystavěna nová zemničí mřížová síť pro jednu z trafostanic. V průběhu pravidelné revize bylo zjištěno, že nová zemničí síť není propojená se starou sítí a ostáním uzemněním v celém areálu. Tím se zvyšuje nebezpečí vzniku potenciálu mezi jednotlivými uzemněními. Závada byla v průběhu pravidelné revize odstraněna.

Při prohlídce rozvodny před výběrovým řízením, která měla být rekonstruována, jsem učinil dotaz na hodnotu odporu uzemnění rozvodny nebo hodnotu dotykového napětí. Rozvodna byla hlavním napájecím uzlem celé technologie. Dotaz byl směřován na odpovědného pracovníka za rozvodnu, který měl pro tuto činnost platné elektrotechnické osvědčení ve smyslu vyhlášky č. 50/1978 Sb. Odpovědný pracovník mi sdělil, že to neví a že je to předmětem pravidelných revizí elektro této rozvodny. Hodnota uzemnění rozvodny nám bude zaslána písemně e-mailem. Písemně mi bylo sděleno, že revizní technici hodnotu uzemnění ve svých revizních zprávách neuvádějí a že to máme provést měření uzemnění rozvodny na své náklady a zahrnout je do ceny celé rekonstrukce.

Podobných a složitějších nedostatků v uzemnění a zemničních soustavách bylo při naší činnosti zjištěno mnoho. Proto dále se zabývám problematikou země a uzemnění.

3 Princip země

Uzemněním se zmenšuje potenciál některého místa nebo části elektrického zařízení, takže zde není nebezpečí pro osoby a zvířata, která se tohoto místa dotýkají a jsou zároveň ve spojení s jiným bodem, který má potenciál země. Taktéž eliminuje možnost poškození majetku. Zemi lze pokládat teoreticky za dokonalý vodič velikých rozměrů, schopný pojmout a vést elektrický proud, aniž vzrůstá jeho elektrický potenciál. Zem si sama automaticky vytváří nekonečně velký průřez tak, aby nekladla procházejícímu proudu odpor. Když se nějaký vodič spojí se zemí, zmenší se tím jeho potenciál na nulu, ovšem za předpokladu, že se stýká s půdou na velké ploše a půda neklade odpor.

Spojení s velkou hmotou země zajišťují zemniče strojené uložené do země a taktéž náhodné zemniče různých staveb a konstrukcí. Rozměry zemničů jsou proti rozměrům země zcela nepatrné – zanedbatelné. Proud přechází do země vrstvami půdy, které zemnič obklopuje, jejíž průřez závisí na velikosti tohoto zemniče. Čím větší je průřez přiléhavých vrstev půdy, tím menší je přechodový odpor. Neprochází-li zemničem proud, má zemnič potenciál země. Potenciál zemniče (napětí proti zemi) se rovná součinu proudu a odporu země. Čím větší je proud, tím větší je rozdíl potenciálu mezi zemničem a zemí, tj. větší napětí má zemnič proti zemi. Velikost napětí proti zemi a jeho rozdělení v obvodu kolem zemniče závisí tedy na odporu půdy a na hustotě proudu.

Celkový odpor zemniče závisí na jeho rozměrech, jeho tvaru a na elektrických vlastnostech půdy v jeho okolí. Zemnič musí mít malý odpor. Napětí v půdě kolem zemniče musí být rozděleno tak, aby na povrchu půdy nevznikaly rozdíly potenciálu nebezpečné osobám, zvířatům a majetku. Toho se dosahuje především náležitými rozměry zemniče a jeho uspořádáním.

Rozeznáváme pracovní uzemnění a ochranné uzemnění.

Pracovní uzemnění

- trvalé nebo přechodné spojení se zemí částí elektrického zařízení, které patří k proudovému obvodu, jimž se má zabránit škodlivému vzrůstu napětí nebo přepětí; je to např. uzemnění uzlu zdroje (transformátoru), uzemnění nulového vodiče v síti, uzemnění na ochranu před přepětím (bleskojistek) apod.

Ochranné uzemnění

- spojení těch částí se zemí, které jsou zpravidla bez napětí, ale jsou v blízkosti částí s napětím, jimž se má zabránit, aby na nich nevzniklo napětí nebezpečné životu; je to uzemnění neživých částí na ochranu před dotykem.

4 Zemniče – zemní elektrody

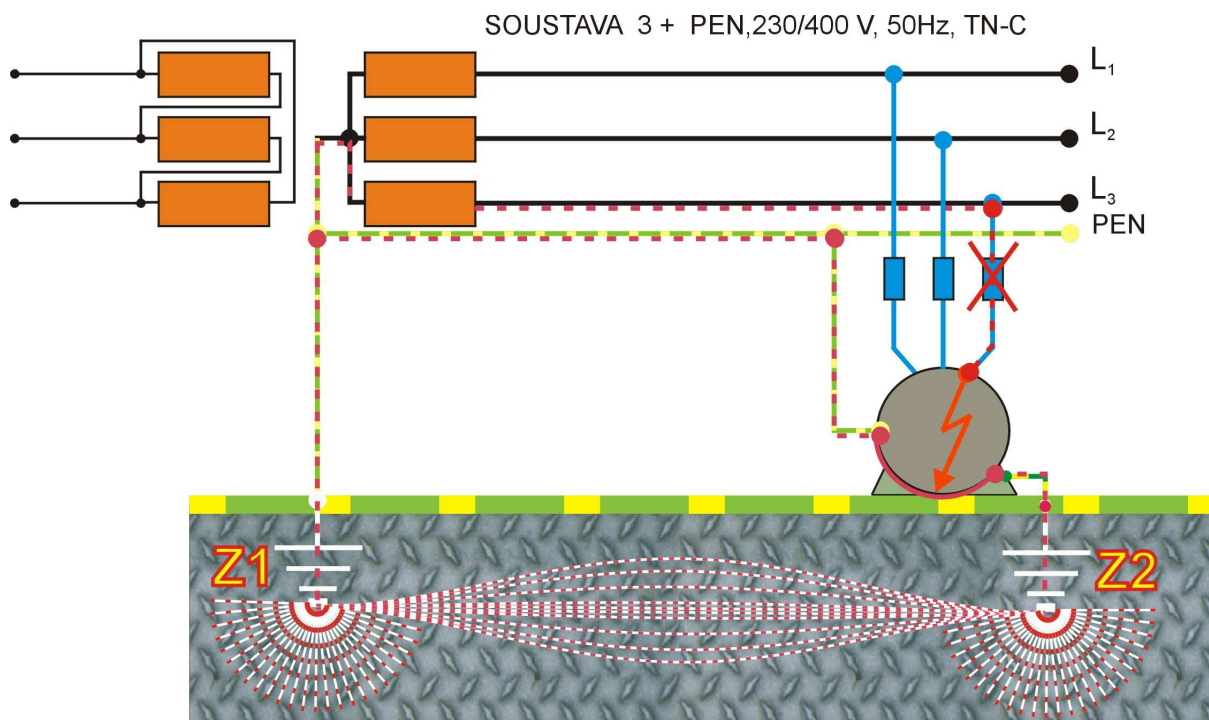
Proud prochází z jednoho zemniče do druhého buď vymezeným směrem, nebo se rozptýluje do země všemi směry. První způsob se vyskytuje např. při zemním zkratu mezi uzemněním krajního vodiče trojfázového rozvodu a uzemněným uzlem.

Při výboji bleskojistkami nebo hromosvodem se rozptýluje elektrina do země stejnoměrně všemi směry. Představujeme si tento jev jako průchod proudu mezi vlastní elektrodou tvaru polokoule a mezi soustřednou elektrodou s velmi velkým poloměrem, rozprostřenou v zemi. Toto vysvětluje teorie o uzemnění.

Podle mých úvah není něco s tím proudem v pořádku. V případě posuzování elektrických atmosférických výbojů podle prvního Kirchhoffova zákona o algebraických součtech proudů vcházejících a vycházejících do i z uzlu, tak elektrická energie výboje, která je reprezentována pravděpodobně elektrickým proudem, který my známe, se tímto zákonem neřídí. Podle všech teorií o atmosférických výbojích se energie – proud výboje rozptýluje v zemi (asi v nějaké zemské černé díře). Druhá alternativa tohoto proudu, myslím atmosférického výboje je taková, že energie atmosférického výboje je nám neznámá, dosud nepopsaná a řídí se jinými zákonitostmi, než na zemi uznáváme.

Pan Jaroslav Klas, který se zabýval od 1966 do roku 2003 atmosférickými výboji a napětovými generátory laboratorně, píše ve svých poznámkách, že se mu nikdy nepodařilo v laboratoři napodobit přírodní atmosférický výboj. Trochu to potvrzuje můj úsudek, že pro přírodní atmosférické výboje platí jiné zákonitosti. Pan J. Klas pracoval také po určitou dobu v ČSAV v Praze.

Tok obou proudů v zemi viz obr. č. 1.



Obr. 1. Zemní proud při zemním zkratu

Pozorujme nyní průchod proudu zemní elektrodou při zemním zkratu krajního vodiče trojfázového rozvodu s nulovým vodičem soustavy TN – C (obr. 1). Elektrody Z1 a Z2 jsou v zemi a značně od sebe vzdálené. Jedna z nich je připojena na zdroj energie, druhá u spotřebičů je připojena na neživou část. Proud se vrací od druhé elektrody k první. Země je zpětným vodičem. V sítích TN-C je zároveň vedena zem ke spotřebičům čtvrtým vodičem v soustavě. Čtvrtý vodič také slouží k vedení zpětného proudu do zdroje.

To, jak prochází proud zemí, závisí na povrchu zemních elektrod, na jejich tvaru, vzájemné poloze a vzdálenosti a na vlastnostech půdy. Pro výpočet můžeme předpokládat, že půda je stejnorodá, tedy jednotného měrného (specifického) odporu. Nejde-li o proud stejnosměrný, je závažná i reaktance elektrického obvodu.

Půda je obecně špatným vodičem elektriny. Proud se však při výstupu z elektrody rozptýluje široce do země, takže jeho hustota ubývá se vzdáleností do elektrody. Proto může být odpor elektrody docela malý.

Při zemním spojení podle obr. č. 1 prochází proud transformátoru vedením k elektrodě Z2 a vrací se zemí zpět k elektrodě Z1 a k transformátoru. Proud při zkratu je zobrazen narůstajícím bílo červeným polštářem a proud od atmosférických výbojů bíločervenými ježky.

5 Druhy zemničů

Zemniče jsou *náhodné a strojené*.

5.1 Zemniče náhodné

Jsou to kovové předměty velkých rozměrů, uložené v zemi nebo se jí dobře dotýkající velkou plochou, takže jejich zemní odpor je malý, tedy kovové vodovody, rozsáhlé kovové konstrukce budov, kovové části studní, pláště kabelů, koleje železnic a pouličních drah. Primární účel těchto kovových předmětů je jiný než k účelům uzemnění. Používá se jich, jsou-li náhodou po ruce, po dohodě s majitelem.

5.2 Zemniče strojené

Jsou používané výhradně jen jako zemniče. Tvary obvyklých strojených elektrod jsou trubky a tyče, desky, pásy a dráty.

Podle norem se má především využívat zemničů náhodných.

6 Trvanlivost zemničů

V půdě probíhají některé elektrochemické pochody, jež způsobují korozi zemních elektrod. Koroze je nejzávažnějším činitelem, který má vliv na trvanlivost zemních elektrod. O kvalitě zemních elektrod obecně, se nedá uvažovat bez přihlídnutí k ostatním částem zařízení v půdě, jako jsou např. vodovody, plynovody, potrubí, ocelové a železobetonové základy stožárů. I když zde máme na zřeteli jen ochrany zemních elektrod, jsme si vědomi, že ochrana musí být účinná u těchto ostatních půdních elementů, uvažujeme-li vzájemný vliv těchto částí v půdě. Půda je pro svůj obsah soli a vody elektrolytem, koroze kovu v elektrolytu je pochod chemický, při němž se vytvářejí korozní články. Jejich původ je různý. Napětím tohoto článku přechází pozitivně nabitý ionty kovu do roztoku a vytváří se na styčné ploše kovu s půdou dvojvrstvá, která způsobuje potenciální rozdíl mezi kovem a půdou. Jeho velikost závisí na druhu kovu, stavu jeho povrchu a složení okolní půdy. Znečištění, vrstvy kyslíčků a jiné způsobují, že povrch homogenního kovu je nepravidelný. Napětí mezi kovem a půdou je proto na jeho jednotlivých místech rozdílný. Tak vznikají místní články, kde proud vychází z anodických míst přes půdu ke katodickým místům a kov se rozpouští. Místa katodických a anodických oblastí se mohou měnit.

Jsou-li dva různé kovy v homogenní půdě spolu vodivě spojeny, vytváří se galvanický článek. Méně ušlechtilý kov, podle elektrolytické řady, tedy kov s vyšším záporným potenciálem, se stává anodou, přechází do roztoku a stravuje se. Přehled o tom, jak se bude chovat v půdě, dává tato řada normálních potenciálů (U_N [V]) některých kovů a jejich kyslíčků vzhledem k vodíku:

Cu + 0,34; Pb – 0,13; Zn – 0,14; Fe – 0,44; Zn – 0,76; Al_2O_3 – 1,28; MgO – 1,55; Al – 1,67; Mg – 2,35.

Rozdíl potenciálů bývá způsoben různým provzdušněním půdy; vznikají vzdušné články. Zvláště velká koroze se dá očekávat na dlouhých potrubích a zemních sítích v oblasti s malým měrným odporem půdy. Vznikají podélné proudy od několika desetin až do několika ampérů. Také na dlouhých tyčových elektrodách (hloubkové zemniče) se dá očekávat velká koroze. Jiným příkladem je koroze na přechodech holých zemních svodů ze vzduchu do půdy.

7 Pracovní a ochranné uzemnění

Pracovním uzemněním se dosahuje trvalého provozovacího stavu elektrického zařízení, např. určitého napětí krajních vodičů proti zemi.

Pracovní uzemnění spojuje se zemí trvale nebo přechodně živé části silnoprůdové, aby se zabránilo přepětí nebo škodlivému vzrůstu napětí. Například: uzemnění bleskojistek a průrazek, uzemnění uzlů transformátorů, uzemnění nulového vodiče v síti až k pojistkám přípojek atd.

Pracovním uzemněním jde někdy proud i v normálním chodu na rozdíl od ochranného uzemnění. Pracovní uzemnění může mít vysoké napětí proti zemi, např. následkem zemních zkratů v sítích velmi vysokého napětí s přímo uzemněnými uzly nebo vlivem činnosti bleskojistek.

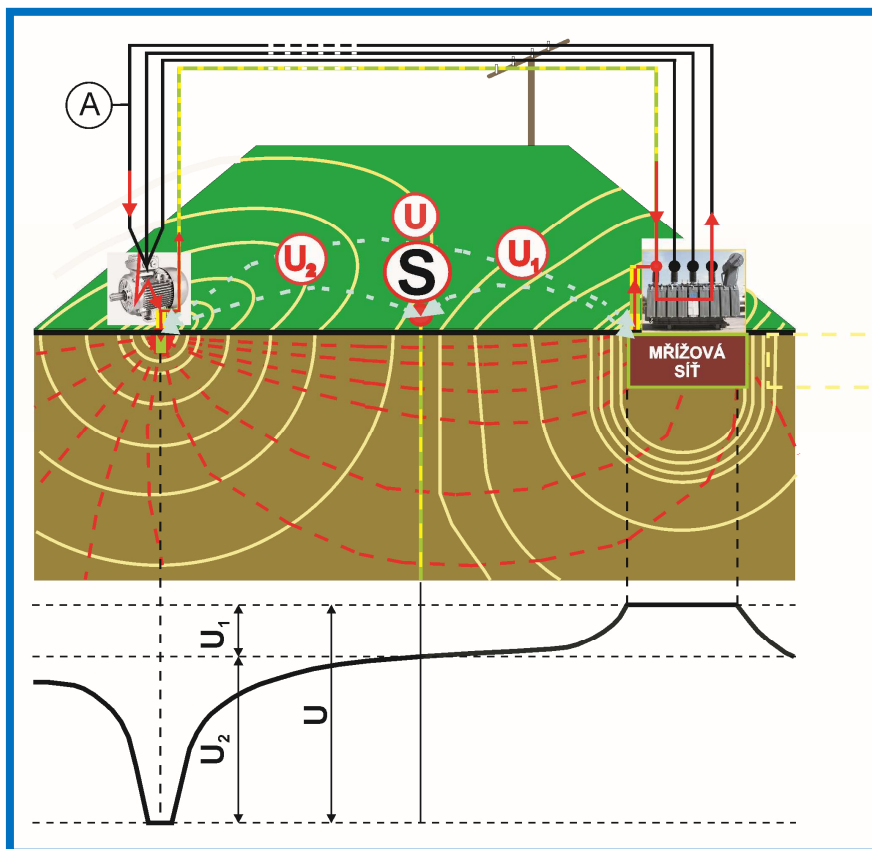
7.1 PRACOVNÍ UZEMNĚNÍ V ZAŘÍZENÍ NAD 1000 V

Pracovní uzemnění se zřizuje tak, aby při průchodu zemního proudu nebo při průchodu vypínacího proudu předřazené pojistky nebo samočinného vypínače nevzniklo nebezpečné napětí na povrchu země kolem svodu nebo mezi svodem a některou kovovou částí konstrukce v dosahu svodu. Může-li vzniknout nebezpečné napětí mezi svodem a uzemněnými vodivými částmi na dosah, musí se svod chránit před dotykem, a to na napětí, které se může vyskytnout. Je-li stanoviště kolem svodu vodivé, může se svod spojit s ostatními vodivými částmi na dosah. Uzemnění samo se musí uložit a stanoviště upravit tak, aby nevzniklo nebezpečí od krokového napětí.

8 Zemní proud a napětí

Při určování způsobu a velikosti pracovního a ochranného uzemnění v sítích je třeba znát velikost zemního proudu.

Zemní proud se určí podle druhu elektrické rozvodu. Vzhledem k tomu je důležité, jde-li o trojfázový rozvod s izolovaným uzlem nebo s uzlem uzemněným nebo uzlem kompenzovaným. Pro síť IT kompenzované tlumivkou je nutné znát hodnoty kapacitních proudů příslušné soustavy, která má být kompenzována. Při neznalosti kapacitních proudů v síti IT je kompenzace neúčinná.



Obr. č. 2 Průběhy zemního proud a napětí

Na obrázku č. 2 je červeně zobrazen průběh zemního proudu mezi dvěma zemními elektrodami, průběh napětí žlutě. Zemní elektroda u napájecího zdroje je tvořena zemnicí sítí a u spotřebiče je tvořena tyčovým zemničem. Pod obrázkem je vyznačen průběh napětí na mřížové síti a na tyčovém zemniči. Jak je zřejmé, je průběh napětí na mřížové síti plochý a menší, na zemnicí tyči je mnohem větší a ostřejší.

9 Dotyk elektrických zařízení

9.1 Dotykové napětí

Dotykem s kovovou částí při porušení izolace člověk odvádí část proudu I_T z celkového zemního proudu I_E . Velikost I_T , a tím i dotykové napětí, závisí na odporu těla a ostatních odporech elektrického obvodu a na jejich vzájemném poměru.

Dotykové napětí je napětí, které vzniká mezi dvěma body, kterých se člověk zároveň dotýká, nebo mezi částmi elektrického zařízení a okolím v dosahu, které člověk může překlenout. Je to úbytek napětí v těle a přechodových odporech. Nebývá to vždy úplné napětí vadné části proti zemi, protože velmi záleží na vodivosti stanoviště, rozložení potenciálu, na přechodových odporech člověka a na jeho vzdálenosti od uzemnění.

9.2 Dotykové a krokové napětí

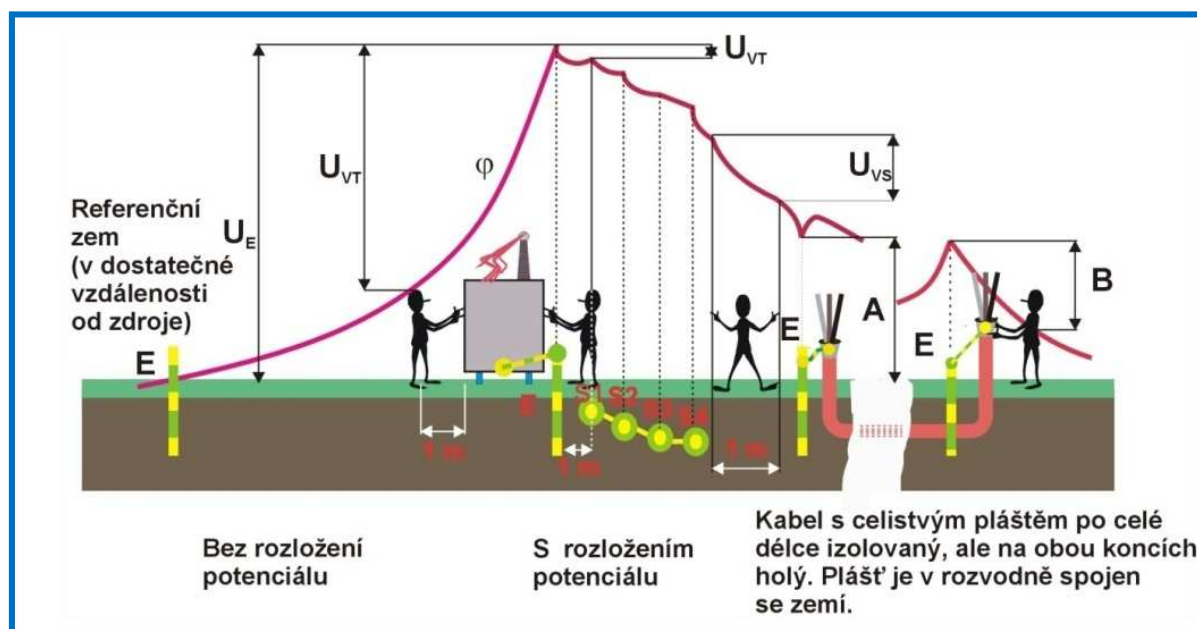
Zkratové proudy, které probíhají zemí, způsobují úbytky napětí podél zemnicích odporů stanic, zařízení a stožárů venkovních vedení. Tím se vytvářejí v okolí zemničů úbytky napětí, které mohou dosáhnout velikosti až několika kV. Průběh rozložení potenciálu kolem zemniče je znázorněn na obr. 3.

Kráčí-li v blízkosti zemniče člověk nebo zvíře, může vzniknout mezi jeho nohama takový potenciální rozdíl, že může projít tělem dostatečně velký proud a tím dojít k úrazu elektrickým proudem.

Obdobný případ může nastat při dotyku kostry uzemněného zařízení člověkem. Mluvíme proto o krokovém a dotykovém napětí, jejichž nejvyšší přípustné meze jsou uvedeny v příslušných normách.

Omezení potenciálních spádů kolem zemnicích elektrod na zcela bezpečnou mez naráží na ekonomické potíže. Je však možné je upravit, tak, aby průběh potenciálního spádu ϕ byl dostatečně plochý a snížila se pravděpodobnost nebezpečného krokového a dotykového napětí na dovolenou mez. Toho lze dosáhnout usměrněným rozložením potenciálního spádu.

Napětí v okolí zemničů se zmenšuje se zvětšeným počtem zemních elektrod, tj. zmenšením proudu procházejícího elektrodou, uložením elektrod ve větší hloubce, izolováním zemního svodu a vhodným uspořádáním elektrod tak, by napětí v zemi ubývalo pozvolna a stejnoměrně jako rozvedením potenciálu a mřížovými zemními sítěmi.



Obr. č. 3.: Průběh rozložení potenciálu kolem zemničů.

Legenda:

E	Zemnič
S_1, S_2, S_3	Zemniče pro rozložení potenciálu (například kruhové zemniče) připojeného na zemnič E
U_E	Nárůst potenciálu zemniče
U_{VS}	Zdrojové krokové napětí
U_{VT}	Zdrojové napětí pro dotyk
A	Předpokládané dotykové napětí vyplývající z přeneseného potenciálu v případě, je-li plášť kabelu uzemněn na jednom konci
B	Předpokládané dotykové napětí vyplývající z přeneseného potenciálu v případě, je-li plášť kabelu uzemněn na obou koncích
ϕ	Potenciál povrchu země

10 Měření odporu uzemnění, dotykového napětí a posouzení kompaktnosti zemnicí soustavy

10.1 Metody měření odporu uzemnění, dotykového napětí a posouzení kompaktnosti zemnicí soustavy

Příklady vhodných způsobů měření a typů přístrojů jsou:

10.1.1 Metoda spádu potenciálu s měřičem uzemnění

Přístroj se užívá pro zemniče a systémy uzemnění malého nebo středního rozsahu, například pro jednotlivé točivé zemniče, paprskové zemniče, uzemnění stožárů s odpojeným zemnicím lanem, uzemnění VN a oddělených uzemnění NN. Kmitočet užitého střídavého napětí nemá překročit 150 Hz.

Zkoušené uzemnění i pomocné zemniče musí ležet pokud možno v přímce. Vzdálenost prvního pomocného zemniče od měřeného zemniče má být alespoň čtyřnásobek rozsahu uzemnění, ne však méně než 40 m, vzdálenost druhé pomocné elektrody má být alespoň 2,5 násobek rozsahu uzemnění (ve směru měření) nejméně však 20 m.

10.1.2 Vysokofrekvenční měřič uzemnění

Přístroj urychluje měření uzemnění jednotlivého stožáru bez odpojení zemnicího lana. Kmitočet měřicího proudu má být tak vysoký, aby impedance zemnicího lana a sousedních stožárů vzrostla a představovala prakticky zanedbatelný paralelní obvod k uzemnění stožáru.

10.2 Metoda měření odporu uzemnění, dotykového napětí a posouzení kompaktnosti rozsáhle zemnicí soustavy pomocí napětí a proudu – Ohmova metoda.

10.2.1 Měření zemního odporu uzemnění

Měří se za podmínky, že pomocné elektrody byly umístěny v takové vzdálenosti od měřeného zemniče, aby vzájemný jejich vliv byl co nejmenší. Zdroj proudu s frekvencí od 0 do 72 Hz se zapojí přes ampérmetr mezi měřené uzemnění a vzdálené uzemnění. Napětí se měří selektivním voltmetrem nebo frekvenčním analyzátozem vybaveným rychlou Fourierovou transformací, zapojeným mezi kontrolovaný zemnič a referenční elektrodu vzdálenou o 5D. D je úhlopříčka zemnicí soustavy. Viz obr. č. 4.

Zemní odpor R_E v (Ω) se vypočítá ze vztahu:

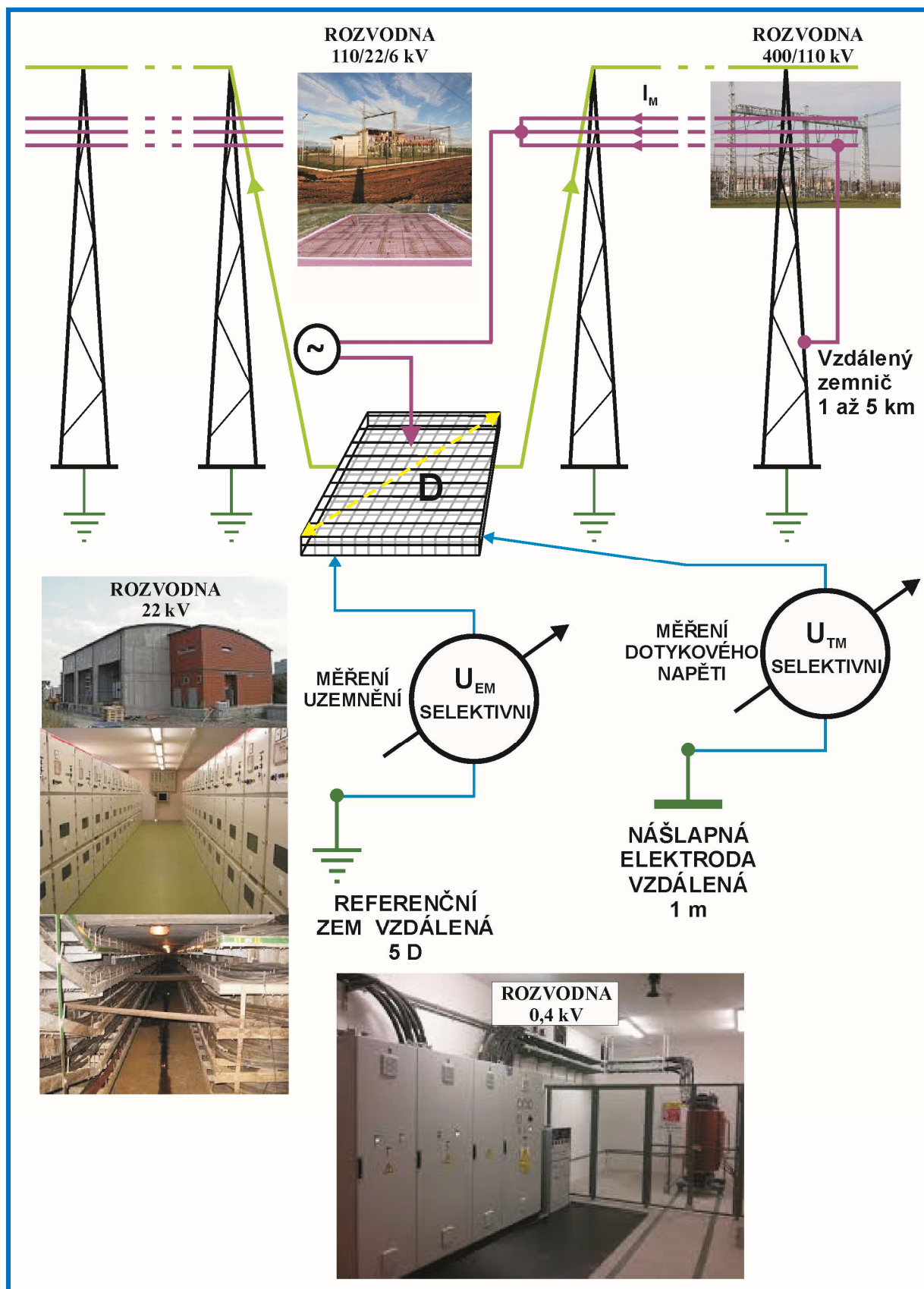
$$R_E = \frac{U_{EM}}{r I_M}$$

kde U_{EM} je naměřené napětí (V),

I_M je měřicí proud (A).

r redukční činitel vedení

Ve velkých elektrických stanicích a rozsáhlých průmyslových objektech se doporučuje pro měření zemního odporu nebo pro stanovení napětí na uzemnění napětovou a proudovou metodu.



Obr. č. 4.: Principiální schéma měření uzemnění a dotykových napětí v rozsáhlých zemních soustavách

Legenda k obrázku č. 4 :

- U_{EM} - napětí naměřené mezi uzemněním a napěťovou sondou v oblasti vztažné (vzdálené) země ve voltech
- U_{TM} - napětí naměřené mezi neživou částí elektrického zařízení – dotykové napětí a napěťovou nášlapnou sondou vzdálenou 1 m od neživé části elektrického zařízení. Naměřené napětí je ve voltech.

Nášlapná sonda musí mít plochu 400 cm² a musí být zatěžována k zemi minimální celkovou silou 500 N. Pro zlepšení vodivosti nášlapné sondy na špatně vodivých podkladech, jako je beton, asfalt, štěrk atd. doporučuje se dat pod kovovou nášlapnou sonda mokrý hadr nebo mokrou mycí houbu

- I_M - měřený zkušební proud v ampérech
- ~ - zdroj proudu o frekvenci od 0 do 72 Hz

Napětí na uzemnění U_E ve (V) se vypočítá podle vztahu:

$$U_E = U_{EM} \frac{I_k'}{I_M} \cdot w$$

- kde U_{EM} je naměřené napětí (V),
- I_k' je ustálený proud jednofázového zkratu (A),
- I_M je měřicí proud (A),
- w je součinitel pravděpodobnosti

10.2.2 Měření dotykového napětí

Pro měření dotykových napětí se uspořádá měřicí odvod podle dříve uvedeného, viz obr. č. 4. Zemnicí lano se neodpojuje, i když je vzdálenost k elektrické stanici, jejíž uzemnění je použito jako referenční elektroda, menší než 5 km.

Při měření dotykových napětí se postupuje tak, že se selektivním voltmetrem s velkým vnitřním odporem (nejméně 100 kΩ) nebo frekvenčním analyzátozem vybaveným rychlou Fourierovou transformací změří část napětí proti zemi, kterou člověk může při dotyku překlenout (napětí před dotykem). Měřicí přístroj se zapojí mezi měřenou konstrukci nebo vodivou část a elektrodu vzdálenou od měřené konstrukce 1 m.

Pokud hodnota naměřeného napětí přesahuje hodnotu dovoleného dotykového napětí, připojí se při měření k voltmetru paralelně odpor 1,5 kΩ. Pro měření se použije elektroda o ploše 400 cm², která je pro dosažení dobrého styku s tvrdým a nerovným povrchem zhotovena z elektricky vodivé gumy nebo je kovová a podložena navlhčenou tkaninou. Při měření se elektroda zatíží tíhou člověka a napodobí se nepříznivé klimatické podmínky (mokrý povrch terénu pod elektrodou).

Skutečná dotyková napětí U_{TV} ve (V) se počítají podle vztahu:

$$U_{TV} = U_{TM} \frac{I_k'}{I_M} \cdot w$$

- kde U_{TM} je naměřené napětí (V),
- I_k' je ustálený proud jednofázového zkratu (A),
- I_M je měřicí proud (A),
- w je součinitel pravděpodobnosti

11 Měřicí souprava pro měření uzemnění a dotykových napětí

Firma HUDECZEK SERVICE, s. r. o., Albrechtice vyrobila a sestavila měřicí soupravu pro měření uzemnění, dotykových a krokových napětí a kompaktnosti rozsáhlé zemnicí soustavy. Na obrázcích č. 5 a č. 6 je zobrazena celá souprava. Měřicí souprava se skládá:

- Regulátoru frekvence od 0 do 72 Hz, 400 V, 15 A

- Vazebního transformátoru 230 V, 11 A
- Regulátoru napětí od 0 do 230 V, 20 A
- Síťového frekvenčního analyzátoru
- Data kolektoru s FFT
- Kapacitního voltmetru Track od 0 do 10 kV
- Osciloskopu s multimetrem



Obr. č. 5.: Měřicí souprava pro měření uzemnění a dotykových napětí bez měřících přístrojů vyrobená firmou HUDECZEK SERVICE, s. r. o. Albrechtice



Obr. č. 6.: Měřicí souprava pro měření uzemnění a dotykových napětí včetně měřících přístrojů, na konkrétní rozvodně 110 kV, která je vyrobená firmou HUDECZEK SERVICE, s. r. o. Albrechtice

Měřicí souprava je zapojována podle obrázku č. 4. Před samotným připojením měřicího systému na vedení je změřeno indukované napětí a taktéž zotavené napětí na příslušném vedení aby nedošlo k úrazu elektrickým proudem a taktéž k poškození měřicí soupravy, která má i ochranu proti přepětím a indukovaným napětím. Před samotným ukládáním naměřených dat do data kolektoru je změřeno osciloskopem a multimetrem napětí na uzemnění a dotykové napětí. Měření je prováděno proto, aby byly dobře nastaveny rozsahy a nedošlo k poškození data kolektoru.

Měřicí soupravu lze trvale zatěžovat do měřeného obvodu 10A a 72 Hz. Souprava je vybavena veškerými ochranami a taktéž je spočítáno oteplení jednotlivých přístrojů na hodnotu 10 A, 72 Hz. Při praktických měřeních tyto hodnoty byly odzkoušeny bez jakýchkoliv neshod. Navíc rozvaděče jsou vybaveny termostaty a v případě zvýšené teploty spínají chladicí ventilátory.

12 Fotodokumentace z měření a výsledky naměřených hodnot

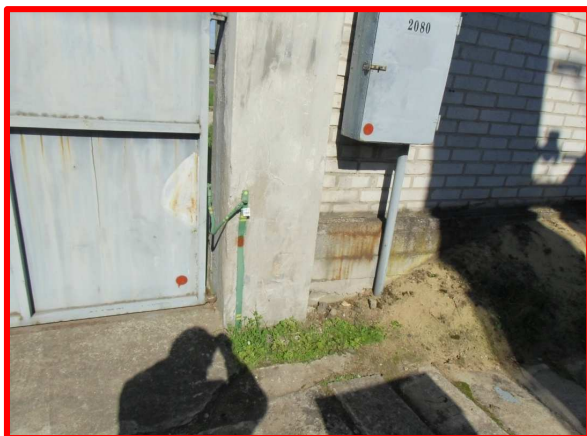
Na jednotlivých obrázcích je zobrazen postup měření a označování měřících bodů.



Obr. č. 7.: Označení měřících bodů na stožárech rozvodny 110 kV



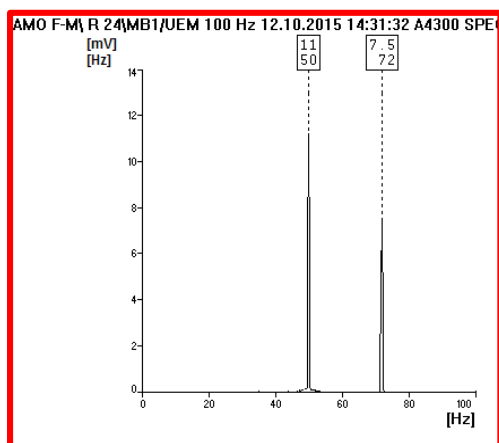
Obr. č. 8.: Měření dotykového napětí na zábradlí rozvodny 110 kV



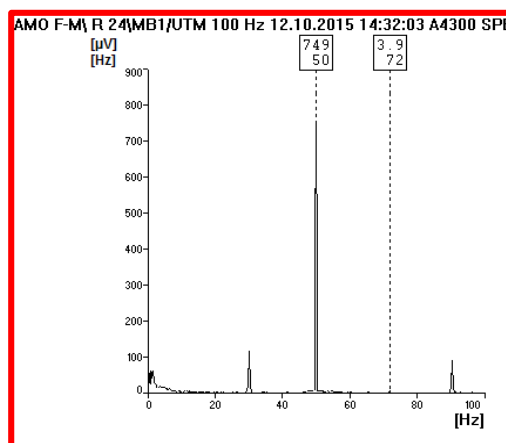
Obr. č. 9.: Měřící body uzemnění a dotykových napětí na zemniči, vstupních dveřích do rozvodny a skřínky telefonu rozvodny



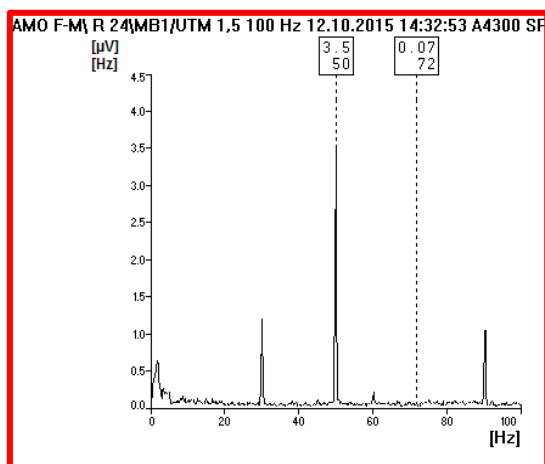
Obr. č. 10.: Měřící body uzemnění a dotykových napětí na rámu a dveřích transformátoru



Obr. č. 11. : Naměřená hodnota napětí U_{EM} 7,5 mV na frekvenčním rozsahu 72 Hz v bodě MB1 na zemniči.



Obr. č. 12. : Naměřená hodnota dotykového napětí U_{TM} 3,9 μ V na frekvenčním rozsahu 72 Hz v bodě MB1 na zemniči



Obr. č. 12.: Naměřená hodnota dotykového napětí $U_{TM\ 1,5}$ 0,07 μ V na frekvenčním rozsahu 72 Hz v bodě MB1 na zemniči při paralelním připojení odporu 1,5 k Ω ke svorkám datakolektoru. Odpor nahrazuje tělo člověka.

	UEM (V)	UTM (V)	UTM1,5 (V)
MB1	0,050	0,010	0,005
MB2	0,004	0,010	0,005
MB3	0,003	0,073	0,037
MB4	0,004	0,001	0,001
MB5	0,004	0,001	0,001
MB6	0,005	0,001	0,001
MB7	0,004	0,001	0,001
MB8	0,004	0,001	0,001
MB9	0,004	0,001	0,001

MB10	0,005	0,001	0,001
MB11	0,005	0,001	0,001
MB12	0,005	0,002	0,001
MB13	0,005	0,001	0,001
MB14	0,005	0,001	0,001
MB15	0,005	0,001	0,001
MB16	0,005	0,001	0,001
MB17	0,005	0,001	0,001
MB18	0,005	0,001	0,001
MB19	0,005	0,001	0,001
MB20	0,005	0,001	0,001
MB21	0,005	0,001	0,001
MB22	0,005	0,001	0,001
MB23	0,005	0,001	0,001

Tab. č. 1. : Naměřené hodnoty napětí na uzemnění a dotyková napětí

MĚŘICÍ BOD	UMÍSTĚNÍ	R _{ZV} (Ω)	U _{ZV} (V)	U _{TV} (V)	U _{TV1,5} (V)	STAV
MB1	Zemnič bez označení ze zadní strany budovy čerpací stanice	0,008	45,850	13,100	6,550	USPOKOJIVÝ
MB2	Zábradlí rampy u rozvodny R16	0,001	3,668	13,100	6,550	USPOKOJIVÝ
MB3	Mříž pod rampou u rozvodny R16	0,000	2,751	95,630	48,470	USPOKOJIVÝ
MB4	Zemnič 1 na rampě u rozvodny R16	0,001	3,668	1,310	1,310	DOBRÝ
MB5	Vstupní dveře k T2/R16 400 kVA	0,001	3,668	1,310	1,310	DOBRÝ
MB6	Kolejnice T2/R16 400 kVA	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ
MB7	T2/R16 400 kVA	0,001	3,668	1,310	1,310	DOBRÝ
MB8	Konzola nulového bodu v prostoru s T2/R16 400 kVA	0,001	3,668	1,310	1,310	DOBRÝ
MB9	Vstupní dveře k T1/R16 400 kVA	0,001	3,668	1,310	1,310	DOBRÝ
MB10	T1/R16 400 kVA	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ
MB11	Zemnič 2 za rohem rampy	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ
MB12	Zemnič vedle zemniče 2	0,001	4,585	2,620	1,310	DOBRÝ
MB13	Zemnič 4 vedle vstupních dveří do rozvodny R16	0,001	4,585	1,441	1,310	DOBRÝ
MB14	Vstupní dveře do rozvodny R16	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ
MB15	VN rozvaděčové skříně	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ
MB16	Staré NN rozvaděčové skříně	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ

MB17	Nové NN rozvaděčové skříně	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ
MB18	Rozvaděč na zdi u U1/R16	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ
MB19	Krycí plech pod rozvaděčem na zdi u U1/R16	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ
MB20	U1/R16	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ
MB21	Rozvaděč RS16.A.AC	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ
MB22	Vstupní dveře do čerpací stanice u rozvaděče RS16.A.AC	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ
MB23	Poslední zemnič na pravé straně budovy	0,001	4,585	1,310	1,310	DOBRÝ

Tab. č. 2.: Vypočtené hodnoty zemního odporu, napětí na zemniči, dotykového napětí a dotykového napětí při odporu 1,5 kΩ

13 Závěr

Výše popsanou Ohmovou metodou lze věrohodně prověřit stav uzemnění, dotykové napětí a kompaktnost rozsáhlé zemnicí soustavy. Měření je náročné na měřicí techniku, znalost FFT a počty pracovníků, kteří se měření účastní. Počet měřících bodů se pohybuje na jednu rozvodnu od 20 do 125. Je to náročné pro přípravu dokumentace samotné měření, analýzu naměřených hodnot a zpracování protokolu. Z naměřených dat lze jednoznačně poznat v jakém stavu je zemnění dílčích rozvodů a taktéž zda mezi jednotlivými rozvodnami netečou zemi vyrovnávací proudy.

Literatura:

Zemnění a bezpečnost, Jan Osolsobě a Mirko Zapletal, ČSAV, 1956

Měření uzemnění, sborník přednášek, Propag team Trutnov, 1992

ČSN EN 50 522, 12/2011

ČSN 33 2000- 5 -54 ed.3

PNE 33 0000- 1, ed.5

Protokoly o měření firmy HUDECZEK SERVICE, s. r. o., Albrechtice