



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**ZPRACOVÁNÍ METODIKY A PODPORY PRO
VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT UZEMNĚNÍ
STOŽÁRŮ VVN V SOUVISLOSTI S PNE 33 3300-1**

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY AND SUPPORTING TOOL FOR EVALUATION OF
MEASURED VALUES OF HIGH VOLTAGE POLES GROUNDING SYSTEMS ACCORDING TO
STANDARD PNE 33 3300-1

DIPLOMOVÁ PRÁCA

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Frederik Kováč

VEDÚCI PRÁCE

ADVISOR

doc. Ing. Petr Toman, PhD.

BRNO 2020

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Frederik Kováč

ID: 186118

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Zpracování metodiky a podpory pro vyhodnocení naměřených hodnot uzemnění stožárů VVN v souvislosti s PNE 33 3300-1

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Teoretický rozbor problematiky uzemnění
2. Související legislativa a její požadavky
3. Měření odporu uzemnění stožárů
4. Návrh metodiky a její ověření na datech z reálné sítě 110 kV

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 1.6.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

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

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Diplomová práca je zameraná na meranie a vyhodnotenie stavu uzemnenia stožiarov VVN. V teoretickej časti je popísaná teória uzemnenia vrátane súvisiacej legislatívy a účinkov elektrického prúdu na ľudský organizmus, sú tu uvedené metódy merania zemného odporu, rezistivity pôdy a popis dostupných meracích prístrojov. Praktická časť sa zaoberá meraním uzemnenia konkrétnych podperných bodov, postupom pri meraní a následným vyhodnotením z hľadiska ochrany osôb pred nebezpečným dotykovým napätím a účinkov bleskov. Pre vyhodnotenie nameraných dát je vytvorený nástroj v MS Excel. Na záver sú uvedené odporúčania pre zníženie dotykových napätí.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

uzemnenie, zemný odpor, rezistivita pôdy, nárast potenciálu zemniča, stožiare VVN, 4-pólová metóda, Wennerova metóda

ABSTRACT

Diploma thesis is oriented on measuring and evaluation of grounding conditions of HV pylons. In theoretical part is described theory of grounding including related legislation, impact of electric current on human body, methods of measuring earth resistance, soil resistivity and description of available measurers. Practical part is focused on measuring earth resistance of selected pylons and measuring procedures followed by evaluation of measurements according to person's safety from dangerous touch voltage and impact of lightings. For evaluation of measured data is created supporting tool in MS Excel. In the last part of thesis are described recommendations for cutting-down touch voltages.

KEYWORDS

grounding, earth resistance, soil resistivity, earth potential rise, HV pylons, 4-poles method, Wenner method

KOVÁČ, Frederik. *Zpracování metodiky a podpory pro vyhodnocení naměřených hodnot uzemnění stožárů VVN v souvislosti s PNE 33 3300-1*. Brno, 2020, 93 s. Diplomová práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedúci práce: doc. Ing. Petr Toman, PhD.

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému „Zpracování metodiky a podpory pro vyhodnocení naměřených hodnot uzemnění stožárů VVN v souvislosti s PNE 33 3300-1“ som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu diplomovej práce pánovi doc. Ing. Petrovi Tomanovi, Ph.D. za odborné vedenie, rady, konzultácie a podnetné návrhy k práci. Rovnako by som rád poďakoval pánovi Ing. Martinovi Švancarovi z EGÚ HV Laboratory a.s. za poskytnuté konzultácie. Ďalej by som chcel poďakovať pánovi Ing. Miroslavovi Kozákovi zo spoločnosti E.ON Distribuce za poskytnuté výpočty skratových prúdov na požadovaných vedeniach.

Obsah

Zoznam obrázkov	8
Zoznam tabuliek	9
Zoznam symbolov, veličín a skratiek	10
Úvod	12
Cieľ práce	13
1 Teória uzemnenia a súvisiaca legislatíva	14
1.1 Základné pojmy	14
1.2 Legislatíva súvisiaca s uzemnením	17
1.3 Účinky elektrického prúdu na ľudský organizmus	19
1.3.1 Druh prúdu a jeho frekvencia	19
1.3.2 Veľkosť prúdu	19
1.3.3 Dráha prúdu	19
1.3.4 Doba prechodu prúdu	20
1.4 Teória uzemnenia	20
1.4.1 Pologulová elektróda	20
1.4.2 Výpočet odporu zemničov	22
1.5 Uzemňovacie systavy stožiarov VVN	23
1.5.1 Uzemňovanie proti účinkom blesku	24
1.5.2 Uzemňovanie z hľadiska bezpečnosti osôb	24
1.5.3 Kontrola dotykových napätí výpočtom	27
1.5.4 Zriaďovanie zemničov	29
2 Meranie uzemnení	30
2.1 Rezistivita pôdy a jej meranie	30
2.1.1 Wennerove usporiadanie elektród	30
2.1.2 Schlumbergerova metóda	32
2.1.3 Meranie rezistivity pôdy tyčou	33
2.1.4 Korekcia rezistivity pôdy	33
2.2 Meranie zemného odporu a impedancie systému uzemnenia	34
2.2.1 Meranie potenciálového spádu	35
2.2.2 Meranie priebehu potenciálu a dotykového napätia	38
2.2.3 Meranie zemného odporu strojeného zemniča	39
2.2.4 Meranie impedancie systému uzemnenia	40

3	Prístroje na meranie uzemnení stožiarov VVN	41
3.1	CHAUVIN ARNOUX C.A 6472 a C.A 6474	41
3.2	SONEL MRU-200 a ERP-1	43
4	Praktické meranie a vyhodnotenie dát	45
4.1	Meranie uzemnenia	45
4.2	Výpočet a meranie dotkových napätí	49
4.3	Program na vyhodnotenie a generovanie správ o stave uzemnenia	52
5	Opatrenia pre zníženie dotkových napätí	55
5.1	Zníženie hodnoty skratového prúdu	55
5.2	Skrátenie vypínacieho času	55
5.3	Efektívne využitie zemných lán	55
5.4	Zníženie zemného odporu podperného bodu	55
5.5	Obvodové zemniče s riadeným potenciálom	56
5.6	Povrchová vrstva s vysokou rezistivitou	57
5.7	Zabránenie prístupu k podpernému bodu	57
	Záver	58
	Literatúra	60
A	Obrázkové prílohy	62
B	Tabuľkové prílohy	66
C	Revízne správy z meraní	67
C.1	PB č.2 - V1356/V1357	67
C.2	PB č.2 - V1357	69
C.3	PB č.2 - V1381/1382	71
C.4	PB č.5 - V1360/1383/V1380	73
C.5	PB č.6 - V1360/1383/V1380	75
C.6	PB č.7 - V1360/1383/V1380	78
C.7	PB č.1 - V1380/V1384	80
C.8	PB č.2 - V1380/V1384	82
C.9	PB č.13 - V1380/V1384	84
C.10	PB č.14 - V1380/V1384	86
C.11	PB č.16 - V1380/V1384	89
D	Príklad výpočtu skratových prúdov	92

Zoznam obrázkov

1.1	Dovolené dotykové napätia [6]	15
1.2	Priebeh potenciálu povrchu a napätia zemničov vedúcich prúd [6]	16
1.3	Účinok elektrického prúdu v závislosti na dobe jeho pôsobenia [2]	20
1.4	Pologuľová elektróda [3]	21
1.5	Výpočet dovoleného dotykového napätia [11]	25
1.6	Príklady medzi dotykových napätí [11]	26
1.7	Zemnič pre vyrovnanie potenciálu [3]	29
2.1	Meranie rezistivity pôdy Wennerovou metódou [3]	31
2.2	Meranie rezistivity pôdy Schlumbergerovou metódou [7]	32
2.3	Závislosť činiteľa K na ročnom období [4]	34
2.4	Základná 4-pólová metóda [12]	36
2.5	4-pólová metóda 62 percent [12]	37
2.6	3-pólová metóda 62 percent [12]	37
2.7	Pasívna metóda [12]	38
2.8	Meranie priebehu potenciálu [13]	39
3.1	Meracie prístroje C.A 6474 (vľavo) a C.A 6472 (vpravo) [15]	42
3.2	Pripojenie prístrojov C.A. 6472, 6474 pri meraní 4p základnou metódou [15]	42
3.3	Meracie prístroje Sonel MRU-200 (vľavo)[16] a ERP-1 (vpravo)[17]	43
3.4	Názorné zapojenie obvodu pri meraní zemného odporu s prístrojom Sonel MRU-200 a ERP-1 [19]	44
4.1	PB č.6 - V1360/V1383/V1380	45
4.2	Zapojenie meracích prístrojov (ilustračný obrázok)	46
4.3	Zemný odpor R_t a impedancia systému Z_E v závislosti na frekvencii f	48
4.4	Vzťah medzi rezistivitou pôdy a zemným odporom [12]	49
4.5	Priebeh potenciálového spádu na zemniči	51
4.6	Užívateľské prostredie, záložka „Vstupní údaje“	52
4.7	Užívateľské prostredie, záložka „Naměřené hodnoty“	53
4.8	Užívateľské prostredie, záložka „Vypočtené hodnoty“	54
5.1	Návrh strojených zemničov pre $R_t < 15 \Omega$ pre rezistivitu pôdy 150 - 250 $\Omega \cdot m$ [12]	56
5.2	Návrh obvodového zemniča pre rezistivitu pôdy do 250 $\Omega \cdot m$ [12]	56
A.1	Popis prednej časti prístroja C.A. 6472[13]	62
A.2	Popis prednej časti prístroja C.A. 6474[14]	63
A.3	Popis prednej časti prístroja Sonel MRU-200[18]	64
A.4	Popis prednej časti prístroja Sonel ERP-1[19]	65

Zoznam tabuliek

1.1	Výpočet zemného odporu jednoduchých zemničov [3]	22
1.2	Odporúčané hodnoty parametra a_{eq} [12]	28
2.1	Rezistivity pôdy pre kmitočty striedavého prúdu [6]	30
2.2	Koeficient n v závislosti na pomere a/h .	31
2.3	Koeficient k v závislosti na λ a d .	33
4.1	Namerané hodnoty PB č.6 (V1360/V1383/V1380)	47
4.2	Namerané hodnoty zemného odporu PB č.6 (V1360/V1383/V1380)	47
4.3	Namerané hodnoty impedancie systému PB č.6 (V1360/V1383/V1380)	47
4.4	Namerané hodnoty rezistivity pôdy	48
4.5	Namerané a vypočítané hodnoty potenciálového spádu	51
B.1	Celková impedancia tela Z_B v závislosti na dotykovom napätí U_T pre prúdovú dráhu ruka-ruka alebo ruka-noha [11]	66
B.2	Hodnoty dovoleného dotykového napätia U_{Tp} v ako funkcia trvania poruchy [11]	66
B.3	Korekcia merania rezistivity na ročné obdobie a zrážky [12]	66

Zoznam symbolov, veličín a skratiek

E	Intenzita elektrického poľa	$V \cdot m^{-1}$
D	Ekvivalentný priemer	m
I	Elektrický prúd	A
I_B	Prúd tečúci ľudským telom	A
I_{H-E}	Prúd skúšobného zdroja pri meraní zemného odporu	A
I_t	Prúd tečúci do zeme behom poruchy	A
I_m	Prúd injektovaný zo skúšobného zdroja napätia	A
I_k	Jednofázový skratový prúd	A
I_{SEL}	Prúd tečúci do zeme pri meraní zemného odporu	A
J	Prúdová hustota	$A \cdot m^{-2}$
R	Odpor, zemný odpor	Ω
R_a	Celkový prídavný odpor	Ω
R_{a1}	Prídavný odpor obuci	Ω
R_{a2}	Prídavný odpor stanovišťa voči zemi	Ω
R_H	Odpor prúdovej elektródy	Ω
R_{Pass}	Zemný odpor pri meraní pasívnou metódou	Ω
R_S	Odpor napätovej elektródy	Ω
R_t	Celkový zemný odpor podperného bodu	Ω
U_0	Celkový potenciál elektródy	V
U_d	Napätie na päte podperného bodu	V
U_D	Dovolené dotykové napätie s ohľadom na prídavné odpory	V
U_E	Nárast potenciálu zemniča	V
U_{H-E}	Napätie skúšobného zdroja pri meraní zemného odporu	V
U_T	Skutočné dotykové napätie	V
U_{Tp}	Dovolené dotykové napätie	V
U_{vT}	Predpokladané dotykové napätie	V
U_{vS}, U_k	Krokové napätie	V
U_{S-ES}	Napätie na elektróde S voči zemi	V
U_{kmax}	Maximálne krokové napätie	V
U_x	Napätie na stožiarovej konštrukcii voči zemi vo vzdialenosti x	V
Z_B	Impedancia ľudského tela	Ω
Z_E	Impedancia systému uzemnenia	Ω
Z_S	Impedancia zemných lán v jednom rozpätí	Ω
a	Vzdialenosť elektród pri meraní Wennerovou metódou	m
a_{eq}	Náhradný polomer stožiaru	-
d	Priemer, vzdialenosť elektródy S od stožiarovej konštrukcie	m
f	Kmitočet prúdu	Hz

h	Hĺbka	m
k	Koeficient závislý na λ a d	-
l	Dĺžka	m
l_H	Vzdialenosť prúdovej elektródy od stožiarovej konštrukcie	m
l_S	Vzdialenosť napäťovej elektródy od stožiarovej konštrukcie	m
n	Počet zemniacich tyčí/paprskov	-
r	Polomer, redukčný činiteľ zemných lán	m, -
s	Dĺžka kroku	m
t_F	Čas vypnutia poruchy	s
u_r	Relatívny potenciál	-
u_{rx}	Relatívny potenciál vo vzdialenosti x metrov	-
w	Činiteľ pravdepodobnosti súčasného pôsobenia zdrojov skratového prúdu	-
η_x	Koeficienty využitia zemničov	-
λ	Vzdialenosť napäťových elektród od stredu merania	m
ρ_E	Elektrická rezistivita pôdy	$\Omega \cdot m$
φ	Potenciál povrchu zeme	V
ČSN	Česká technická norma	
ČSRES	České sdružení regulovaných elektroenergetických spoločností	
E	Prúdová zemná elektróda	
ES	Napäťová zemná elektróda	
NN	Nízke napätie	
PB	Podperný bod	
H	Prúdová elektróda	
PNE	Podniková norma energetiky	
PB	Podperný bod	
S	Napäťová elektróda	
VN	Vysoké napätie	
VVN	Veľmi vysoké napätie	

Úvod

Uzemnenie je v súčasnosti základný prvok prevádzkovej bezpečnosti na všetkých napätových hladinách. Problematika uzemňovania je široký obor bezprostredne súvisiaci nielen s ochranou osôb pred úrazom elektrickým prúdom, ale aj ochranou elektrických zariadení a ochranou majetku. V posledných desaťročiach sa na bezpečnosť kladie stále vyšší a vyšší dôraz, čo sa prejavuje v zmenách a rozširovaním súvisiacej legislatívy a teda aj konkrétnych požiadaviek na uzemnenie. To je aj jedným z podnetov na vznik tejto diplomovej práce v súvislosti s normou PNE 33 3300-1.

Cieľ práce

Cieľom diplomovej práce je vypracovať teoretický podklad pre meranie a vyhodnotenie nameraných hodnôt uzemnení stožiarov VVN a súčasne praktické overenie meraní.

V tejto práci budú zadané základné pojmy z problematiky uzemnenia, popísané účinky elektrického prúdu na ľudský organizmus, predstavená legislatíva súvisiaca s uzemnením a popísané základné princípy pre návrh vyhovujúceho uzemnenia.

Súčasťou teoretickej časti budú popísané metódy merania veličín súvisiacich s uzemnením vrátane schém zapojenia, popisu a eliminácie chýb, ktoré sa môžu pri týchto meraniach vyskytovať a stručný popis prístrojov dostupných v spoločnosti E.ON Distribuce určených na meranie týchto veličín.

Praktickou časťou a zároveň hlavnou náplňou práce budú merania uzemnení podperných bodov VVN na základe popísaných metód a vytvorenie nástroja v prostredí Microsoft Excel pre vyhodnotenie a generovanie správ o stave meraných uzemnení.

1 Teória uzemnenia a súvisiaca legislatíva

Uzemňovanie elektrických zariadení a inštalácií sa zriaďuje z hľadiska ochrany pred úrazom elektrickým prúdom s ohľadom na dovolené dotykové a krokové napätia, a ochrany týchto zariadení a inštalácií pred poškodením. V nasledujúcej kapitole je stručne rozobratý teoretický úvod k danej problematike a typické prevedenia uzemnení.

1.1 Základné pojmy

Uzemnením sa rozumie úmyselné spojenie častí elektrických inštalácií, zariadení alebo vodivých predmetov v ich blízkosti s potenciálom zeme.

Účelom uzemnenia je:

- udržiavať na potenciále zeme nejakú časť elektrického obvodu,
- umožňovať funkciu elektrických strojov, prístrojov a zariadení alebo im napomáhať,
- chrániť elektrické stroje, prístroje a zariadenia pred účinkami prepätí a veľkých prúdov,
- zviešťať atmosférické prúdy a obmedziť atmosférické prepätia. [1]

Rozoznávame pracovné a ochranné uzemnenie.

Pracovné uzemnenie: trvalé alebo prechodné spojenie so zemou častí elektrického zariadenia, ktoré patrí k prúdovému obvodu a má sa ním zabrániť škodlivému nárastu napätia alebo prepätia; je to napr. uzemnenie uzla zdroja, uzemnenie nulového vodiča v sieti, uzemnenie na ochranu pred prepätím a pod. [1]

Ochranné uzemnenie: spojenie so zemou tých častí, ktoré sú za normálnej prevádzky spravidla bez napätia, ale sú v blízkosti častí s napätím, čím sa má zabrániť, aby na nich nevzniklo životu nebezpečné napätie - je to uzemnenie neživých častí na ochranu pred dotykom. [1]

Miestna zem: časť Zeme, ktorá je v elektrickom kontakte so zemničom a jej elektrický potenciál nemusí byť rovný nule. [6]

Referenčná (vzdialená) zem: časť Zeme, ktorá je považovaná za vodivú mimo oblasť vplyvu príslušnej uzemňovacej sústavy a jej elektrický potenciál je považovaný za rovný nule. [6]

Zemnič: vodivá časť, ktorá je vo vodivom styku so Zemou a ktorá môže byť uložená v danom vodivom prostredí. [6] Zemniče rozlišujeme na:

- Náhodné - kovové predmety veľkých rozmerov uložené v zemi alebo sa jej dobre dotýkajú veľkou plochou, tzn. ich zemný odpor je malý (kovové vodovody, oceľové konštrukcie pod zemou, plášte káblov, koľaje železnice a pod.)

- Strojené - kovové predmety účelovo využívané ako zemniče (trubky, tyče, pásky, drôty a pod.) [1]

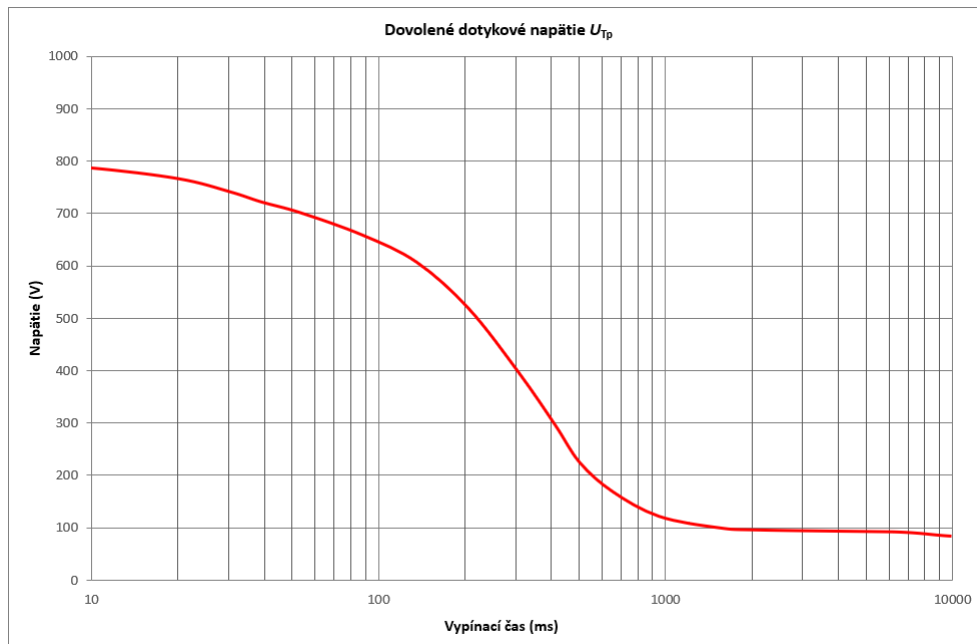
Uzemňovacia sústava: súhrn navzájom vodivo spojených zemničov vrátane uzemňovacích prívodov (spojovacím vedením medzi zemničom a uzemnenou časťou). [1]

Globálna uzemňovacia sústava: vytvorená prepojením miestnych uzemňovacích sústav, ktorej výsledný odpor je veľmi nízky a pri pripojení na túto sústavu sa tam nevyskytujú nebezpečné dotykové napätia. Spravidla ide o uzemňovacie siete v centrách miest, urbanistické alebo priemyselné oblasti. [6]

Dotykové napätie:

- skutočné - U_T - napätie medzi dvomi vodivými časťami, ak sa ich človek dotýka súčasne,
- predpokladané - U_{vT} - napätie medzi súčasne prístupnými vodivými časťami, ak sa ich nikto nedotýka. [6]

V tejto práci budeme dotykové napätie označovať U_d . Ide o napätie medzi miestom dotyku na stožiarovej konštrukcii a zemou v horizontálnej vzdialenosti 1 meter.



Obr. 1.1: Dovolené dotykové napätia [6]

Na Obr. 1.1 je zobrazený priebeh dovoleného dotykového napätia v závislosti na čase vypnutia poruchy. Pri dobe trvania poruchy výrazne dlhšej ako je 10 s, možno používať veľkosť dovoleného dotykového napätia $U_{Tp} = 80$ V. [6] Dovolené dotykové napätie súvisí s veľkosťou a dobou prechodu prúdu ľudským telom, ktorý spôsobuje fibriláciu srdčej komory (Obr. 1.3). Daná krivka bola vypočítaná pre

pravdepodobnosť fibrilácií 5% s dráhou prúdu ruka - obe nohy. Do tohto výpočtu vstupuje aj impedancia tela, ktorá je závislá na skutočnom dotykovom napätí, preto bol pre výpočet zvolený iteračný proces. [11]

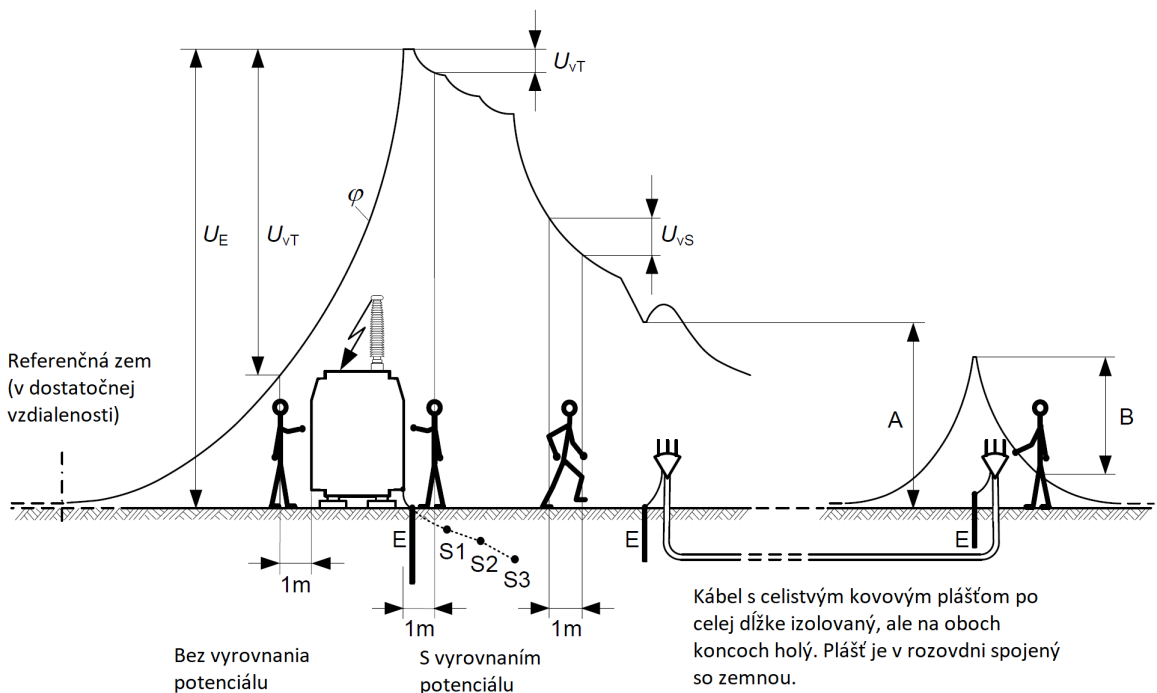
Krokové napätie: U_{vS} , napätie medzi dvoma miestami na zemi vzdialených od seba 1 meter.

Zemnič na vyrovnanie potenciálu: vodič, ktorý sa svojím usporiadaním a uložením v zemi používa hlavne na vyrovnanie (rozloženie potenciálu). Príkladom sú sústredné ekvipotencionálne kruhy s klesajúcou hĺbkou.

Na Obr. 1.2 je zobrazený príklad priebehu potenciálu a napätí zemničov, kde je:

- E zemnič,
- S1, S2, S3 zemniče pre rozloženie potenciálu,
- U_E nárast potenciálu zemniča,
- φ potenciál povrchu zeme,
- A, B prenesené potenciály. [6]

Je vidieť vplyv zemničov na vyrovnanie potenciálu, kedy tieto zemniče redukujú potenciálový spád a tým zabezpečia nižšie dotykové a krokové napätie.



Obr. 1.2: Priebeh potenciálu povrchu a napätia zemničov vedúcich prúd [6]

1.2 Legislatíva súvisiaca s uzemnením

Požiadavky na uzemnenie elektrických zariadení vychádzajú z viacerých noriem ČSN a PNE. Normy ČSN tvorí a vydáva *Úrad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví*. Sú označené 6 miestym kódom, kde prvé dvojčíslenie udáva hospodársku oblasť. V prípade prevzatých noriem sa zachováva ich číselné označenie, pred ktoré sa udáva skratka ČSN (napr. ČSN EN 50522).

Podnikové normy energetiky sú nižším stupňom noriem v oblasti prenosu a distribúcie elektriny, vychádzajú väčšinou z noriem ČSN a vhodne ich dopĺňajú. Normy sú tvorené a schvaľované distribučnými spoločnosťami a spoločnosťou ČEPS združených v ČSRES, prípadne ďalšími. Tieto organizácie ich prijímajú do svojich vnútorných predpisov. Normy PNE sú spravidla prísnejšieho charakteru ako normy ČSN.

V tejto kapitole sú popísané najdôležitejšie normy ČSN a PNE, ktoré riešia problematiku uzemnenia. V zozname sú zahrnuté aj normy pre nízke napätie, pretože sa na ne často odkazujú ďalšie normy určené pre zariadenia VN a VVN.

ČSN EN 61140 ED.3: Ochrana před úrazem elektrickým proudem - Společná hlediska pro instalaci a zařízení Táto norma platí pre ochranu osôb a zvierat pred úrazom elektrickým prúdom. Je určená pre poskytnutie základných princípov a požiadaviek spoločných pre elektrické inštalácie, siete a zariadenia, a to bez obmedzenia veľkosti napätia, prúdu a druhu prúdu s kmitočtom do 1000 Hz. Nie je určená k tomu, aby bola používaná ako samostatná norma.

ČSN 33 2000-4-41 ed. 3: Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem Norma špecifikuje základné požiadavky týkajúce sa ochrany pred úrazom elektrickým prúdom, vrátane základnej ochrany a ochrany pri poruche, osôb a hospodárskych zvierat.

ČSN 33 2000-5-54 ed. 3: Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče Norma je určená pre zriaďovanie uzemnenia a pre ochranné vodiče vrátane vodičov ochranného pospojovania tak, aby bola elektrická inštalácia bezpečná. Je zameraná na prevedenie uzemnenia a pospojovania v objektoch a priestoroch s elektrickými inštaláciami.

ČSN EN 50522: Uzemňování elektrických instalací AC nad 1 kV Norma uvádza požiadavky na návrh a prevedenie uzemňovacích sústav elektrických inštalácií AC nad 1 kV s kmitočtom do 60 Hz tak, aby bola zabezpečená bezpečnosť a správna funkcia. [6]

PNE 33 0000-1 ed.6.: Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě. Norma sa zaoberá základnými požiadavkami na bezpečnosť, ochranou pred úrazom elektrickým prúdom, stupňami ochrán neživých častí rozvodných elektrických zariadení, uzemnením a ochrannými vodičmi, meraním a skúšaním týchto ochrán. [7]

PNE 33 0000-4 ed.4.: Příklady výpočtů uzemňovacích soustav v distribuční a přenosové soustavě dodavatele elektřiny. Norma uvádza príklady výpočtu jednoduchých uzemňovacích sústav staníc distribučnej/prenosovej sústavy a vonkajších vedení VN, VVN a ZVN, vychádzajúce z požiadaviek dimenzovania na tepelnú odolnosť a bezpečnosť osôb pri poruchách v sieti alebo zariadení VN a VVN staníc distribučnej/prenosovej sústavy. [8]

PNE 33 3301 ed.4.: Uzemnění vedení vn a DTS vn/nn. Norma odporúča medzné hodnoty parametrov uzemnenia, obsahuje metodické postupy pre ich presné meranie a dáva odporúčania pre návrh strojených zemničov podperných bodov distribučných sietí s ohľadom na bezpečné dotykové napätia. [9]

PNE 33 3301-1 ed.1.: Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně. Norma obsahuje spôsob a určenie klimatických zaťažení prvkov vonkajších vedení a medzné stavy, stanovuje minimálne vnútorné a vonkajšie vzdialenosti medzi vodičmi, vedeniami a objektami. Určuje dimenzovanie podperných bodov a základné požiadavky na mechanické, elektrické a materiálové parametre jednotlivých prvkov vonkajších vedení. Kapitola 6 sa venuje uzemňovacím sústavám, ich dimenzovaniu z hľadiska na koróznú odolnosť a mechanickú pevnosť, tepelnú odolnosť a bezpečnosť osôb. [10]

PNE 33 3300 ed.2.: Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV. Norma sa venuje stavbe elektrických vedení nad AC 45 kV a s tým súvisiacou problematikou. Uzemňovacím sústavám podperných bodov nad AC 45 kV sa venuje kapitola 6. [11]

PNE 33 3300-1: Metodika měření a vyhodnocování uzemnění venkovních vedení vvn a zvn. Norma sa zaoberá kontrolou správnej funkcie uzemnenia stožiarových konštrukcií meraním, meraním rezistivity pôdy pre správny návrh strojených zemničov projektovaných vedení, kontrolným výpočtom dotykových napätí a doporučením pre návrh zemničov. [12]

1.3 Účinky elektrického prúdu na ľudský organizmus

Podľa [2] závisí účinok elektrického prúdu na:

- druhu prúdu a jeho frekvencie,
- veľkosti prúdu,
- dráhe prúdu,
- dobe prechodu prúdu.

1.3.1 Druh prúdu a jeho frekvencia

Vo všeobecnosti možno tvrdiť, že jednosmerný prúd je menej nebezpečný ako prúd striedavý. Oba tieto prúdy spôsobujú rozklad krvi a svalové kŕče. Striedavý prúd spôsobuje navyše fibriláciu srdечných komôr, čo je dané používanou frekvenciou 50 Hz. Prechod tohto prúdu interferuje so srdечným tepom, ktorý je bežne okolo 70 úderov za minútu. Srdce sa snaží prispôbiť frekvencii prechádzajúceho prúdu a udierať 50 krát za sekundu, čo spôsobí fibriláciu - chvenie srdечných komôr až zástavu srdca v konečnom dôsledku. [2]

1.3.2 Veľkosť prúdu

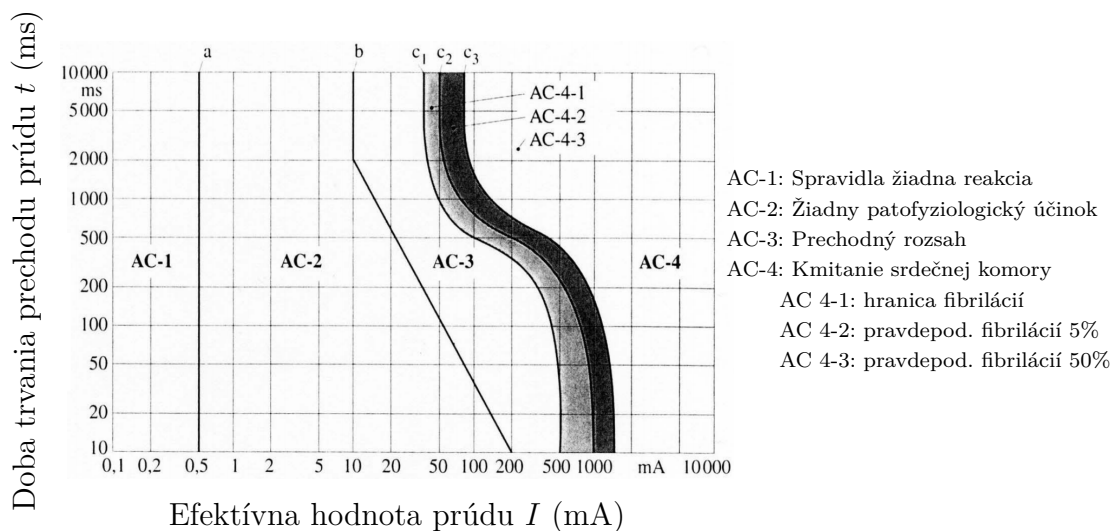
Účinok el. prúdu na ľudský organizmus je priamo úmerný jeho veľkosti.

0,5 - 1 mA	prah vnímania,
1 - 8 mA	podráždenie v nervoch, stúpanie krvného tlaku,
6 - 15 mA	tetanické kŕče, človek sa nemôže uvoľniť,
25 mA	tetanické kŕče dýchacieho svalstva,
60 mA	fibrilácia srdcovej komory, prechodná zástava srdca,
80 mA	spravidla trvalá zástava srdca. [2]

Veľkosť prechádzajúceho prúdu človekom závisí od impedancie ľudského tela a dotykového resp. krokového napätia. Impedancia závisí na viacerých faktoroch (dotykové napätie, dráha prechodu prúdu) a pohybuje sa v rozmedzí 500 - 10000 Ω .

1.3.3 Dráha prúdu

Dôležitým hľadiskom je taktiež dráha prúdu. Najnebezpečnejšie sú dráhy, ktoré zasahujú srdce alebo mozog (ruka - ruka, ľavá ruka - pravá noha, ľavá ruka - ľavá noha). [2]



Obr. 1.3: Účinok elektrického prúdu v závislosti na dobe jeho pôsobenia [2]

1.3.4 Doba prechodu prúdu

Ak prechod prúdu ľudským telom trvá 0,8 sekundy a viac, zasiahne minimálne jedenkrát vulnerabilnú fázu srdcovej činnosti, kedy je srdce mimoriadne náchylné na zástavu. So znižujúcim sa časom, pravdepodobnosť zásahu tejto fázy klesá.[2] Na Obr. 1.3 sú zobrazené zóny vplyvu prechodu striedavého elektrického prúdu na činnosť srdca v závislosti na čase pôsobiaceho prúdu.

1.4 Teória uzemnenia

1.4.1 Pologuľová elektróda

Pologuľová elektróda je najjednoduchší zemnič z hľadiska odvedenia vzťahov pre výpočet zemného odporu, priebehu potenciálového spádu a výsledného dotykového a krokového napätia. V praxi sa tento zemnič nepoužíva, spravidla sa ale pologuľou nahrádzajú sústredené objemové zemniče nepravidelného tvaru, ako päta stožiaru a pod. [1]

Predpokladáme pologuľovú elektródu zapustenú v zemi. Ak odteká povrchom tejto pologule do zeme prúd I , je v zemi vo vzdialenosti x od stredu elektródy prúdová hustota

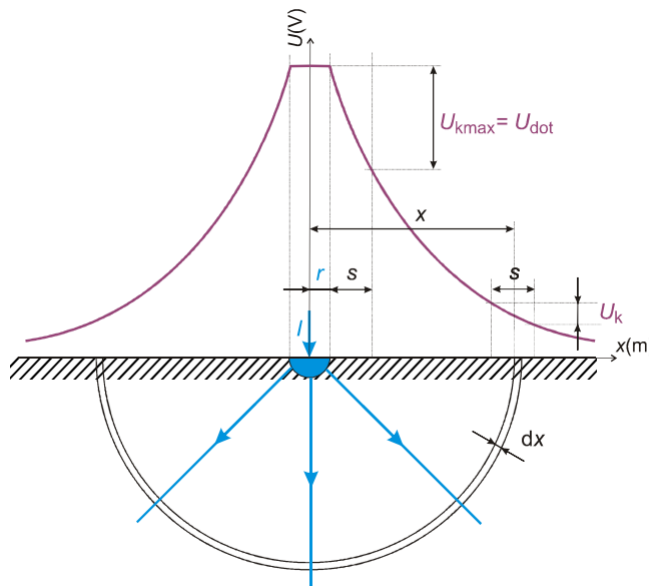
$$J = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot x^2}, \quad (1.1)$$

a intenzita elektrického poľa v mieste x kde ρ_E je rezistivita pôdy

$$E = \rho_E \cdot J = \frac{\rho_E \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot x^2} \quad (1.2)$$

bude napätie medzi povrchom elektródy s polomerom r vo vzdialenosti x

$$U = \int_a^x E \cdot dx = \frac{\rho_E \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \int_r^x \frac{dx}{x^2} = \frac{\rho_E \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{x} \right). \quad (1.3)$$



Obr. 1.4: Pologuľová elektróda [3]

Na Obr. 1.4 je pologuľová elektróda, z ktorej odteká do zeme prúd I so zobrazeným priebehom napätia v závislosti na vzdialenosti x . Ak dosadíme do rovnice za $x = \infty$, dostaneme celkový potenciál elektródy

$$U_0 = \frac{\rho_E \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}, \quad (1.4)$$

odkiaľ môžeme vyjadriť odpor kladený prúdu, ktorý vyteká z pologule (zemný odpor pologule)

$$R = \frac{U_0}{I} = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot r}. \quad (1.5)$$

Integráciou intenzity elektrického poľa dostaneme veľkosť krokového napätia vo vzdialenosti x s dĺžkou kroku s :

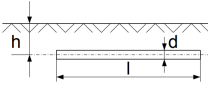
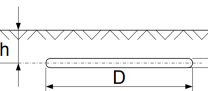
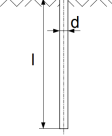
$$U_k = \int_{x-\frac{s}{2}}^{x+\frac{s}{2}} E \cdot dx = \frac{\rho_E \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{x-\frac{s}{2}}^{x+\frac{s}{2}} \frac{dx}{x^2} = \frac{\rho_E \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{x-\frac{s}{2}} - \frac{1}{x+\frac{s}{2}} \right) \quad (1.6)$$

Maximálne krokové napätie je vo vzdialenosti $x = r + s/2$ od stredu zemniča, ak za dĺžku kroku dosadíme $s = 1\text{m}$, dostaneme maximálne krokové napätie:

$$U_{k\max} = \frac{\rho_E \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{r^2 + s \cdot r}. \quad (1.7)$$

1.4.2 Výpočet odporu zemničů

Pre jednoduché zemniče boli odvodené vzťahy pre výpočet zemného odporu uvedené v Tab. 1.1. U páskového zemniča označuje d polovicu jeho šírky. V prípade obvodového zemniča nekruhového tvaru sa podľa jeho dĺžky prevedie na ekvivalentný kruhový tvar a vypočíta podľa vzťahu pre vodič v kruhu.

Typ zemniča	Uloženie	Zemný odpor (Ω)	Podmienky použitia
Páskový alebo drátový vodič		$R = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \ln \frac{l}{2 \cdot h} \right)$	$l \gg d$ $h \ll l/4$
Páskový alebo drátový vodič v kruhu		$R = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi^2 \cdot D} \cdot \left(\ln \frac{8 \cdot D}{d} + \ln \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot h} \right)$	$D \gg d$ $h \ll D/4$
Tyč		$R = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d}$	$l \gg d$

Tab. 1.1: Výpočet zemného odporu jednoduchých zemničů [3]

Pre výpočet paprskového zemniča pozostávajúceho z počtu n paprskov platí podľa [8] vzťah:

$$R = \frac{R_1}{n \cdot \eta_{pn}} \quad (1.8)$$

kde R_1 odpor jedného paprsku vypočítaný podľa Tab. 1.1,
 η_{pn} koeficient využitia paprskov a nadobúda nasledujúce hodnoty:

n	η_{pn}	Uhol medzi paprskami
2	0,87	180°
3	0,78	135° medzi 1. a 2. paprskom, 90° medzi 2. a 3
4	0,71	90°

Sústava tyčových zemničů spojených páskovým alebo drátovým zemničom:

$$R = \frac{1}{\frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot n}{R_1} + \frac{1}{R_0}}, \quad (1.9)$$

kde n počet tyčí,

- η_1 koeficient využitia tyčí (dohľadateľný v [8]),
- η_2 koeficient využitia sústavy tyčí a spojovacieho páska, v praxi $\eta_2 = 0,9$,
- R_1 zemný odpor tyče vypočítaný podľa Tab. 1.1,
- R_0 zemný odpor spojovacieho páska vypočítaný podľa Tab. 1.1.[4]

Zemný odpor veľkej mrežovej uzemňovacej siete sa vypočíta ako súčet odporu plnej dosky s ekvivalentným priemerom d a zväčšenia odporu oproti plnej doske pri rôznej hustote uzemňovacej siete:

$$R = \frac{\rho_E}{2 \cdot d} + \frac{\rho_E}{l}, \quad (1.10)$$

kde l je celková dĺžka zemniacich páskov v sústave.[1]

Zemný odpor viacnásobných obvodoých zemničov sa vypočíta ako paralelná kombinácia dielčích odporov podelený príslušnými koeficientami využitia. Zemný odpor dvojitého obvodoého zemniča vypočítame podľa vzťahu:

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{\eta_{12}}, \quad (1.11)$$

kde η_{12} koeficient využitia dielčích uzemnení, [8] odporúča hodnotu 0,7,
 R_1, R_2 sú zemné odpory ekvivalentných kruhových zemničov vypočítané podľa Tab. 1.1.

V prípade trojitého obvodoého zemniča platí obdobný vzorec:

$$R_{123} = \frac{R_{12} \cdot R_3}{R_{12} + R_3} \cdot \frac{1}{\eta_{123}}, \quad (1.12)$$

kde η_{123} koeficient využitia dielčích uzemnení, [8] odporúča hodnotu 0,65.

1.5 Uzemňovacie sústavy stožiarov VVN

V tejto kapitole sú popísané základné požiadavky na dimenzovanie uzemňovacích sústav podperných bodov VVN a postupy výpočtov dotykových napätí. Text je zameraný na vedenie 110 kV. Návrh musí spĺňať nasledujúce požiadavky:

- zaistiť mechanickú pevnosť a koróznú odolnosť zemničov,
- zaistiť odolnosť z hľadiska dovoleného oteplenia,
- zaistiť bezpečnosť osôb z hľadiska na krokové a dotykové napätia,
- zabrániť škodám na majetku a zariadeniach. [11]

Parametre rozhodujúce pri dimenzovaní uzemňovacích sústav sú:

- veľkosť a doba trvania poruchového prúdu,
- vlastnosti pôdy. [11]

Pre potreby tejto diplomovej práce sa budeme ďalej zaoberať len uzemnením z hľadiska účinku blesku a bezpečnosti osôb.

1.5.1 Uzemňovanie proti účinkom blesku

Z hľadiska ochrany vodičov pred priamym úderom blesku sa uvažuje ochranný uhol medzi vodorovnými rovinami, v ktorých sú umiestnené fázové vodiče a zemným lanom. Fázové vodiče majú byť umiestnené v priestore vymedzenom týmto uhlom, pre jednoduché a dvojité vedenie 110 kV je to 30°.

Pred spätnými preskokmi sa vedenia chránia pri všetkých celokovových podperných bodoch. Celokovové stožiare v lokalitách s odporom pôdy $\rho_E < 150 \Omega \cdot m$ (100 $\Omega \cdot m$ vo vzdialenosti 800 m pred rozvodňou) sa považujú za spoľahlivo uzemnené svojimi betónovými patkami. Odpory uzemnení jednotlivých podperných bodov 110 kV nemajú prekročiť za ideálnych pôdných podmienok hodnoty:

Oblasť s výskytom bleskov $< 3 \text{ blesky/rok} \cdot \text{km}^2$		Oblasť s výskytom bleskov $> 3 \text{ blesky/rok} \cdot \text{km}^2$	
bežná trasa	do 800 m pred rozvodňou	bežná trasa	do 800 m pred rozvodňou
15 Ω	10 Ω	10 Ω	7 Ω

V nepriaznivých pôdných podmienkach sa pripúšťajú vyššie hodnoty. [11]

1.5.2 Uzemňovanie z hľadiska bezpečnosti osôb

Najdôležitejším parametrom uzemnenia z hľadiska bezpečnosti osôb je hodnota dotykového napätia, ktoré vznikne pri poruche. Uzemnenie musí spĺňať také požiadavky, aby nebolo toto napätie vyššie ako stanovená dovolená hodnota.

Výpočty dovolených dotykových napätí vychádzajú z nasledujúcich predpokladov:

- dráha prúdu z jednej ruky do oboch nôh,
- pravdepodobnosť, že impedancia tela je menšia alebo rovná udávanej hodnote je 50%,
- 5% pravdepodobnosť fibrilácie srdcovej komory (krivka AC 4-2 na Obr. 1.3),
- prídavný odpor obuvi $R_{a1} = 1000 \Omega$, odpor stanovišťa voči zemi $R_{a2} = 1,5 \cdot \rho_E$, kde ρ_E je rezistivita pôdy. [11]

Podľa času vypnutia poruchy t_F sa lineárnou interpoláciou určí dotykové napätie U_{Tp} z Tab. B.2:

$$U_{Tp} = f(t_F), \quad (1.13)$$

a podľa zisteného napätia U_{Tp} sa z Tab. B.1 určí lineárnou interpoláciou impedancia ľudského tela Z_B :

$$Z_B = f(U_{Tp}). \quad (1.14)$$

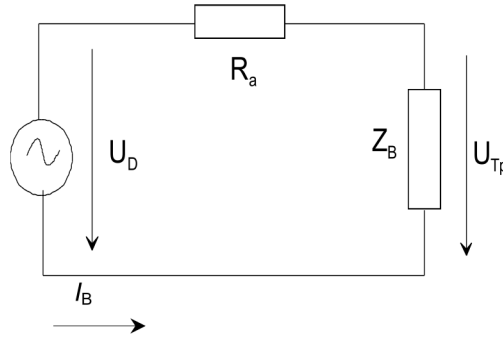
Keďže Tab. B.1 udáva impedanciu pre prúdovú dráhu ruka-ruka alebo ruka-noha, násobíme výslednú hodnotu koeficientom 0,75 pre prúdovú dráhu ruka-obe nohy.

Pre prúd prechádzajúci ľudským telom I_B platí vzťah:

$$I_B = \frac{U_{Tp}}{Z_B}. \quad (1.15)$$

Prídavný odpor R_a je súčet odporu obuvi a odporu stanovišťa voči zemi závislého na rezistivite pôdy:

$$R_a = R_{a1} + R_{a2} = R_{a1} + 1,5 \cdot \rho_E. \quad (1.16)$$



Obr. 1.5: Výpočet dovoleného dotykového napätia [11]

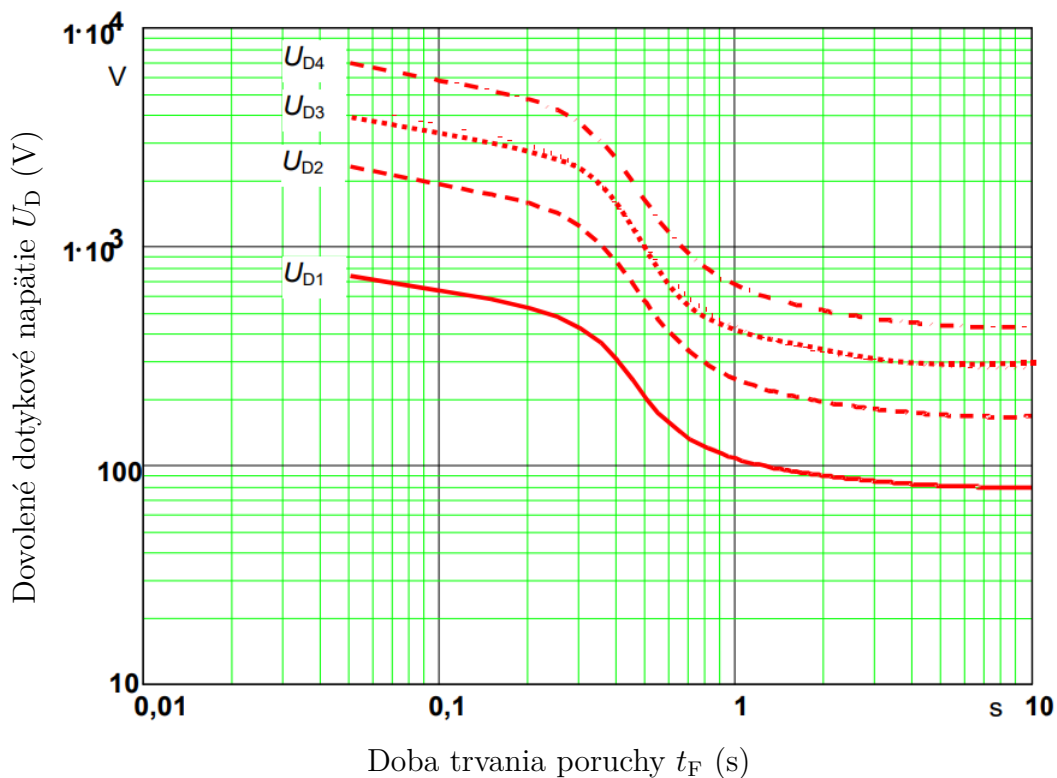
Dovolené dotykové napätie U_D s použitím prídavného odporu R_t sa potom vypočíta podľa Obr.1.5:

$$\begin{aligned} U_D(t_F) &= U_{Tp}(t_F) + R_a \cdot I_B = U_{Tp}(t_F) + R_a \cdot \frac{U_{Tp}(t_F)}{Z_B} \\ &= U_{Tp}(t_F) \cdot \left(1 + \frac{R_{a1} + 1,5 \cdot \rho_E}{Z_B}\right). \end{aligned} \quad (1.17)$$

Na Obr. 1.6 sú vypočítané priebehy dovolených napätí U_{D2} , U_{D3} , U_{D4} ako funkcie času vypnutia pre konkrétne hodnoty prídavných odporov. U_{D1} predstavuje napätie bez prídavných odporov, ktoré sa môže objaviť na ľudskom tele pri dotyku medzi holou rukou a bosou nohou. Táto hodnota je zhodná s priebehom dovoleného dotykového napätia na Obr. 1.1.

Typické miesta zodpovedajúce krivkám $U_{D1} - U_{D4}$:

- U_{D1} - ihriská, plavecké bazény, kempy, rekreačné objekty a pod. kde sa môžu vyskytovať ľudia s bosými nohami, $R_a=0 \Omega$
- U_{D2} - miesta, kde sa predpokladá, že sú ľudia obutí, ako chodníky, verejné cesty, parkoviská a pod. ($\rho_E = 500 \Omega \cdot m$, $R_a = 1750 \Omega$),
- U_{D3} - miesta, kde sa predpokladá, že sú ľudia obutí a rezistivita pôdy je vysoká ($\rho_E = 2000 \Omega \cdot m$, $R_a = 4000 \Omega$),
- U_{D4} - miesta, kde sa predpokladá, že sú ľudia obutí a rezistivita pôdy je veľmi vysoká ($\rho_E = 4000 \Omega \cdot m$, $R_a = 7000 \Omega$).[11]



Obr. 1.6: Príklady medzí dotykových napätí [11]

Pre podperné body VVN sa nemusia kontrolovať dotykové napätia v lokalitách, ktoré nie sú voľne prístupné, resp. výskyt osôb bude zriedkavý a pre miesta, kde platí podmienka

$$U_E < 2 \cdot U_D, \quad (1.18)$$

kde U_E je nárast potenciálu zemniča.

Pri nesplnení tejto podmienky sa vykoná výpočet skutočného dotykového napätia U_d a musí byť splnené kritérium bezpečnosti:

$$U_d < U_D. \quad (1.19)$$

Prísnejšou podmienkou pre miesta často navštevované ľuďmi je splnenie kritéria bezpečnosti (1.19) vždy.[12] Ak toto kritérium nie je splnené, pristupuje sa k nápravným opatreniam popísaných v kapitole 5.

Okolie podperných bodov považované za často navštevované ľuďmi sú miesta nachádzajúce sa vo vzdialenosti menšej ako:

- 10 metrov od okrajov diaľnic, ciest a miestnych komunikácií v nezastavaných priestoroch,
- 50 metrov od sústredenej občianskej a bytovej zástavby,
- 25 metrov od osamelých budov a továrenských objektov mimo sústredenú zástavbu,

- 50 metrov od okraja voľných rekreačných a športových plôch.[11]

1.5.3 Kontrola dotykových napätí výpočtom

Algoritmus, ktorý z nameraných hodnôt R_t , Z_E a ρ_E určí napätie na päte podperného bodu U_d sa nazýva kontrola dotykových napätí výpočtom. Kapitola vychádza z [12]. Tento algoritmus bude následne implementovaný do vyhodnocovacieho nástroja v programe MS Excel, ktorý vygeneruje revíziu správu pre daný podperný bod.

Pre výpočty dotykových napätí je nutné poznať prúd I_t prechádzajúci stožiarovou konštrukciou do zeme. Najpresnejšie určenie prúdu je vytvorením matematického modelu, ktorý bude obsahovať elektrické parametre vedenia, parametre zdrojov skratového prúdu a odpory uzemnenia podperných bodov. Zjednodušene sa tento prúd vypočíta podľa vzťahu:

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot \frac{Z_E}{R_t} \quad (1.20)$$

kde w je súčiniteľ pravdepodobnosti súčasného pôsobenia zdrojov skratového prúdu, volí sa 0,7,
 r je redukčný činiteľ zemných lán,
 I_k je jednofázový skratový prúd,
 Z_E je impedancia systému uzemnenia,
 R_t je zemný odpor podperného bodu.

Redukčný činiteľ zemných lán vypočítame podľa empirického vzťahu z [12] v závislosti na zmeranej rezistivite pôdy ρ_E . Pre vedenie 110 kV s jedným zemným lanom typu AlFe alebo KZL:

$$r = 0,1 + 0,66 \cdot \rho_E^{-0,06}, \quad (1.21)$$

pre vedenie 110 kV s dvomi zemnými lanami:

$$r = -0,05 + 0,66 \cdot \rho_E^{-0,06}. \quad (1.22)$$

Veľkosť redukčného činiteľa je závislá najmä na odpore zemného lana, rezistivite pôdy a vzájomnou vzdialenosťou fázového vodiča a zemného lana. Všeobecne nadobúda hodnoty 0,4 - 0,7. V prípade zemného lana typu Fe sa volí hodnota 0,95. V prípade vedenia bez zemného lana bude mať redukčný činiteľ hodnotu 1.

Nárast potenciálu zemniča potom vypočítame podľa vzťahu:

$$U_E = R_t \cdot I_t. \quad (1.23)$$

Porovnaním vzťahov pre výpočet prúdu tečúceho do zeme a nárastu potenciálu zemniča je viditeľné, že U_E nie je závislý na zemnom odpore podperného bodu, ale na celkovej impedancii systému Z_E .

Pre výpočet dotykového napätia je uvedený vzorec:

$$U_d = \frac{U_E}{1 + a_{eq}}, \quad (1.24)$$

kde a_{eq} je náhradný polomer uzemnenia stožiaru.

Náhradný polomer uzemnenia stožiaru a_{eq} je problematické určiť, pretože je závislý na tvare a hĺbke základu, typu stožiarovej konštrukcie, rezistivite betónu a ovplyvňuje ho aj strojený zemnič. Keďže tieto parametre u mnohých podperných bodov nie je možné zistiť, budeme používať približné odporúčané hodnoty parametra a_{eq} pre dva typy betónového základu z Tab. 1.2. Na základe týchto údajov možno vidieť, že náhradný polomer klesá (dotykové napätie sa zväčšuje) so znižujúcou sa rezistivitou pôdy. Je to spôsobené väčším potenciálovým spádom na rozhraní betón-pôda. Pri vyšších rezistivitách pôdy sa chová betón ako izolácia a náhradný polomer sa zvyšuje (dotykové napätie klesá).

Ďalšou možnosťou je určenie náhradného polomeru pre rôzne geometrie základu a jeho rezistivity uvedené v [12], v prílohe G. Kvôli nemožnosti určenia rezistivity betónu s dostatočnou presnosťou nebudeme tento spôsob používať.

Rezistivita pôdy ρ_E ($\Omega \cdot m$)	Parameter a_{eq} (-)	
	pre betónový základ starší ako 20 rokov	pre betónový základ starý do 20 rokov
20 - 50	0,6 - 0,8	0,4 - 0,5
50 - 100	0,8 - 1,5	0,5 - 0,7
100-150	1,5 - 2,0	0,7 - 1,0
150-250	2,0 - 3,0	1,0 - 1,5
250-500	3,0 - 4,0	1,5 - 2,5
500-1000	4,0 - 5,5	2,5 - 4
1000-2000	5,5 - 8	4 - 6
2000-3000	8 - 10	6 - 8
3000-4000	10 - 11	8 - 9
4000-5000	11 - 12	9 - 10
> 5000	12	10

Tab. 1.2: Odporúčané hodnoty parametra a_{eq} [12]

Hodnoty v Tab. 1.2 a vzorec 1.24 sú aktualizované o dáta poskytnuté EGU HV Laboratory.

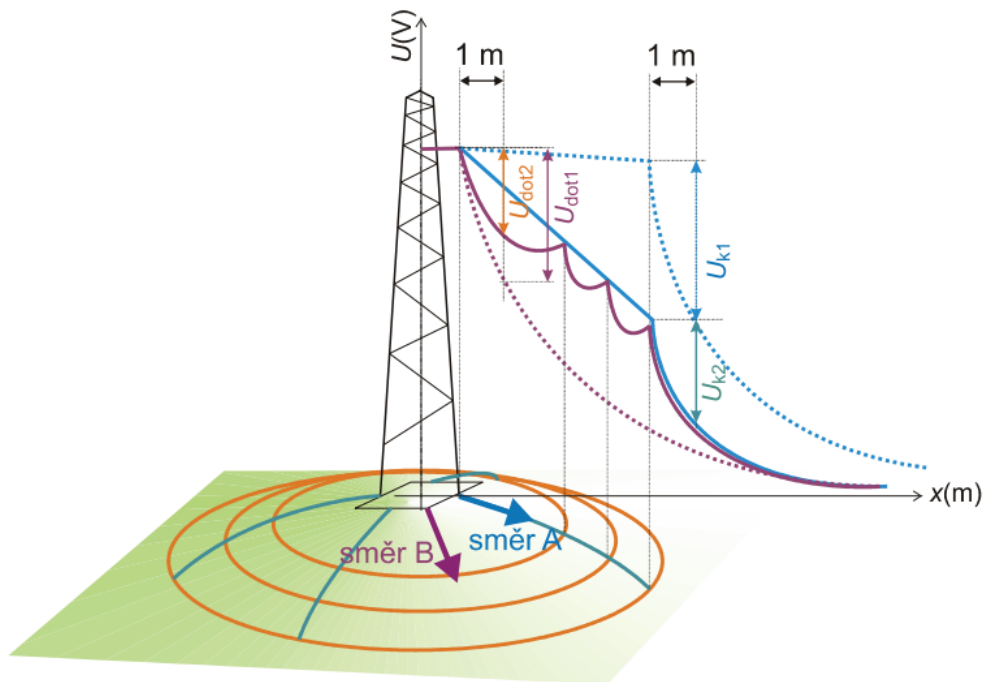
1.5.4 Zriaďovanie zemničov

Uzemňovacia sústava pozostáva zo súboru horizontálnych, vertikálnych alebo šikmých zemničov, môže byť tvorená aj vlastnou konštrukciou stožiaru v zemi. Zemniče majú byť uložené v hĺbke 0,5 - 1 m, aby sa zabezpečila dostatočná mechanická pevnosť a korózna odolnosť, ideálne je umiestnenie pod vrstvou zamrznutej pôdy.

V prípade horizontálnych zemničov sa využívajú paprskové zemniče z páskov FeZn uložené buď v trase vedenia, alebo v paprskoch okolo päty podperného bodu. Zvislé alebo šikmé tyčové zemniče majú byť od seba vzdialené aspoň na dĺžku jednej tyče.

Spojky jednotlivých zemničov musia vyhovovať tepelnej a mechanickej odolnosti ako vlastné zemniče a musia mať rovnakú elektrickú vodivosť. Sústavy zemničov nesmú vytvárať galvanické články spájaním rôznych materiálov.

V prípade oblastí, kde sú prísne požiadavky na nízke dotykové a krokové napätia sa využívajú zemniče na vyrovnanie potenciálu. Ide o 2 až 3 sústredné kruhy umiestnené v klesajúcej hĺbke smerom od podperného bodu spojených páskovým zemničom. Takýto zemnič je zobrazený na Obr. 1.7, kde sú vyznačené priebehy potenciálov pre jednoduchý paprskový zemnič (čiarkovane) a po pridaní troch potenciálových kruhov.



Obr. 1.7: Zemnič pre vyrovnanie potenciálu [3]

2 Meranie uzemnení

2.1 Rezistivita pôdy a jej meranie

Rezistivita pôdy je daná jej typom, hodnota sa ale mení v závislosti od atmosférických podmienok (vlhkosť, teplota). V Tab. 2.1 sú pre orientáciu zobrazené typické hodnoty rezistivity pôdy. Tieto hodnoty majú značný rozptyl a pri dimenzovaní zemničov a zemniacich sústav nie je vhodné s týmito údajmi pracovať, pretože by mohlo byť zemnenie pri vzatí krajných hodnôt predimenzované (vysoká cena) alebo poddimenzované (nevyhovujúci zemný odpor). Preto je výhodné túto veličinu zmerať. [5]

Typ pôdy	Rezistivita pôdy ρ_E ($\Omega \cdot m$)
močiar	5 - 40
hlina, íl, humus	20 - 200
piesok	200 - 2500
štrkopiesok	2000 - 3000
zvetralá skala	väčšinou do 1000
pieskovec	2000 - 3000
žula	do 50 000
moréna	do 30 000

Tab. 2.1: Rezistivity pôdy pre kmitočty striedavého prúdu [6]

Rezistivitu je treba merať v hĺbke, v ktorej bude uložený zemnič. Pre stanovenie rezistivity pôdy pre rozsiahlejšie zemniacie sústavy sú bežné meracie metódy nedostatočné a je nutné určiť strednú rezistivitu do hĺbky porovnateľnej s celkovými rozmermi zemniča (desiatky metrov), čo si vyžaduje pokročilejšie merania jednotlivých vrstiev pôdy. [4] V tejto kapitole budú popísané geoelektrické merania s Wennerovým a Schlumbergerovým usporiadaním elektród a metóda merania tyčou. Existujú aj ďalšie metódy - napr. meranie dlhou tyčou alebo metóda R. J. Owensa dohľadateľné v [1].

2.1.1 Wennerove usporiadanie elektród

Wennerova metóda merania rezistivity pôdy patrí medzi geoelektrické merania pomocou štyroch elektród. Pre štyri elektródy v homogénnej pôde podľa [1] platí vzťah

$$\rho_E = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot R}{1 + \frac{2 \cdot a}{\sqrt{a^2 + 4 \cdot h^2}} - \frac{2 \cdot a}{\sqrt{4 \cdot a^2 + 4 \cdot h^2}}} = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot R}{n}, \quad (2.1)$$

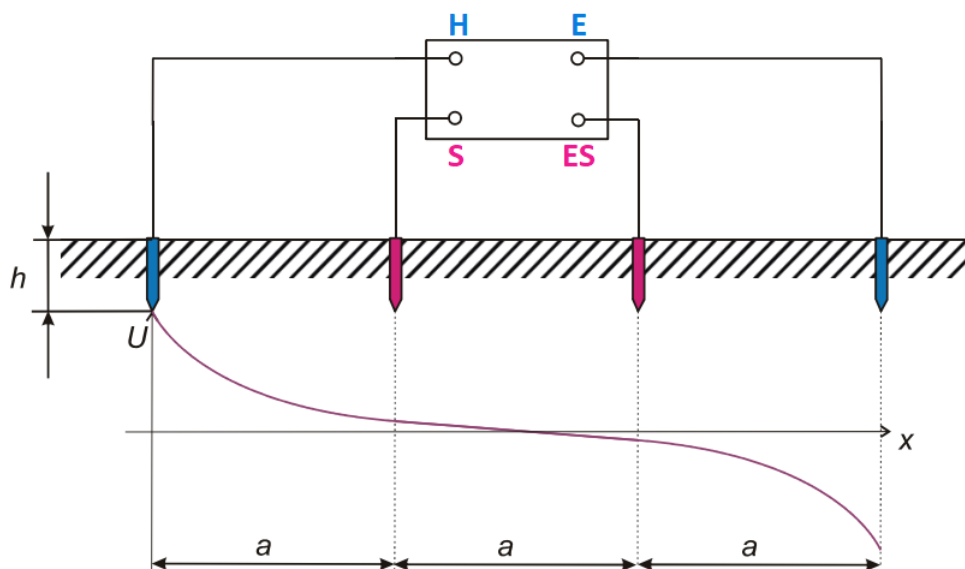
kde R je odpor vypočítaný z úbytku napätia medzi napäťovými elektródami P1, P2 a prúdu medzi prúdovými elektródami C1, C2 (Ω),
 a je vzdialenosť elektród,
 h hĺbka, v ktorej sú elektródy umiestnené,
 n koeficient závislý na pomere a/h .

a/h	1/4	1/2	1	2	5	10	20	>20
n	1	1,04	1,19	1,52	1,88	1,97	1,19	2

Tab. 2.2: Koeficient n v závislosti na pomere a/h .

Z Tab. 2.2 je zrejmé, že ak je vzdialenosť medzi elektródami 20 krát väčšia ako ich hĺbka, môžeme používať zjednodušený vzťah

$$\rho_E = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R. \quad (2.2)$$



Obr. 2.1: Meranie rezistivity pôdy Wennerovou metódou [3]

Ako elektródy sa spravidla používajú tyče s priemerom 15 - 20 mm zarazené v jednej priamke do hĺbky 20 cm, v rozostupe a . Rozostup elektród sa postupne zväčšuje podľa požadovanej hĺbky merania a meranie sa vykoná na niekoľkých miestach. Z toho vypočítame podľa vzťahu 2.1 resp. 2.2 určitú strednú hodnotu rezistivity pôdy - vzťahy teda platia za predpokladu homogénnej pôdy. V nehomogénnych pôdach sú potrebné údaje o vodivosti a šírke jednotlivých vrstiev, z ktorých možno vypočítať ekvivalentnú hodnotu rezistivity.[4] Postup pri meraní a vyhodnotení viacvrstvovej

pôdy je uvedený napr. v [1] a [4]. Toto meranie je náročné na vyhodnotenie a používa sa v nutných prípadoch pre rozlahlé zemniace siete.

Pre meranie rezistivity pôdy pri stožiaroch VVN sa podľa [12] umiestňujú elektródy vo vzdialenosti 1 m, 3 m, 5 m prípadne viac (10 m) ideálne kolmo na os vedenia, ak to dovoľujú podmienky. Výsledná rezistivita sa vypočíta z nasledujúceho vzorca

$$\rho_E = \frac{3}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho_3}} \quad (2.3)$$

2.1.2 Schlumbergerova metóda

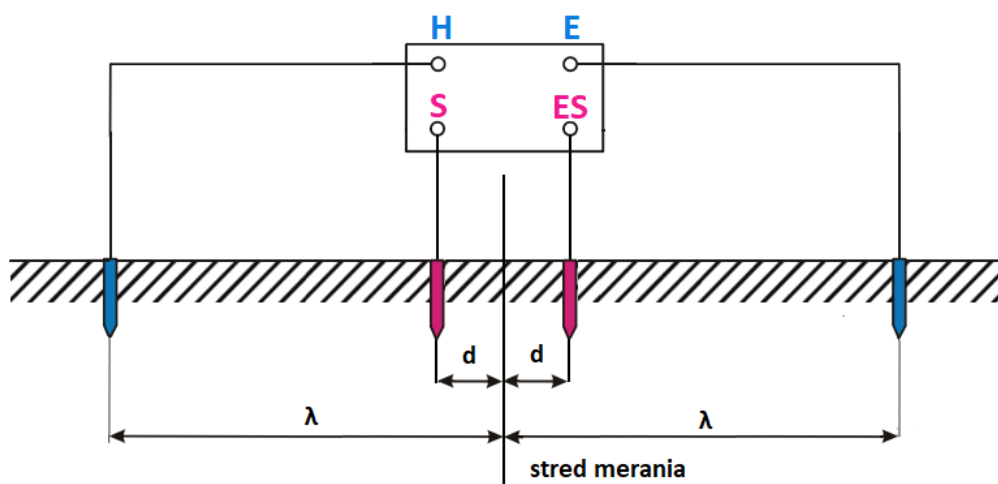
Schlumbergerova metóda patrí medzi geoelektrické merania a od Wennerovej metódy sa líši usporiadaním elektród. Rovnako ako pri Wennerovom usporiadaní, ležia elektródy v jednej priamke (Obr. 2.2), s rovnakými rozmermi a hĺbkou. Je nutné dbať na pomer vzdialeností elektród, aby platilo

$$\lambda \geq 3 \cdot d. \quad (2.4)$$

Rezistivita pôdy sa vypočíta zo vzťahu:

$$\rho_E = R \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\lambda^2}{d} - d \right) = k \cdot R \quad (2.5)$$

- kde
- R je odpor vypočítaný z úbytku napätia a meraného prúdu (Ω),
 - λ je vzdialenosť napätových elektród od stredu merania (m),
 - k koeficient závislý na λ a d . [5]



Obr. 2.2: Meranie rezistivity pôdy Schlumbergerovou metódou [7]

Týmto spôsobom stanovíme strednú rezistivitu pôdy do hĺbky rovnvej približne rozostupu elektród od stredu merania. Schlumbergerova metóda je časovo menej

náročná z dôvodu, že pri splnení podmienky 2.4 je možné zachovať umiestnenie napätových sond a zmerať rezistivitu pre rôzne hĺbky len vzdalovaním prúdových elektród. Metóda je rovnako presná ako Wennerova pre menej rozsiahle uzemnenia. [7] V Tab. 2.3 sú vyčíslené hodnoty koeficientu k v závislosti na λ a d pre meranie do hĺbky troch metrov.

λ (m)	d (m)	k (m)
1	0,25	5,9
1,5	0,25	13,8
2	0,5	11,8
3	0,5	27,5

Tab. 2.3: Koeficient k v závislosti na λ a d .

2.1.3 Meranie rezistivity pôdy tyčou

Pre navrhovanie jednoduchých zemničov postačuje určiť rezistivitu pôdy tak, že sa zmeria zemný odpor tyče s dĺžkou l a priemerom d zarazenej zvislo do zeme s rezistivitou pôdy ρ_E . [4] Zemný odpor takejto tyče sa vypočíta podľa vzťahu:

$$R = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d} \quad (2.6)$$

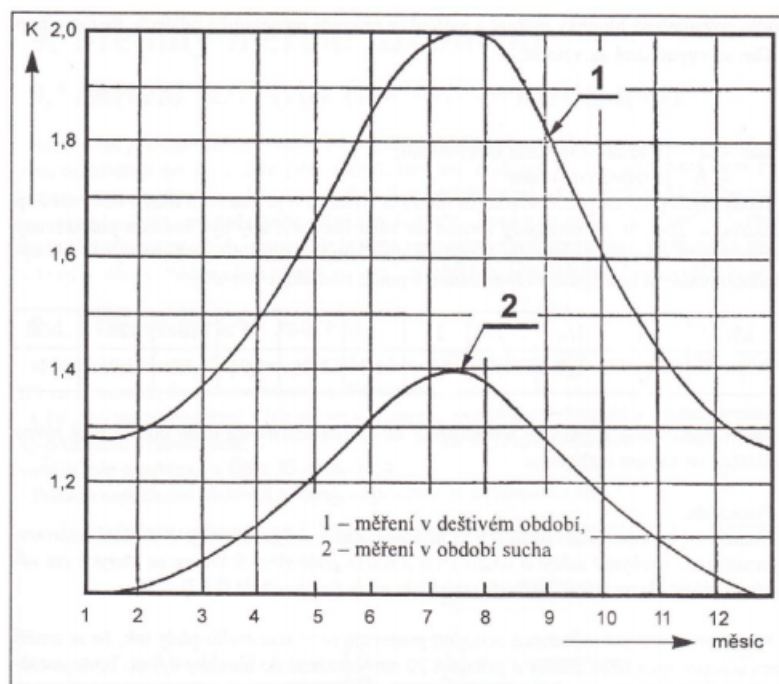
Na tyči s priemerom 20 mm zarazenej do zeme v dĺžke 80 cm sa zemný odpor rovná priamo rezistivite pôdy. [1]

2.1.4 Korekcia rezistivity pôdy

Vplyv kolísania rezistivity pôdy do hĺbky 3 m v závislosti na vlhkosti a ročnom období sa eliminuje násobením koeficientom K podľa kriviek na Obr. 2.3. Číselné hodnoty tohto koeficientu sú vyjadrené v Tab. B.3.

Hranicu medzi suchým a daždivým obdobím nie je možné vždy presne určiť, závisí na konkrétnych podmienkach merania. Zvyčajne môžeme považovať za daždivé obdobie vtedy, ak je úhrn zrážok za posledných 48 hodín 6 mm a viac, alebo za posledných 7 dní 16 mm a viac.

Rezistivita sa nemôže merať v období zamrznutej pôdy. [12]



Obr. 2.3: Závislosť činiteľa K na ročnom období [4]

2.2 Meranie zemného odporu a impedancie systému uzemnenia

Zemný odpor je spoločným prvkom všetkých uzemnení. Pri jeho meraní sa treba vysporiadať s viacerými prekážkami, a to nehomogenitou pôdy, vplyvom iných zemniacich sústav a náhodných zemničův, zemných lán a pod. Zemný odpor závisí na materiáli, tvare a usporiadaní prvkův, z ktorých sa zemnič skladá, prechodovom odpore medzi zemničom a pôdou, a predovšetkým na rezistivite pôdy v okolí zemniča.

Najväčšia časť odporu jednoduchej zemnej elektródy sa od nej prejavuje do niekoľko metrov a tvorí ju pôda okolo elektródy. Asi 20 metrov od elektródy už znateľne nepribúda odpor, preto môžeme pokladať merný odpor pôdy do vzdialenosti asi 20 metrov od elektródy za odpor zemnej elektródy. Zemný odpor elektródy nie možné merať priamo, používajú sa nepriame merania s pomocnými prúdovými a napätovými elektródami. Priebeh napätí a odporov zemných elektród má zvonovitý tvar, z čoho sa odvádza pravidlo na určenie vzdialenosti pomocných zemných elektród od skúšanej elektródy. Napätová elektróda sa má umiestniť čo najďalej od úpätia jej zvonu tak, aby obsiahla všetok zemný odpor skúšanej zemnej elektródy a nezasahovala do napätového zvonu pomocnej prúdovej elektródy. Pomocná prúdová elektróda má byť tak ďaleko od skúšanej zemnej elektródy, aby sa ich odporové

zvony nepresahovali.[1] Z týchto základných predpokladov sa vychádza v nasledujúcich kapitolách.

2.2.1 Meranie potenciálového spádu

Táto metóda je vhodná pre meranie zemného odporu zemničov s menšou rozlohou so zemným odporom väčším ako $0,5 \Omega$. Teoretický popis vychádza z [1]. Metóda je vhodná pre meranie uzemnení stožiarov VVN a v ďalších kapitolách budú popísané podrobnejšie jednotlivé zapojenia meracích obvodov. Presnosť merania ovplyvňuje najmä:

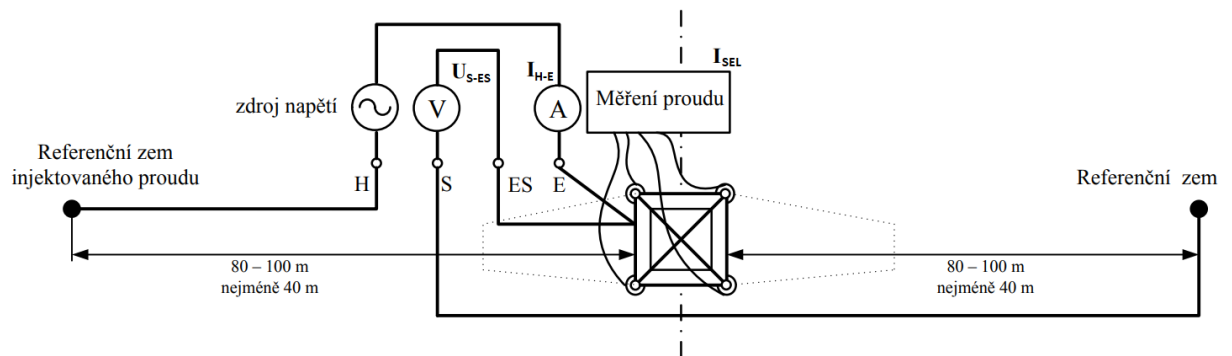
1. vzdialenosť elektród od meraného uzemnenia,
 - Pre jednoduché zemniče do dĺžky 40 m sa požaduje pre prúdovú elektródu vzdialenosť 40 m kolmo na dlhší rozmer zemniča.
 - Pre zložitý zemnič alebo mrežovú sieť sa požaduje vzdialenosť prúdovej elektródy najmenej trojnásobok najväčšieho rozmeru alebo uhlopriečky zemniča.
2. rozmiestnenie elektród,
 - Rozhodujúci vplyv má vzájomná poloha meraného uzemnenia, prúdovej a napätovej elektródy. Existuje viac možností:
 - a) stred meraného uzemnenia a elektródy ležia na jednej priamke,
 - b) stred meraného uzemnenia a elektródy ležia na jednej priamke a v jednom smere od meraného uzemnenia,
 - c) stred meraného uzemnenia a elektródy tvoria vrcholy rovnoramenného trojuholníka.
3. vlastná a vzájomná indukčnosť prívodov k meracím elektródam a kapacita súbehu prívodov,
 - Ovplyvňuje zemniacie sústavy s odporom nižším ako 1Ω ak nastáva súbeh vodičov k prúdovej a napätovej elektróde.
 - Pre vylúčenie chyby pri súbehu cca 500 m stačí, ak sú vodiče k elektródam položené vo vzdialenosti 50 cm.
4. vplyv cudzích zemničov a rušivých polí.
 - Meracie elektródy musia byť umiestnené mimo potenciálne pole iných zemničov.
 - Ak môže byť meranie ovplyvnené inými zemničmi alebo uloženým kovovým zariadením, meria sa v niekoľkých smeroch a uvažuje sa najvyššia namieraná hodnota.

Základná 4-pólová metóda

Schéma zapojenia obvodu pre meranie zemného odporu 4-pólovou metódou je na Obr. 2.4. Zo skúšobného zdroja napätia sa injektuje prúd I_{H-E} s kmitočtom 15 - 5000 Hz, ktorý sa uzatvára medzi vzdialenou prúdovou elektródou H, zemnou, zemniacou sústavou stožiaru a prípojným bodom E na stožiaru. Zároveň sa meria prúd I_{SEL} prechádzajúci do zeme prúdovými sondami, pretože časť prúdu I_{H-E} sa uzatvára zemniacimi lanami a zemniacimi sústavami susedných stožiarov. Prúd prechádzajúci týmto obvodom vytvára potenciálový spád U_{S-ES} medzi uzemnením (ES) a vzdialenou referenčnou zemou - elektródou S. Výsledný odpor uzemnenia sa vypočíta ako podiel nameraného napätia a súčtu prúdov tečúcich do zeme:

$$R_t = \frac{U_{S-ES}}{I_{SEL}} \cdot [12] \quad (2.7)$$

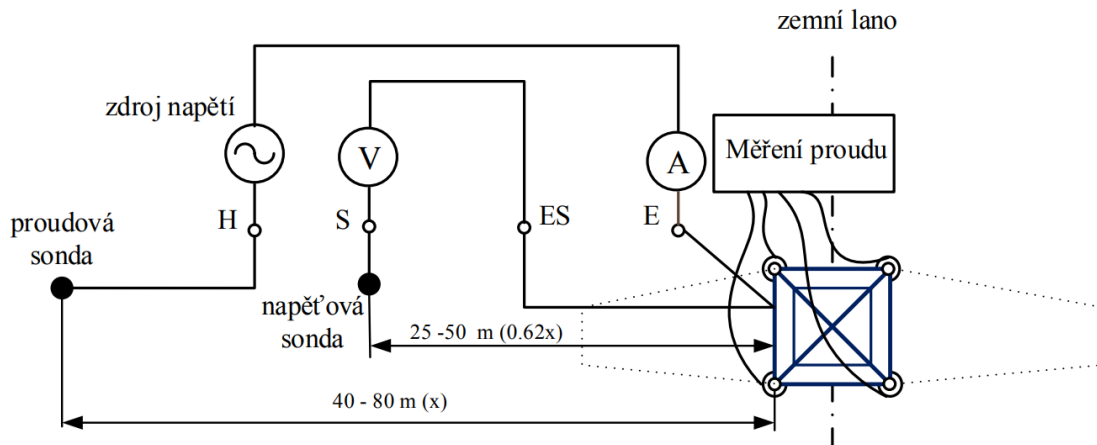
Pre meranie uzemnenia vedení VVN sa v praxi často používa metóda, kedy sa pri vyšších kmitočtoch skúšobného prúdu eliminuje prúd uzatvárajúci sa indukčnou reaktanciou zemných lán a susednými stožiarimi. Meria sa len prúd I_m zo skúšobného zdroja napätia. Aby bolo možné takéto meranie správne vyhodnotiť, je nutné vykonať meranie v širokom kmitočtovom pásme.[12]



Obr. 2.4: Základná 4-pólová metóda [12]

4-pólová metóda 62 percent

Metóda je menej náročná z priestorového hľadiska a využíva sa tam, kde nie je možné využiť základnú metódu s ohľadom na nepriestupnú vegetáciu, zástavbu, komunikácie, iné vedenia a pod. Meracie elektródy sú umiestnené v jednom smere kolmo na vedenie tak, že napäťová elektróda sa nachádza vo vzdialenosti 62 % prúdovej elektródy, teda platí $l_S = 0,62 \cdot l_H$ (schéma zapojenia na Obr. 2.5). Principiálne je zhodná so základnou 4-pólovou metódou.[12]

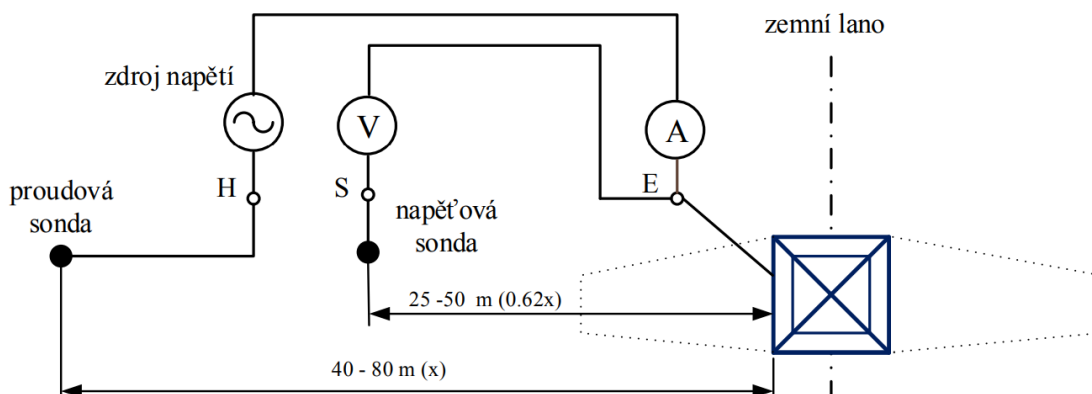


Obr. 2.5: 4-pólová metóda 62 percent [12]

3-pólová metóda 62 percent

Ide o zjednodušenú 4-pólovú metódu 62 percent, kedy sú prípojné body E a ES zlúčené a pripájajú sa len jedným vodičom. Takéto zapojenie neumožňuje potlačiť vplyv odporu testovacích káblov a nie je vhodná pre meranie nízkych hodnôt zemného odporu. Využíva sa, ak nie je k dispozícii prístroj umožňujúci 4-pólové meranie, prípadne sa predpokladá vyššia hodnota zemného odporu a meranie sa urýchli.[12]

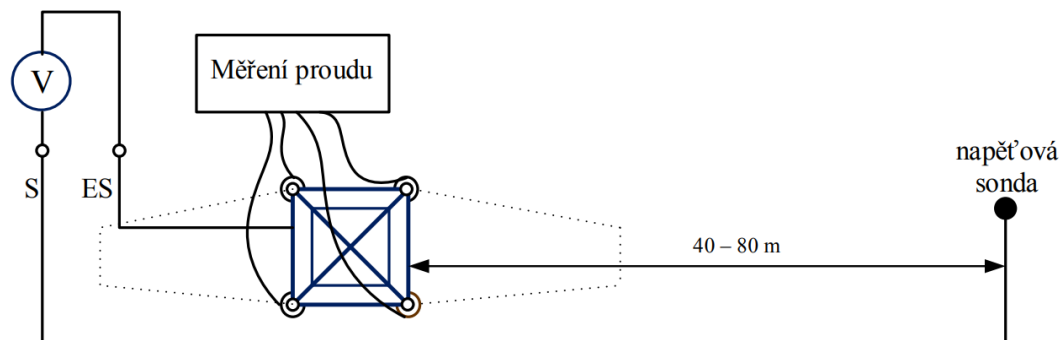
Usporiadanie meracích elektród je rovnaké ako pri 4-pólovej metóde 62 percent, schéma obvodu zapojenia je na Obr. 2.6. V tomto prípade sa nemeria prúd tečúci do zeme, ale len celkový prúd injektovaný pripojeným napäťovým zdrojom, preto je metóda vhodná pre meranie uzemnenia vedení s odpojenými zemnými lanami, uzemňovacích sústav, ktoré je možné odpojiť od uzemneného zariadenia alebo s použitím zdroja s frekvenciou 1 - 5 kHz. Niektoré meracie prístroje využívajú túto metódu aj s meraním prúdov tečúcich do uzemnenia, ako je zobrazené na Obr. 3.4.



Obr. 2.6: 3-pólová metóda 62 percent [12]

Pasívna metóda

Pasívna metóda nevyžaduje zdroj napätia, ktorým sa injektuje prúd do meraného uzemnenia. Meria sa prúd tečúci do zemničťa prúdovými sondami a napätie medzi zemničom a referenčnou zemou. Zdrojom tohto prúdu je hlavne indukcia do zemniacich lán. Využíva sa kvôli kontrole iných meraní alebo pre prípad, kedy nie je možné pripojiť zdroj z meracieho prístroja, alebo je prúd z tohto prístroja príliš malý. Schéma obvodu pri meraní touto metódou je na Obr. 2.7. [12]



Obr. 2.7: Pasívna metóda [12]

2.2.2 Meranie priebehu potenciálu a dotykového napätia

Priebeh potenciálu na zemniči je výhodné poznať pre vyhodnotenie stavu uzemnenia z hľadiska dotkových napätí. Zapojenie meracieho obvodu je zhodné s 3-pólovou metódou 62 percent na Obr. 2.6. Rozdiel je v tom, že nemerame zemný odpor, ale relatívny potenciál u_r , ktorý vypočítame ako pomer napätia nameranou medzi elektródou S a zemou, a celkovým napätím zdroja prúdu:

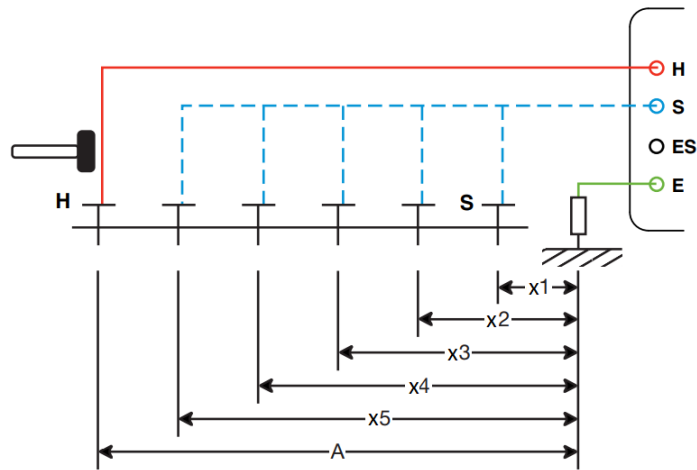
$$u_r = \frac{U_{S-E}}{U_{H-E}}. \quad (2.8)$$

Ide tak o bezrozmerné číslo v rozmedzí 0 až 1. Relatívny potenciál meriame vo vzdialenostiach x od konštrukcie stožiaru ako je znázornené na Obr. 2.8. A je vzdialenosť prúdovej elektródy H od meraného stožiaru. [13]

Absolútne hodnoty priebehu potenciálu získame prepočítaním nameraných hodnôt pomocou nárastu potenciálu zemničťa U_E :

$$U_x = u_{rx} \cdot U_E \quad (2.9)$$

kde x je vzdialenosť od konštrukcie podperného bodu.



Obr. 2.8: Meranie priebehu potenciálu [13]

Ďalšou možnosťou merania priebehu potenciálu je použitie jednej z metód využívajúcich meranie prúdu tečúceho do zeme pomocou Rogowského cievok, napr. základnú 4-pólovú metódu. Schéma zapojenia zostáva totožná ako na Obr. 2.4, presúvame napäťovú elektródu S do vzdialeností x od konštrukcie stožiaru a zaznamenáme napätie U_{S-ES} a prúd I_{SEL} . Z nich na základe skutočného prúdu tečúceho do zeme pri poruche prepočítame hodnoty nárastu potenciálu zemniča vo vzdialenostiach x :

$$U_x = U_{S-ES} \cdot \frac{I_t}{I_{SEL}} \quad (2.10)$$

Vzdialenosť x_1 volíme 1 meter horizontálne od stožiarovej konštrukcie, ďalšie merania vykonávame po 1 metri. V prípade, že strojený zemnič je vo vyhotovení ekvipotencionálnych prahov, vykonávame meranie priebehu potenciálu do vzdialenosti minimálne 1 meter od vonkajšieho kruhu. V ostatných prípadoch by malo byť dostatočné meranie do vzdialenosti 5 až 10 metrov, záleží však na konkrétnych podperných bodoch. V prípade požiadavky na podrobnejšie meranie pre vyhodnotenie krokových napätí na sporných miestach odporúčame vzdialenosť zmenšiť na 0,5 metra a meranie vykonať vo viacerých smeroch od podperného bodu. Napätie vo vzdialenosti x_1 sa bude rovnať dotykovému napätiu U_d , ak túto hodnotu neprekročí niektoré z krokových napätí.

2.2.3 Meranie zemného odporu strojeného zemniča

Pri periodickej kontrole podperných bodov odporúča [12] meranie odporu strojeného zemniča R_{zn} . Využije sa na to jedna z metód využívajúcich meranie prúdu tečúceho do zeme popísaných v predchádzajúcich kapitolách. Rozdiel je v tom, že prúdovými

sondami nemeríme celkový prúd tečúci do zeme, ale len jeho časť prechádzajúcu strojeným zemničom. Tieto sondy umiestnime na každý zvod strojeného zemniča zo stožiarovej konštrukcie. Pre elimináciu spätného prúdu uzatvárajúceho sa zemnými lanami a zemnením susedných stožiarov je rovnako nutné vykonať meranie v širokom kmitočtovom pásme.

V prípade, že nie je možné sondy na zvody umiestniť, alebo toto meranie prúdu nie je k dispozícii, je nutné všetky zvody odpojiť od konštrukcie a zmerať len samotný strojený zemnič 4-pólovou alebo 3-pólovou metódou.

2.2.4 Meranie impedancie systému uzemnenia

Schéma zapojenia meracieho obvodu je podobná ako pri meraní základnou 4-pólovou metódou na Obr. 2.4 s tým rozdielom, že sa nemeria prúd uzatvárajúci sa prúdovou elektródou a meraným uzemnením pomocou prúdových sond, ale celkový prúd zo zdroja do sústavy zemničov prepojených zemnými lanami. Impedancia sa potom vypočíta ako:

$$Z_E = \frac{U_{S-ES}}{I_{H-E}} \quad (2.11)$$

Táto impedancia je závislá na frekvencii meracieho prúdu a zisťuje sa pre kmitočty 50 Hz. V prípade vypnutých všetkých vedení stačí vykonať jedno meranie pre 50 Hz, inak je nutné vykonať minimálne 2 merania s nižšou (f_1) a vyššou (f_2) frekvenciou injektovaného prúdu a výslednú hodnotu pre 50 Hz získať lineárnou interpoláciou týchto hodnôt:

$$Z_E = Z_{f1} + \frac{50 - f_1}{f_2 - f_1} \cdot (Z_{f2} - Z_{f1}) \quad (2.12)$$

Približnú hodnotu impedancie Z_E možno získať aj výpočtom podľa nasledujúceho vzťahu:

$$Z_E = 0,25 \cdot (Z_S + \sqrt{4 \cdot (4 \cdot R_t) + Z_S}) \quad (2.13)$$

kde Z_S je impedancia zemných lán v jednom rozpätí,
 R_t je zemný odpor stožiaru.[11]

Norma PNE 33 3300 spôsob zjednodušeným výpočtom neodporúča, pretože by sa musel predpokladať rovnaký zemný odpor pre všetky podperné body v rozpätí. Ďalšou možnosťou je použitie tabulkových hodnôt.

3 Prístroje na meranie uzemnení stožiarov VVN

V nasledujúcej kapitole budú stručne predstavené dva prístroje od rôznych výrobcov vhodné pre meranie rezistivity pôdy a zároveň zemného odporu podperných bodov VVN, kde je prítomné zemné lano. Prvým je prístroj od francúzskeho výrobcu CHAUVIN ARNOUX C.A 6472 s doplnkovým príslušenstvom C.A 6474, ktorý bude taktiež použitý pre praktické merania v tejto diplomovej práci. Druhým je prístroj od poľského výrobcu Sonel MRU-200.

3.1 CHAUVIN ARNOUX C.A 6472 a C.A 6474

CHAUVIN ARNOUX C.A 6472 je komplexný prenosný merací prístroj vhodný na meranie zemných odporov, rezistivity pôdy a s príslušenstvom C.A 6474 pre meranie zemných odporov stožiarov so zemným lanom. Je vhodný na meranie v teréne a nevyžaduje externý napájací zdroj. Základný popis prístroja je na Obr. A.1 v prílohe A. Kompletné manuály sú dostupné na stránkach výrobcu v [13] a [14]. Prístroj ponúka nasledujúce funkcie:

- odpor, 2-vodičovo alebo 4-vodičovo,
- zemný odpor, 4-pólová alebo 3-pólová metóda,
- priebeh potenciálu na zemniči,
- zemný odpor selektívne pomocou prúdovej sondy (nutná prídavná prúdová sonda C182 alebo MN82),
- rezistivita pôdy - Wennerova alebo Schlumbergerova metóda,
- zemný odpor pomocou dvoch prúdových sond (použitie sond C182 alebo MN82),
- zemný odpor stožiarov s príslušenstvom C.A 6474.

Meranie je možné prevádzkovať v dvoch režimoch - automatickom a manuálnom. V automatickom režime softvér prístroja automaticky vyberie vhodnú frekvenciu pre meranie, prípadne ju zmení ak zistí pri danej frekvencii rušenie. V manuálnom móde nastavuje frekvenciu sám používateľ. Prístroj dokáže pracovať na 91 rôznych frekvenciách od 41 Hz po 5078 Hz. Pre meranie rezistivity pôdy je frekvencia limitovaná na 128 Hz.

Pri meraní zemných odporov je možné zvoliť "SWEEP" mód, ktorý vykoná sériu meraní pri 15tich rôznych frekvenciách od 41 do 5078 Hz.

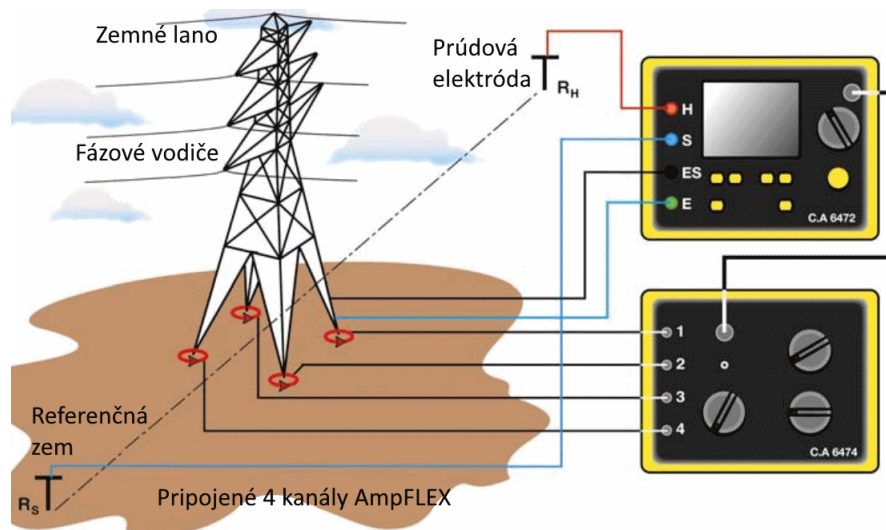
V prípade, že sa merania vykonávajú vo vlhkom prostredí, odporúča výrobca manuálne znížiť testovacie napätie z 32 V na 16 V.

CHAUVIN ARNOUX C.A 6474 je príslušenstvo k C.A 6474, ktoré umožňuje meranie prúdov tečúcich do zemniča pomocou AmpFlex® senzorov, čo sú principiálne

Rogowského cievky. Pri meraní je nutné zaistiť, aby mali všetky cievky rovnaký počet otočiek a boli orientované rovnakým smerom. Na prístroji C.A 6474 sa nastavuje počet otočiek, citlivosť cievok a počet kanálov. Základný popis prístroja je na Obr. A.2 v prílohe A. Na Obr. 3.2 je zobrazené názorné pripojenie daných dvoch prístrojov pri meraní základnou 4-pólovou metódou popísanou v kapitole 2.4.



Obr. 3.1: Meracie prístroje C.A 6474 (vľavo) a C.A 6472 (vpravo) [15]



Obr. 3.2: Pripojenie prístrojov C.A. 6472, 6474 pri meraní 4p základnou metódou [15]

3.2 SONEL MRU-200 a ERP-1

Merací prístroj SONEL MRU-200 je určený na meranie odporu uzemnení, rezistivity pôdy, meranie neporušenosti ochranných vodičov a vodičov pospojovania, a meranie prúdu kliešťovou sondou. S príslušenstvom Sonel ERP-1 je vhodný na meranie odporu uzemnenia stožiarov VVN so zemným lanom. Popis hlavných častí prístroja je zobrazený na Obr. A.3. Kompletné manuály sú dostupné na stránkach výrobcu v [18] a [19]. Prístroj ponúka nasledujúce funkcie:

- meranie neporušenosti ochranných vodičov a vodičov ochrany pospojovaním (2 pólová metóda merania odporu),
- zemný odpor, 4-pólová alebo 3-pólová metóda,
- 3-pólová metóda merania zemného odporu s kliešťovou prúdovou sondou,
- 3-pólová metóda merania zemného odporu s príslušenstvom ERP-1,
- meranie zemného odporu pomocou dvoch prúdových sond,
- meranie impulznou 4-pólovou metódou,
- meranie prúdu,
- meranie rezistivity pôdy Wennerovou metódou.

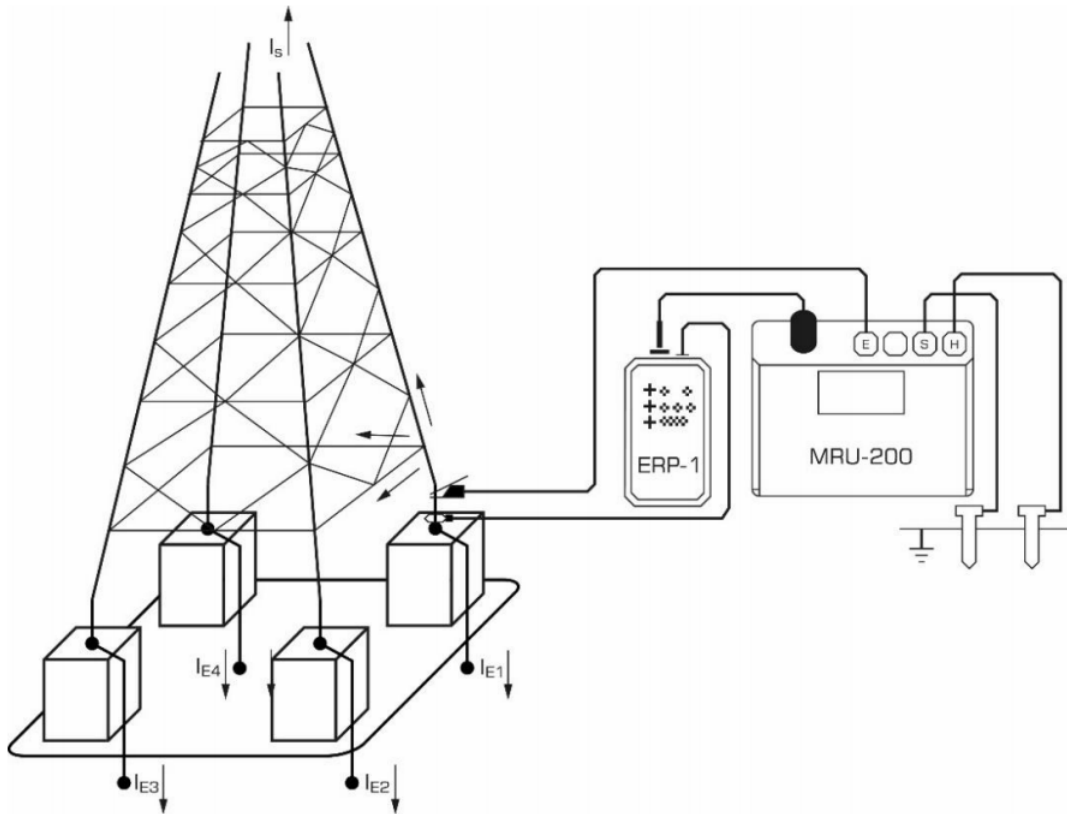
Kmitočet meracieho prúdu je 125 Hz, meracie napätie pre 3-pólové a 4-pólové meranie zemného odporu je 25 alebo 50 V.



Obr. 3.3: Meracie prístroje Sonel MRU-200 (vľavo)[16] a ERP-1 (vpravo)[17]

Pre meranie prúdu tečúceho do zeme pre stožiare so zemným lanom je k dispozícii voliteľné príslušenstvo Sonel ERP-1. Obsahuje jednu Rogowského cievku, ktorá je schopná obopnúť päť stožiaru. Na prístroji sa nastavuje typ cievky a počet otočiek pri meraní. V prípade stožiaru VVN kde sú možné viaceré cesty prúdu do zeme sa meranie opakuje (max. 4) a prístroj následne vypočíta výsledný zemný odpor ako

paralelnú kombináciu nameraných čiastkových odporov. Nevýhodou tohto prístroja je len jedna Rogowského cievka a meranie čiastkových odporov s následným výpočtom, čo môže znepresniť výsledky a predĺži celkový čas merania. Náročnejšie na vyhodnotenie by boli taktiež stožiare typu portál, kde je viacej možných prúdových ciest do zeme. Ďalšou nevýhodou je jednotná frekvencia skúšobného zdroja 125 Hz a tak prístroj neumožňuje zmerať zemný odpor v širšom frekvenčnom spektre.



Obr. 3.4: Názorné zapojenie obvodu pri meraní zemného odporu s prístrojom Sonel MRU-200 a ERP-1 [19]

Zapojenie obvodu je navrhnuté na 3-pólovú metódu 62% zobrazené na Obr. 3.4, kde I_S je prúd uzatvárajúci sa zemným lanom a uzemením susedných stožiarov a $I_{E1} - I_{E4}$ sú prúdy uzatvárajúce sa meraným uzemnením a prúdovou elektródou H.

4 Praktické meranie a vyhodnotenie dát

V nasledujúcej kapitole je názorne predstavený postup merania uzemnenia a výpočtu dotykových napätí. Na základe toho je vytvorený nástroj na vytváranie správ z meraní v prostredí VBA Microsoft Excel.

Celkom bolo zmeraných 11 podperných bodov VVN pomocou prístrojov CHAUVIN ARNOUX C.A 6472 a C.A 6474. Revízne správy z týchto meraní sa nachádzajú v prílohe C. Ako príklad merania a vyhodnotenia dotykových napätí bol zvolený podperný bod č.6 linky V1360/V1383/V1380 (Obr. 4.1), správa z tohto merania je v prílohe C.5.



Obr. 4.1: PB č.6 - V1360/V1383/V1380

4.1 Meranie uzemnenia

Pre meranie zemného odporu preferujeme základnú 4-pólovú metódu ak to dovoľujú miestne podmienky. Obvod zapojíme podľa Obr. 2.4.

Všetky prúdové senzory AmpFlex pripájame k prístroju C.A. 6474 s rešpektovaním ich číselných označení - cievky sú od výroby kalibrované. Kalibráciu je nutné vykonávať len v prípade, že by sa niektorý z prúdových senzorov menil za nový.[13] Pre následný dopočet celkového prúdu musia byť všetky senzory umiestnené rovnakým smerom. Preferujeme maximálny počet slučiek (4) pre každú cestu prúdu do zeme pre najlepšiu citlivosť merania. Zemné elektródy E a ES musia byť pripojené na kovovú časť stožiaru s dobrým vodivým kontaktom nad prúdové senzory pre zabezpečenie merania prúdov tečúcich do zeme. Príklad zapojenia je na Obr. 4.2.



Obr. 4.2: Zapojenie meracích prístrojov (ilustračný obrázok)

Na prístroji C.A. 6474 nastavíme počet použitých prúdových senzorov, počet slučiek a senzitivitu merania prúdu - nastavujeme tak, aby po ustálení merania nesvietila kontrolka „Overload“. Na prístroji C.A. 6472 nastavíme funkciu „Ampflex“ a vykonáme meranie dlhým stlačením tlačidla START/STOP, kedy sa merajú podrobné hodnoty vrátane odporu prúdovej a napätovej elektródy. Prístroj zvolí frekvenciu merania automaticky do 128 Hz.

Namerané hodnoty sú v Tab. 4.1. Odpor R_H a R_S by mali byť menšie ako 1 k Ω . Pre zmenšenie ich odporov sa odporúča prídanie jednej alebo viacerých paralelných elektród vzdialených 2 metre od seba, zasadenie elektród hlbšie do zeme, stlačenie pôdy v ich okolí, alebo zvlhčenie vodou. Prúd tečúci do zeme I_{SEL} by mal byť väčší ako 10 mA, zvýšiť ho možno znížením odporov prúdovej a napätovej elektródy.[13] V našom prípade sa meraný podperný bod nachádzal blízko rozvodne, kedy sa veľká časť prúdu I_{H-E} uzatvárala zemným lanom a uzemňovacou sústavou rozvodne, preto nie je táto podmienka splnená.

Prístroj meria zároveň aj zemný odpor R_{Pass} s použitím pasívnej metódy (schéma zapojenia na Obr. 2.7). Pasívny odpor by mal byť podobný hodnote R_t . Výrazné rozdiely budú hlavne pri podperných bodoch nachádzajúcich sa v blízkosti podperných bodov iných liniek a blízko rozvodne, kedy sa kvôli interferenciám prúdov s frekvenciou 50 Hz meranie R_{Pass} znepresní.

Zemný odpor R_t (Ω)	3,62
Napätie U_{S-ES} (mV)	11,6
Prúd tečúci do zeme I_{SEL} (mA)	3,21
Napätie zdroja U_{H-E} (V)	30
Prúd zdroja I_{H-E} (mA)	34,6
Odpor prúdovej elektródy R_H (Ω)	867,7
Odpor napätovej elektródy R_S (Ω)	964,5
Zemný odpor pri pasívnom meraní R_{Pass} (Ω)	1,697
Testovacia frekvencia f (Hz)	119

Tab. 4.1: Namerané hodnoty PB č.6 (V1360/V1383/V1380)

V ďalšom kroku zmeriame zemný odpor pomocou metódy „SWEEP“, kedy prebehne 14 meraní s frekvenciou zdroja prúdu v rozsahu od 41 do 5000 Hz. Zvyšujúcou sa frekvenciou eliminujeme prúd uzatvárajúci sa zemnými lanami a uzemnením susedných stožiarov do meraného uzemnenia. Namerané hodnoty sú v Tab. 4.2. Za smerodatnú považujeme ustálenú hodnotu odporu, t.j. $R_t = 3,8 \Omega$, čo je viditeľné aj z priebehu na Obr. 4.3.

f (Hz)	41,1	73,2	128,1	292,9	585,9	634,7	1269,5
R_t (Ω)	3,24	3,439	3,66	3,808	3,854	3,849	3,846
f (Hz)	2050,7	2539	3125	3515,6	4101,5	4687,5	5078,1
R_t (Ω)	3,833	3,823	3,804	3,791	3,773	3,751	3,734

Tab. 4.2: Namerané hodnoty zemného odporu PB č.6 (V1360/V1383/V1380)

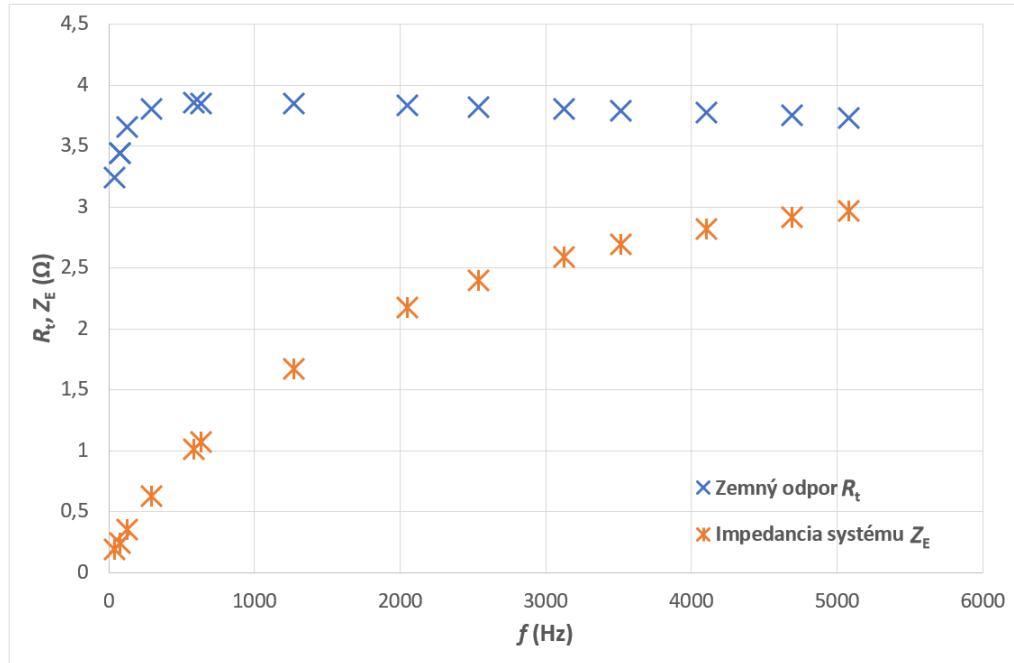
Impedanciu systému Z_E meriame pomocou funkcie „4 poles“ a metódy „SWEEP“, schéma zapojenia zostáva ako v predchádzajúcom prípade. Namerané hodnoty sú v Tab. 4.3. Výpočet Z_E pre frekvenciu 50 Hz:

$$\begin{aligned}
 Z_E &= Z_{f1} + \frac{50 - f_1}{f_2 - f_1} \cdot (Z_{f2} - Z_{f1}) \\
 &= 0,188 + \frac{50 - 41,1}{73,2 - 41,1} \cdot (0,241 - 0,188) = 0,203 \Omega
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

f (Hz)	41,1	73,2	128,1	292,9	585,9	634,7	1269,5
Z_E (Ω)	0,188	0,241	0,355	0,627	1,012	1,07	1,672
f (Hz)	2050,7	2539	3125	3515,6	4101,5	4687,5	5078,1
Z_E (Ω)	2,172	2,396	2,586	2,692	2,817	2,917	2,97

Tab. 4.3: Namerané hodnoty impedancie systému PB č.6 (V1360/V1383/V1380)

V grafe na Obr. 4.3 sú zobrazené priebehy pri meraní pomocou prúdových sond (R_t) a hodnoty počítané z prúdu I_{H-E} (Z_E). Pre správne meranie zemného odporu je použitie prúdových sond nevyhnutné, pretože ani pri vyšších frekvenciách prúdu I_{H-E} sa prúd uzatvárajúci sa zemným lanom a uzemnením okolitých podperných bodov dostatočne neeliminuje ako je vidieť z daného grafu.



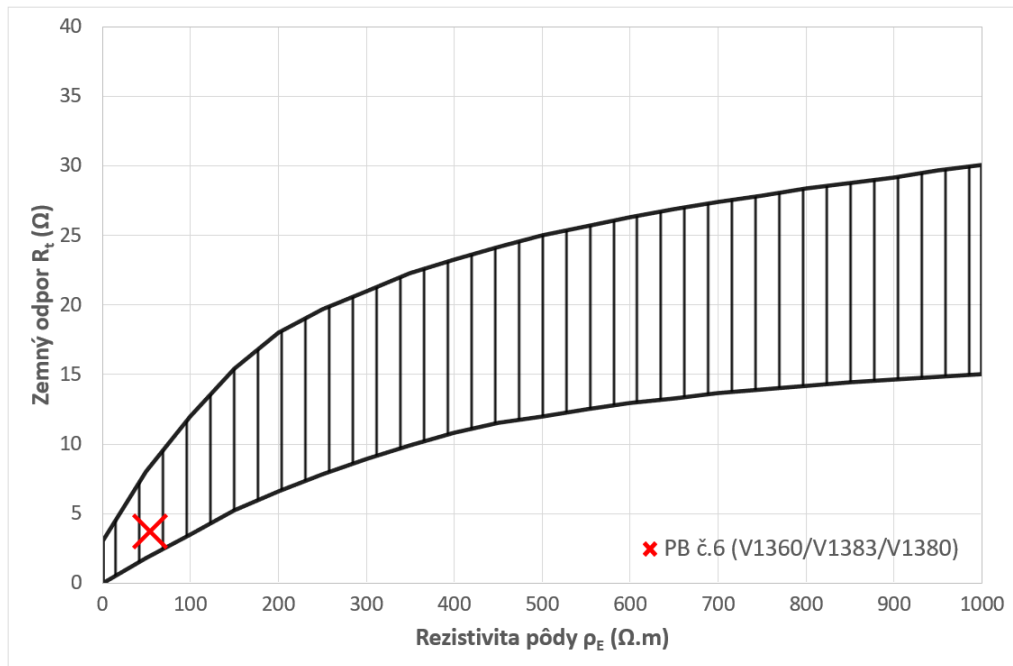
Obr. 4.3: Zemný odpor R_t a impedancia systému Z_E v závislosti na frekvencii f

Pre meranie rezistivity pôdy volíme Wennerovu metódu podľa schémy na Obr. 2.1. Na prístroji C.A. 6472 použijeme funkciu „ ρ “ a spravíme postupne 3 merania pre rozteč elektród 1, 3 a 5 metrov. Umiestnenie napäťových a prúdových elektród volíme s ohľadom na prítomnosť strojených zemničov tak, aby tieto zemniče neovplyvňovali meranie rezistivity, minimálne však 3 metre od základu stožiaru. V prípade, že nemáme informácie o strojených zemničoch v zemi, volíme dostatočnú rezervu vo vzdialenosti. V ďalších výpočtoch neuvažujeme korekciu rezistivity pôdy na zrážky a ročné obdobie, táto možnosť je ale zachovaná vo výpočtovom programe. Výpočet celkovej rezistivity pôdy:

$$\rho_E = \frac{3}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho_3}} = \frac{3}{\frac{1}{36,1} + \frac{1}{74,8} + \frac{1}{68,8}} = 54 \Omega \quad (4.2)$$

Rozteč elektród d (m)	1	3	5
Rezistivita pôdy ρ ($\Omega \cdot m$)	36,1	74,8	68,8

Tab. 4.4: Namerané hodnoty rezistivity pôdy



Obr. 4.4: Vzťah medzi rezistivitou pôdy a zemným odporom [12]

Obr. 4.4 vyjadruje vzťah medzi rezistivitou pôdy a zemným odporom na základe praktických meraní. Nameraný zemný odpor a rezistivita pôdy by mali byť vo vzájomnom súlade vo vyšrafovannej oblasti grafu. Na základe tejto závislosti je viditeľný stav uzemnenia meraného podperného bodu, graf bude súčasťou revíznej správy z merania. Nesúlad s týmto obrázkom môže znamenať chybné meranie, zlé uzemnenie, vysoký odpor stožiarovej konštrukcie alebo zložité geologické podmienky. Pod vyšrafovanou oblasťou pri vyšších rezistivitách pôdy znižujú zemný odpor strojené zemniče.[12]

Merania boli uložené do pamäte prístroja pre následné jednoduchšie načítanie do programu v Exceli, merania metódou „SWEEP“ sa ukladajú automaticky.

4.2 Výpočet a meranie dotkových napätí

Dotkové napätie v závislosti na trvaní poruchy podľa Tab. B.2:

$$U_{Tp}(t_F) = U_{Tp}(0, 1 \text{ s}) = 633 \text{ V} \quad (4.3)$$

Impedancia ľudského tela v závislosti na veľkosti dotkového napätia podľa Tab. B.1:

$$Z_B = 0,75 \cdot \left(1350 + \frac{633 - 220}{700 - 220} \cdot (1100 - 1350)\right) = 851 \text{ } \Omega \quad (4.4)$$

Dovolené dotykové napätie s ohľadom na prídavný odpor R_a :

$$\begin{aligned} U_D(0, 1 \text{ s}) &= U_{Tp}(0, 1 \text{ s}) \cdot \left(1 + \frac{R_{a1} + 1,5 \cdot \rho_E}{Z_B}\right) \\ &= 633 \cdot \left(1 + \frac{1000 + 1,5 \cdot 54}{851}\right) = 1437 \text{ V.} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Výpočet redukčného činiteľa zemných lán (dve zemné laná):

$$r = -0,05 + 0,66 \cdot \rho_E^{-0,06} = -0,05 + 0,66 \cdot 54^{-0,06} = 0,47 \quad (4.6)$$

Prúd tečúci do zeme pri poruche (jednofázovom skrate):

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot \frac{Z_E}{R_t} = 0,7 \cdot 0,47 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,203}{3,8} = 234 \text{ A} \quad (4.7)$$

Výpočty skratových prúdov boli pre všetky dotknuté linky poskytnuté spoločnosťou E.ON Distribuce. Výsledný prúd bol dopočítaný na základe vzdialenosti podperného bodu od rozvodne. V prípade viacnásobného vedenia sa do výpočtu bral najvyšší skratový prúd. Príklad výpočtu pre vedenie V1360 je uvedený v prílohe D. Nárast potenciálu zemniča:

$$U_E = R_t \cdot I_t = 3,8 \cdot 234 = 889 \text{ V} \quad (4.8)$$

Hodnota nárastu potenciálu zemniča je nižšia ako dovolené dotykové napätie, uzemnenie je bezpečné a preto nie je nutné ďalej počítať dotykové napätie U_d . Výpočet ďalej napriek tomu uvádzame ako vzor.

Náhradný polomer stožiaru z Tab.1.2 pre betónový základ starý menej ako 20 rokov:

$$a_{eq} = 0,5 + \frac{54 - 50}{100 - 50} \cdot (0,7 - 0,5) = 0,516 (-) \quad (4.9)$$

Dotykové napätie:

$$U_d = \frac{U_E}{1 + a_{eq}} = \frac{889}{1 + 0,516} = 586 \text{ V} \quad (4.10)$$

Pre daný podperný bod bol orientačne zmeraný aj priebeh potenciálu zemniča. Meriame 4-pólovou metódou popísanej v kapitole 2.2.2, meranie relatívneho potenciálu sa nám pri praktickom testovaní neosvedčilo.

Aby boli výsledky pri zvolenej metodike správne, mali by sme na meranie použiť vyššiu frekvenciu zdroja kvôli eliminácii spätných prúdov. Jednou možnosťou je zvoliť na mieste merania vhodnú frekvenciu na základe predchádzajúcich meraní, alebo meranie vykonať pri základnej frekvencii zdroja 128 Hz a chybu minimalizovať počítaním prúdu I_t na základe zemného odporu meraného pri frekvencii 128 Hz:

$$I_{t(128\text{Hz})} = w \cdot r \cdot I_k \cdot \frac{Z_E}{R_{t(128\text{Hz})}} = 0,7 \cdot 0,47 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,203}{3,66} = 242,7 \text{ A} \quad (4.11)$$

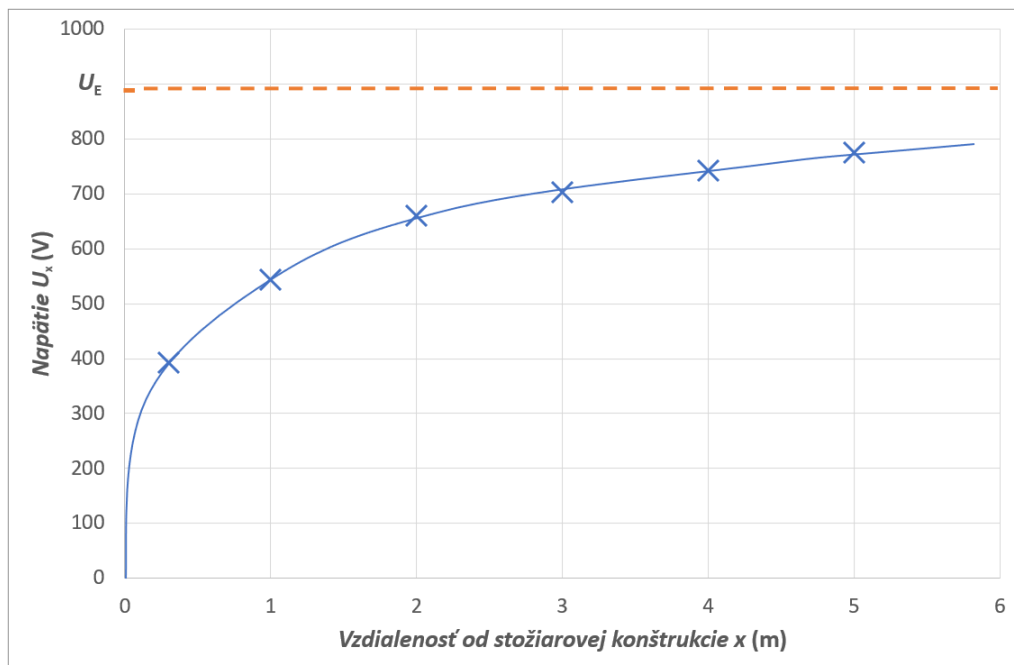
Namerané a prepočítané hodnoty sú uvedené v Tab. 4.5, príklad výpočtu pre vzdialenosť $x = 1$ m (zodpovedá dotykovému napätiu U_d):

$$U_1 = U_{S-ES} \cdot \frac{I_{t(128\text{Hz})}}{I_{SEL}} = 7,33 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{242,7}{3,27 \cdot 10^{-3}} = 544 \text{ V} \quad (4.12)$$

x (m)	U_{S-ES} (mV)	I_{SEL} (mA)	U_x (V)
0,3	5,22	3,23	392
1	7,33	3,27	544
2	8,88	3,26	661
3	9,42	3,25	703
4	10,1	3,3	743
5	10,6	3,32	775

Tab. 4.5: Namerané a vypočítané hodnoty potenciálového spádu

V grafe na Obr. 4.5 je zaznamenaný priebeh nárastu potenciálu zemniča do vzdialenosti 5 metrov od stožiarovej konštrukcie. Zmerané dotykové napätie (544 V) sa výrazne nelíši od vypočítanej hodnoty 586 V a výpočet v tomto prípade poskytuje rezervu.



Obr. 4.5: Priebeh potenciálového spádu na zemniči

4.3 Program na vyhodnotenie a generovanie správ o stave uzemnenia

V programe MS Excel a prostredí VBA bol vytvorený nástroj na výpočet a generovanie správy o stave uzemnenia.

Samotný excelovský súbor obsahuje dve tlačidlá na prvom liste. Tlačidlom „Načítat hodnoty“ sa do zošita nahrajú namerané hodnoty vyexportované z meracieho prístroja C.A. 6472., „Vyhodnocení měření“ vyvolá uživatelské prostredie zobrazené na Obr. 4.6.

The image shows a software dialog box titled "Vyhodnocení měření uzemnění stožárů VVN". It has three tabs: "Vstupní údaje", "Naměřené hodnoty", and "Vypočtené hodnoty". The "Vstupní údaje" tab is active. The dialog contains various input fields and dropdown menus for configuring measurement parameters. At the bottom, there are four buttons: "Výpočet", "Generovat TZ", "Smazat hodnoty", and "Zrušit".

Parameter	Value
Vedení	V1360/V1383/V1380
Číslo podpěrného bodu	6
Okolní teplota	12
Měřicí přístroje	C.A. 6472, C.A. 6474
Metoda měření zemního odporu	4-pólová metoda
Metoda měření rezistivity půdy	Wennerova metoda
Strojený zemnič	NE
Typ stožárové konstrukce	soudek kotevní
Vzdálenost stožáru od rozvodny	méně než 800 metrů
Typ půdy	pole
Stav půdy	mokrá
Množství srážek	
Za posledních 24 hodin (mm)	0
Za posledních 7 dnů (mm)	0
<input type="checkbox"/> Zadat množství srážek	
Jednofázový zkratový proud (kA)	13,3
Doba vypnutí poruchy (s)	0,1
Počet zemnicích lan	2
Stáří betonového základu (let)	do 20 let
Činitel pravděpodobnosti současného působení zdroje zkrat. proudů w (-)	0,7
<input type="checkbox"/> Korekce rezistivity půdy na roční období	
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola dotykových napětí	
<input checked="" type="checkbox"/> Měření potenciálového spádu	

Obr. 4.6: Uživatelské prostredie, záložka „Vstupní údaje“

V záložke „Vstupní údaje“ (Obr. 4.6) sa zadávajú údaje o použitých metódach merania, informácie o podperných bodoch, stave a type pôdy. Vzďialenosť stožiaru od rozvodne sa zadáva kvôli kontrole veľkosti zemného odporu z hľadiska účinku bleskov.

Vo výpočte je zachovaná možnosť korekcie rezistivity pôdy na zrážky a ročné obdobie. Korekcia sa počíta z dátumu merania a stavu pôdy, pri zaškrtnutí možnosti „Zadat množství srážek“ sa stav pôdy určí zo zadaného množstva zrážok za posledných 24 hodín a 7 dní.

Ďalšie hodnoty slúžia ako vstup pre následný výpočet dotykových napätí. Pri odškrtnutí možnosti „Kontrola dotykových napětí“ sa tieto hodnoty nezadávajú a výsledná správa neobsahuje výpočty dotykových napätí. Táto možnosť môže byť využitá pri meraniach podporných bodov považovaných za neprístupné. Možnosť „Měření potenciálového spádu“ sprístupní na ďalšej záložke vstupné hodnoty pre toto meranie.

Vyhodocení měření uzemnění stožárů VVN

Vstupní údaje | **Naměřené hodnoty** | Vypočtené hodnoty

Datum měření: 18.05
 Čas měření: 11:06
 Odpor proudové sondy RH (Ω): 867,7
 Odpor napěťové sondy RS (Ω): 964,5
 Zkušební proud ISEL (mA): 3,21
 Pasivní měření Rpass (Ω): 1,697

Načíst všechny měření
 Načíst měření Rt
 Načíst měření ZE
 Načíst měření ρ

Naměřené hodnoty zemního odporu

f (Hz)	41,1	73,2	128,1	292,9	585,9	634,7	1269,5
R (Ω)	3,24	3,439	3,66	3,808	3,854	3,849	3,846
f (Hz)	2050,7	2539	3125	3515,6	4101,5	4687,5	5078,1
R (Ω)	3,833	3,823	3,804	3,791	3,773	3,751	3,734

Výsledný zemní odpor (Ω): 3,8

Naměřená impedance systému uzemnění

Impedance při frekvenci 1 (Ω): 0,188 Frekvence 1 (Hz): 41,1
 Impedance při frekvenci 2 (Ω): 0,241 Frekvence 2 (Hz): 73,2

Naměřená rezistivita půdy

Dílčí rezistivita 1 ($\Omega \cdot m$): 36,1 Rozteč elektrod 1 (m): 1
 Dílčí rezistivita 2 ($\Omega \cdot m$): 74,8 Rozteč elektrod 2 (m): 3
 Dílčí rezistivita 3 ($\Omega \cdot m$): 68,8 Rozteč elektrod 3 (m): 5

Naměřené hodnoty průběhu potenciálu

Vzdálenost x (m)	1	2	3	4	5
Napětí US-ES (mV)	7,33	8,88	9,42	10,1	10,6
Proud ISEL (mA)	3,27	3,26	3,25	3,3	3,32

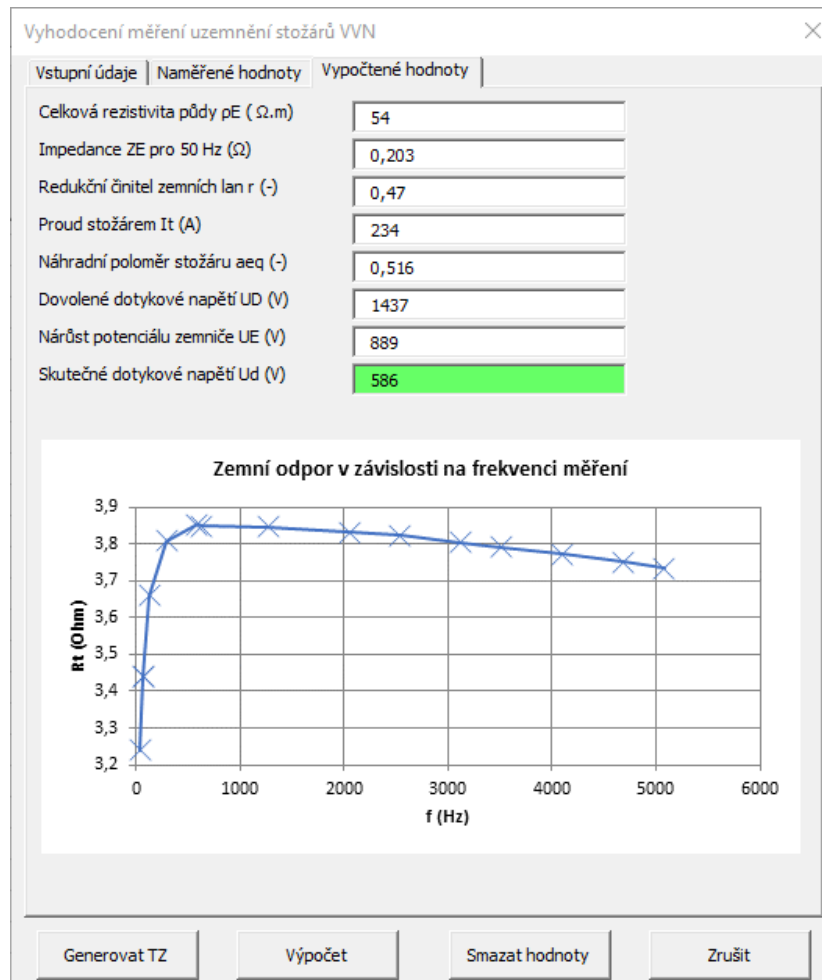
Načíst data

Výpočet Generovat TZ Smazat hodnoty Zrušit

Obr. 4.7: Uživatelské prostředí, záložka „Naměřené hodnoty“

V záložke „Naměřené hodnoty“ (Obr. 4.7) sa zadávajú namerané hodnoty. Po-

mocou tlačidla „Načíst všechny měření“ je možnost rychle načíst kompletné měření podperného bodu, ak boli merané dáta uložené do pamäte prístroja v poradí: Kontrolné meranie - R_t (SWEEP) - Z_E (SWEEP) - ρ . V inom prípade je možnosť načítať dáta z meraní zvlášť alebo ich zadať manuálne. Dáta z merania potenciálového spádu sa zadávajú buď ručne, alebo pomocou „Načíst data“ ak boli postupne uložené do pamäte prístroja.



Obr. 4.8: Uživatelské prostredie, záložka „Vypočtené hodnoty“

Po vykonaní výpočtu sa v záložke „Vypočtené hodnoty“ (Obr. 4.7) objavia dielčie výsledky pre ich rýchlu kontrolu a zároveň sa vygeneruje graf závislosti zemného odporu na frekvencii merania. Z tohto grafu sa určí výsledný zemný odpor R_t .

Správy z meraní sa generujú do nového dokumentu podľa dátumu merania s názvom listu podľa čísla podperného bodu a názvu vedenia. Ak bolo vykonaných v daný deň meraní viac, uložia sa na ďalšom liste.

5 Opatrenia pre zníženie dotykových napätí

V tejto kapitole sú uvedené všeobecné odporúčania pre zníženie dotykových napätí podperných bodov. Je nutné brať do úvahy viaceré vplyvy, ktoré ovplyvňujú výber konkrétnych opatrení, napr. geologické a geografické podmienky, výskyt osôb, konštrukciu stožiarov a vlastnícke vzťahy v okolí podperného bodu. [12]

5.1 Zníženie hodnoty skratového prúdu

Veľkosť skratového prúdu ovplyvňuje celkový nárast potenciálu zemniča a tým aj dotykové napätie. Pre zníženie hodnoty skratových prúdov sú nutné manipulácie s konfiguráciou siete, nastavenie ochrán, prípadne pridanie ďalších prvkov do siete. V Českej Republike sa toto opatrenie nepoužíva. [12]

5.2 Skrátenie vypínacieho času

Skrátenie vypínacieho času poruchy sa prejaví na zvýšení dovoleného dotykového napätia a tým menšej pravdepodobnosti úrazu elektrickým prúdom. Na vedeniach VVN a ZVN je všeobecná požiadavka na okamžité vypnutie poruchy. Ochrany na vedeniach sú väčšinou konfigurované na minimálny čas vypnutia do 0,1 sekundy a nie je technický priestor na ďalšie znižovanie vypínacieho času. [12]

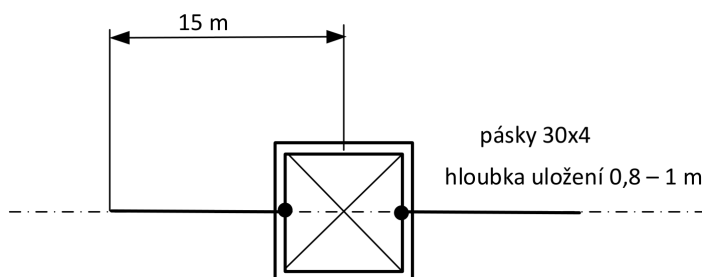
5.3 Efektívne využitie zemných lán

Zemné laná ovplyvňujú svojím pôsobením rozloženie skratového prúdu na vedení a hodnotu poruchového prúdu tečúceho cez stožiarovu konštrukciu do zeme. Dôležité je dbať na kvalitné pripojenie zemných lán ku konštrukcii stožiarov. Nedokonalé pripojenie je možné zistiť pri meraní impedancie systému Z_E v prípade, žeby bola táto hodnota príliš vysoká. Dôležité je dimenzovanie zemného lana v blízkosti rozvodne, kedy toto lano prenáša veľké skratové prúdy. [12]

5.4 Zníženie zemného odporu podperného bodu

Zníženie zemného odporu zemniacimi páskami FeZn je relatívne jednoduchým riešením k zníženiu dotykového napätia. Zemný odpor ale neovplyvňuje priamo dotykové napätie, je potrebné znížiť celkovú impedanciu systému uzemnenia. V prípade, že by bol zemný odpor podperného bodu príliš malý oproti okolitým stožiarom v rozpätí,

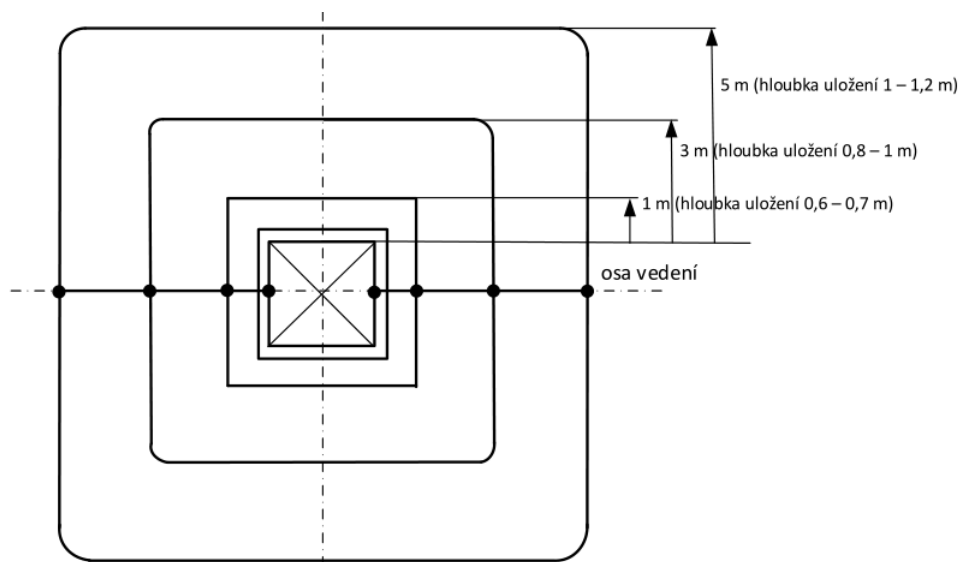
mohlo by prísť k zvýšeniu skratového prúdu uzemnením a tým paradoxne k zvýšeniu dotykového napätia. [12] Príklad použitia zemného pásu pre zníženie zemného odporu do 15Ω pre stožiar typu súdok je na Obr. 5.1.



Obr. 5.1: Návrh strojených zemničů pre $R_t < 15 \Omega$ pre rezistivitu pôdy $150 - 250 \Omega \cdot \text{m}$ [12]

5.5 Obvodové zemniče s riadeným potenciálom

Najefektívnejším spôsobom na zníženie dotkových a krokových napätí je umiestnenie ekvipotenciálových prahov s riadeným potenciálom. Princíp je znázornený na Obr. 1.7. Ide o pomerne drahé riešenie z dôvodu priestorových požiadaviek. Návrh obvodových zemničů pre súdok 110 kV je zobrazený na Obr. 5.2.



Obr. 5.2: Návrh obvodového zemniča pre rezistivitu pôdy do $250 \Omega \cdot \text{m}$ [12]

5.6 Povrchová vrstva s vysokou rezistivitou

Povrchová vrstva s vysokou rezistivitou účinne chráni osoby pred nebezpečným dotykovým napätím. Nevodivá vrstva sa umiestňuje do okolia minimálne 1,5 metra od konštrukcie v prípade, že strojené zemniče nepresahujú za okraj tejto vrstvy. Prevedenie môže byť vo forme štrkovej vrstvy s hrúbkou minimálne 100 mm alebo asfaltovej vrstvy so zodpovedajúcim (napríklad štrkovým) podkladom. Toto opatrenie si vyžaduje pravidelnú údržbu a kontrolu, či nestráca svoje izolačné schopnosti. [11][12]

5.7 Zabránenie prístupu k podpernému bodu

Ďalšou možnosťou pre zvýšenie bezpečnosti v okolí podperného bodu je fyzická zábrana k prístupu ku konštrukcii podperného bodu spravidla nevodivým plotom, alebo drôteným plotom pokrytým nevodivou vrstvou. Je potrebný súhlas majiteľa pozemku na umiestnenie plotu a jeho pravidelná kontrola. [12]

Záver

Diplomová práca sa venovala meraniu a vyhodnoteniu uzemnenia podperných bodov VVN. V teoretickej časti práce je spracovaná teória ohľadom uzemnenia a jeho bezpečnosti, postupu výpočtov dotykových napätí, meracích metód jednotlivých veličín vrátane dostupných meracích prístrojov.

V teórii je predstavený aj merací prístroj Sonel MRU-200, ktorý sme ale pre obmedzenie frekvencie zdroja prúdu na 128 Hz nepoužívali. Podľa výsledkov zo správ z meraní v prílohe C je vidieť, že u väčšiny meraných stožiarov sa spätné prúdy eliminujú až pri frekvenciách vyšších ako 1 kHz a jednotná frekvencia 128 Hz by bola pre určenie skutočnej hodnoty zemného odporu nedostačujúca.

Pri meraniach zemných odporov podperných bodov bolo možné zvoliť viacero postupov - napríklad zvlášť vykonať meranie zemného odporu samotnej betónovej patky, zvlášť strojeného zemniča a výsledný odpor následne dopočítať. Týmito postupmi by bolo nutné strojené zemniče odpojiť. Informácie o uzemneniach by boli komplexnejšie, ale predĺžil by sa aj čas merania. Pri meraných podperných bodoch neboli dostupné informácie o type usadených strojených zemničoch (ak boli prítomné) a považovali sme podperné body za uzemnené len svojou vlastnou konštrukciou a betónovou patkou. Z toho dôvodu sme nevykonávali meranie odporu samostatného strojeného zemniča napriek odporúčaniu v [12] v rámci periodickej kontroly podperných bodov.

Vo výpočtoch neuvažujeme korekciu pôdy na ročné obdobie z dôvodu, že výpočty sú určené na kontrolu dotykových napätí. Keďže korekčný súčiniteľ je číslo väčšie ako 1 a rezistivita pôdy by sa zvýšila, zväčšil by sa aj náhradný polomer stožiaru (a_{eq}) a tým by sa znížilo vypočítané dotykové napätie. Uvažujeme tak horší prípad. Vo výpočtovom programe je možnosť korekcie zachovaná pre prípadné porovnanie.

Program pre vyhodnotenie stavu uzemnení je navrhnutý k čo najjednoduchšej a najrýchlejšej tvorbe správy z merania. Pre zachovanie kompletných informácií v generovaných správach program kontroluje všetky vstupné zadávané hodnoty, prípadne vyzve na ich doplnenie. V generovaných správach môže dochádzať k nezrovnalostiam medzi hodnotami dosadenými vo výpočtoch a výsledkami. Číselne dosádzané hodnoty sú zaokrúhľované, avšak samotný výpočet v rámci makra sa uskutočňuje bez zaokrúhľovania.

V nasledujúcich odstavcoch zhrnieme výsledky z meraných uzemnení vybraných sporných podperných bodov, nadobudnuté poznatky a výsledné odporúčania.

Pri podpernom bode č.2 vedenia V1357 (správa v prílohe C.2) nevyhovuje z hľadiska ochrany pred účinkami bleskov. Zemný odpor má veľmi vysokú hodnotu (28 Ω). Pri meraní bolo zvolených viacej možností rozmiestnenia elektród a ich zámena aby sme vylúčili chybu pri meraní. Ide o relatívne nový stožiar bez prítomnosti

dodatočného uzemnenia strojeným zemničom a riešením je umiestnenie vhodne navrhnutého strojeného zemniča.

Podperný bod č.2 vedení V1381/V1382 (správa v prílohe C.3) je z hľadiska ochrany osôb bezpečný, avšak nie je splnená podmienka $R_t < 10 \Omega$. Prítomný strojený zemnič je v nevyhovujúcom stave (korózia) a predpokladáme, že jeho degradáciou sa zvýšil zemný odpor na nevyhovujúcu úroveň. Odporúčame PB dodatočne uzemniť pridaním vhodne navrhnutého strojeného zemniča.

Podperný bod č.2 vedení V1380/V1384 (príloha C.8) nevyhovuje podľa výpočtu bezpečnostnej podmienke. Výsledná rezistivita pôdy vyšla relatívne malá, pravdepodobne kvôli prítomnosti strojených zemničov v oblasti merania, preto ju odporúčame dodatočne zmerať vo väčšej vzdialenosti od stožiaru a následne premerať priebeh potenciálu. Je pravdepodobné, že podperný bod je uzemnený strojeným zemničom v prevedení ekvipotencionálnych kruhov.

Podperný bod č.14 vedení V1380/V1384 (príloha C.10) sa podľa výpočtu ukazuje ako nevyhovujúci, stožiar je ale uzemnený strojeným zemničom v neznámom prevedení. Strojený zemnič je vo vyhotovení ekvipotenciálových kruhov, ako je vidieť zo zmeraného priebehu potenciálu. Zmerané dotykové napätie je nižšie (523 V vs. vypočítaných 1859 V), vyššie hodnoty ako zmerané dotykové napätie môžu dosahovať krokové napätia, cca. 750 V. V tomto prípade je táto hodnota vyhovujúca, pre lepšie vyhodnotenie krokových napätí je nutné vykonať podrobnejšie merania.

Pri PB č.16 vedení V1380/V1384 (príloha C.11) je vypočítané dotykové napätie vyššie ako dovolené a teda nie je splnená bezpečnostná podmienka. Rovnako, ako v predchádzajúcom prípade predpokladáme prítomnosť obvodových zemničov na vyrovnanie potenciálu. Zmeraný priebeh potenciálu na zemniči ukazuje uspokojivé výsledky a stožiar môžeme považovať za bezpečný ako z hľadiska dotykového napätia, tak aj krokových.

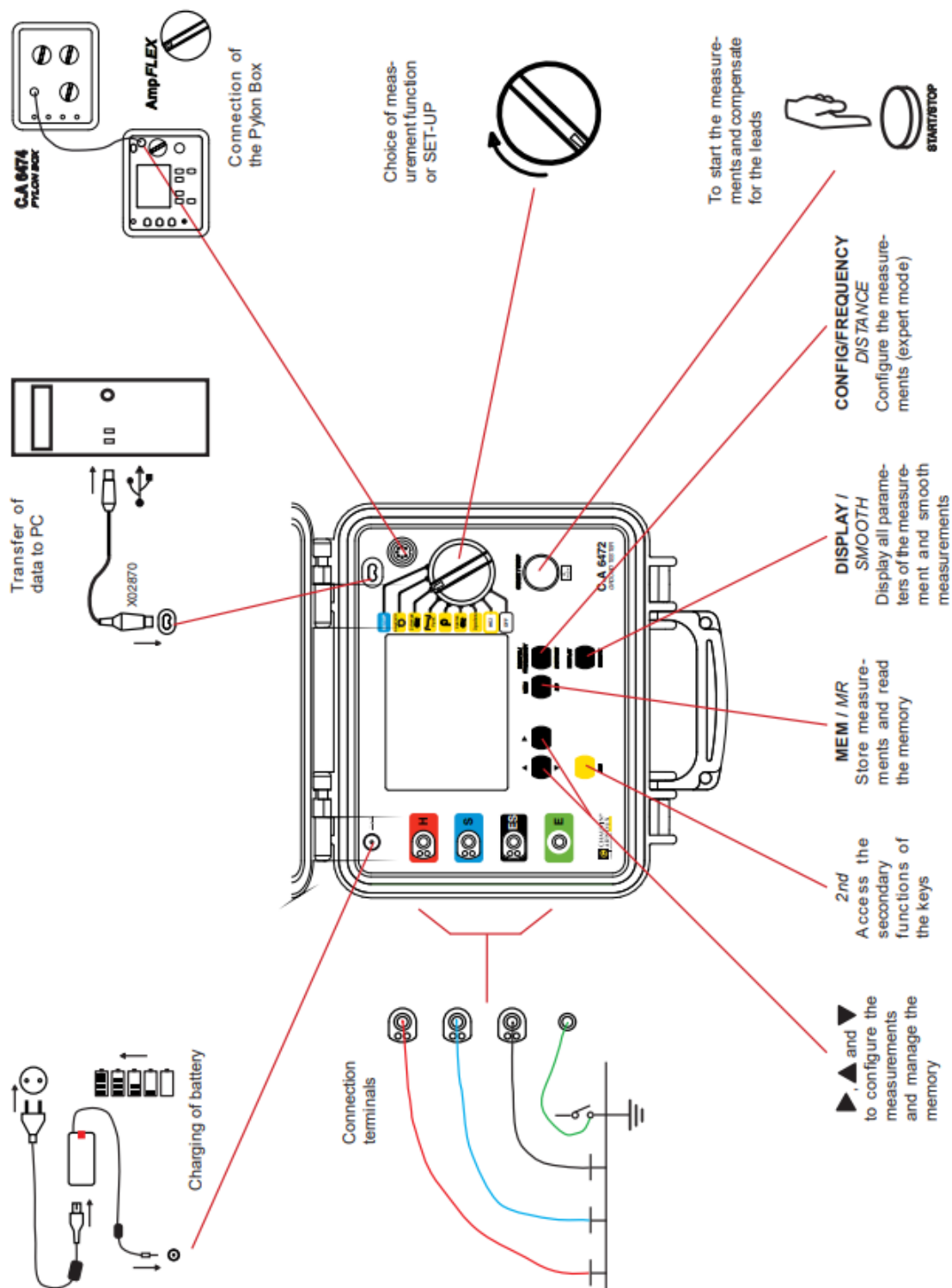
Merania potenciálového spádu boli orientačne vykonané u niektorých podperných bodoch len do vzdialenosti 5 metrov od stožiarovej konštrukcie. Priebeh potenciálu odporúčame zmerať u dodatočne uzemnených podperných bodov na základe predpokladu, že by mohol byť prítomný zemnič na vyrovnanie potenciálu. Metodika výpočtu dotykových napätí z normy PNE 333300-1 totiž rieši len rozhranie betón-pôda a prípadné obvodové zemniče neberie do úvahy. V prípade, že z orientačného merania priebehu potenciálu vychádzajú neisté výsledky, odporúčame dodatočne premerať potenciálový spád do vzdialenosti 10 metrov od stožiarovej konštrukcie po kroku 0,5 metra vo viacerých smeroch pre následné vyhodnotenie krokových napätí a zároveň vo vhodnom matematickom softvéri namodelovať prúdy tečúce do zeme pre presnejší prepočet z merania. Norma PNE 33 3300 však nepožaduje merania krokových napätí a uvádza, že sa merajú len vo zdôvodnených prípadoch. Vysoké krokové napätie je nebezpečné hlavne pre hospodárske zvieratá.

Literatúra

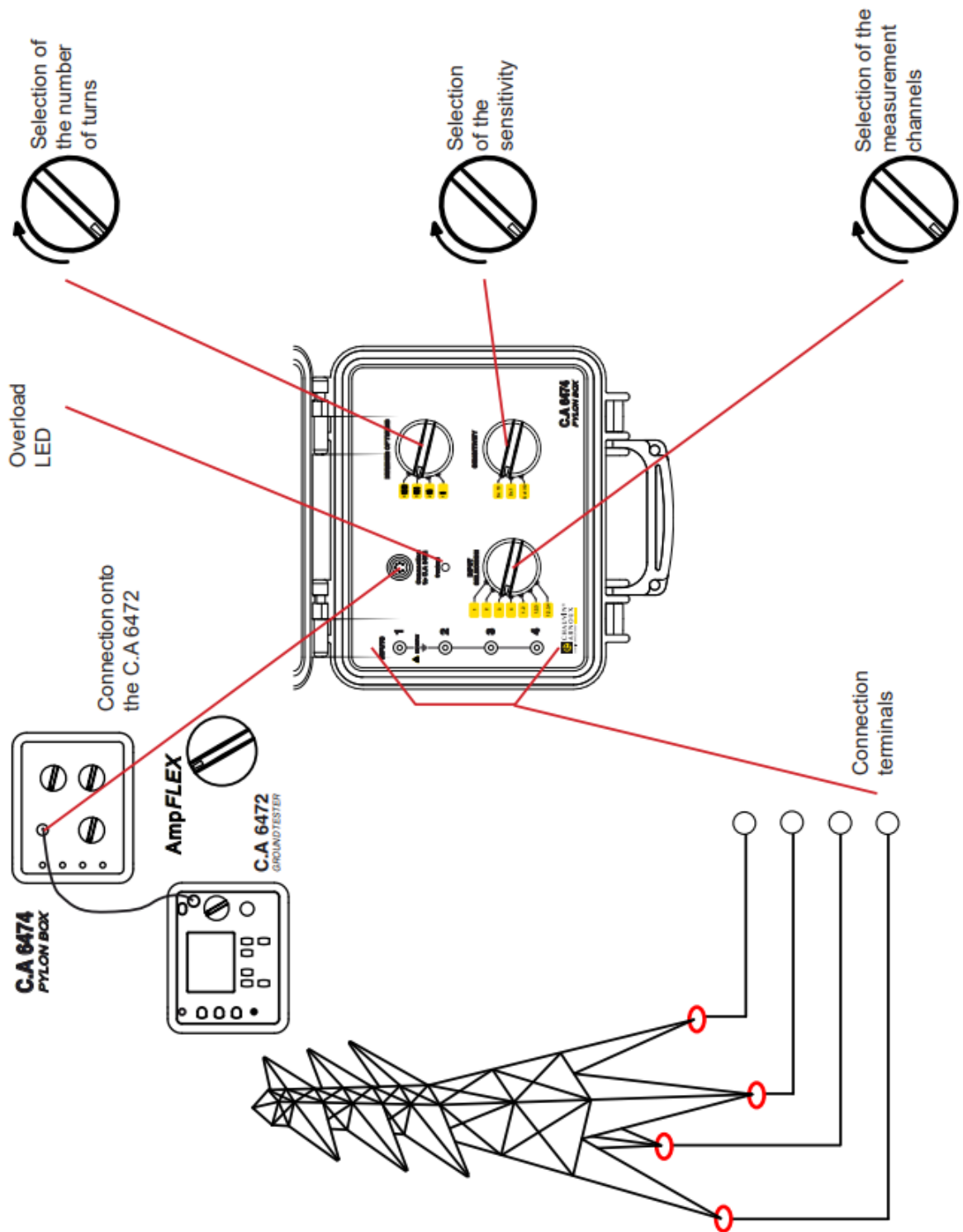
- [1] OSOLSOBĚ, Jan a Mirko ZAPLETAL. *Zemnění a bezpečnost*. Praha: ČSAV, 1964, 792 s.
- [2] MEDUNA, Vladimír a Ctirad KOUDELKA. *Účinky elektrického proudu na lidský organismus*. Ostrava: VŠB-TU, 2006.
- [3] TOMAN, Petr a kol. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [4] KOČVARA, Antonín. *Uzemňování elektrických zařízení*. Praha: STRO.M, 1995.
- [5] NOVOTNÝ, Václav. *Uzemnění a jeho měření*. Praha: SNTL, 1973.
- [6] ČSN EN 50522 *Uzemňování elektrických instalací AC nad 1 kV*. 60 stran. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [7] *PNE 33 0000-1 ed.6.: Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě*. Praha: ČSRES, 2017.
- [8] *PNE 33 0000-4 ed.4.: Příklady výpočtů uzemňovacích soustav v distribuční a přenosové soustavě dodavatele elektřiny*. Praha: ČSRES, 2018.
- [9] *PNE 33 3301 ed.4.: Uzemnění vedení vn a DTS vn/nn*. Praha: ČSRES, 2019.
- [10] *PNE 33 3301-1 ed.1.: Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně* Praha: ČSRES, 2019.
- [11] *PNE 33 3300 ed.2.: Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV*. Praha: ČSRES, 2019.
- [12] *PNE 33 3300-1: Metodika měření a vyhodnocování uzemnění venkovních vedení vvn a zvn*. Praha: ČSRES, 2017.
- [13] *User's manual C.A 6472 Chauvin Arnoux* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/HLHBFLOT.PDF>
- [14] *User's manual C.A 6474 Chauvin Arnoux* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/HLHBFNHO.PDF>
- [15] *EARTH MEASUREMENT ON PYLONS WITH PROTECTIVE EARTH CABLE*. Chauvin Arnoux [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/D00TEC90.PDF>

- [16] *Datasheet MRU-200* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: https://www.sonel.pl/media/product_attachments/datasheet_MRU-200_en_v15_2YYLBT9.pdf
- [17] *Datasheet ERP-1* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: https://www.sonel.pl/media/product_attachments/datasheet_ERP-1_en_v2.0.pdf
- [18] *User manual METER MRU-200* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: https://www.sonel.pl/media/filer_public/f4/86/f486891b-75d1-42bf-b1da-49622bc2977c/mru-200_insobs_v51_ang_kpl.pdf
- [19] *User manual ERP-1* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: https://www.sonel.pl/media/filer_public/09/ba/09ba3204-a931-43a9-b659-d7b850e6e867/erp-1_insobs_v15_en_kpl.pdf

A Obrázkové prílohy



Obr. A.1: Popis prednej časti prístroja C.A. 6472[13]



Obr. A.2: Popis prednej časti prístroja C.A. 6474[14]



Obr. A.3: Popis prednej časti prístroja Sonel MRU-200[18]



Obr. A.4: Popis prednej časti prístroja Sonel ERP-1[19]

B Tabuľkové prílohy

Dotykové napätie U_T (V)	Celková impedancia ľudského tela Z_B (Ω)
25	3250
50	2625
75	2200
100	1875
125	1625
220	1350
700	1100
1000	1050

Tab. B.1: Celková impedancia tela Z_B v závislosti na dotykovom napätí U_T pre prúdovú dráhu ruka-ruka alebo ruka-noha [11]

Trvanie poruchy t_F (s)	Dovolené dotykové napätie U_{Tp} (V)
0,05	735
0,10	633
0,20	528
0,50	204
1,00	107
2,00	90
5,00	81
10,00	80

Tab. B.2: Hodnoty dovoleného dotykového napätia U_{Tp} v ako funkcia trvania poruchy [11]

Mesiac	0,5	1	2	3	4	5	6	6,5	7	7,5	8
Suché obd.	1	1	1,02	1,06	1,13	1,21	1,31	1,36	1,39	1,4	1,37
Daždivé obd.	1,28	1,28	1,29	1,37	1,49	1,66	1,86	1,94	1,99	2	1,99

Mesiac	8,5	9	10	11	11,5	12
Suché obd.	1,33	1,28	1,18	1,1	1,04	1,01
Daždivé obd.	1,93	1,83	1,61	1,44	1,32	1,29

Tab. B.3: Korekcia merania rezistivity na ročné obdobie a zrážky [12]

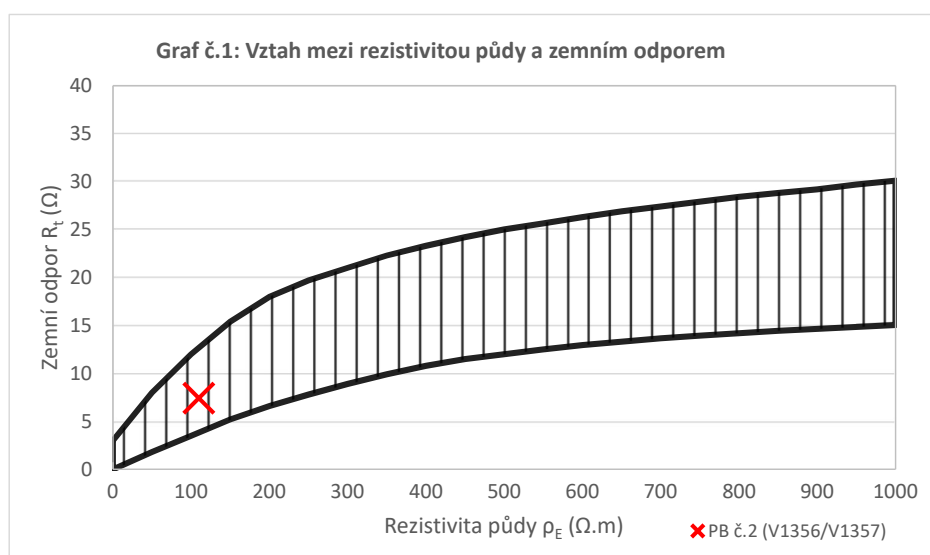
C Revízní správy z meraní

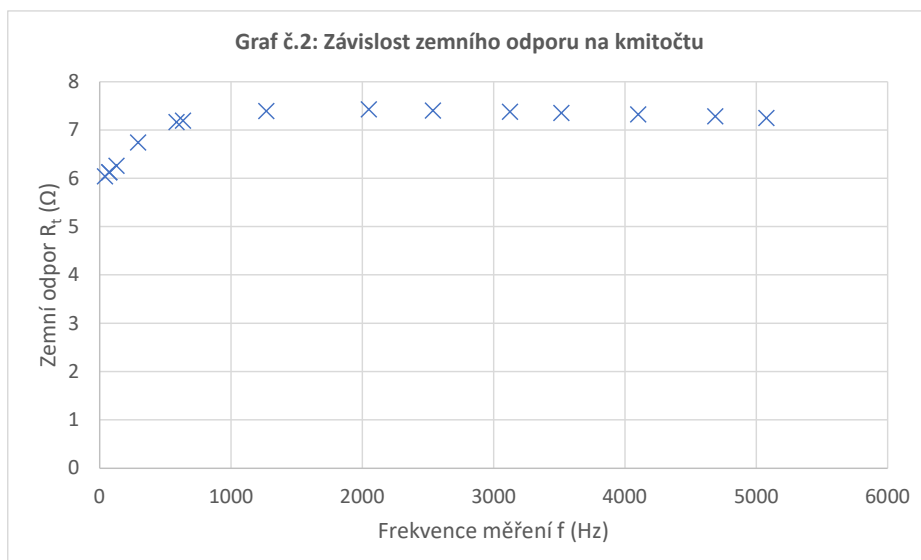
C.1 PB č.2 - V1356/V1357

Tabulka č.1: Výsledky měření uzemnění

Číslo podpěrného bodu	2 (V1356/V1357)
Typ stožárové konstrukce	soudek kotevní
Datum měření	24.02.2020
Čas měření	11:28
Teplota vzduchu (°C)	7
Stav půdy (srážky)	mokrá
Měřicí přístroje	C.A. 6472, C.A. 6474
Metoda měření zemního odporu	4-pólová metoda
Metoda měření rezistivity půdy	Wennerova metoda
Typ půdy	louka
Strojený zemnič	NE
Zemní odpor R_t (Ω)	7,4
Pasivní měření (50 Hz) R_{pass} (Ω)	8,156
Proud měření (I_{SEL}) (mA)	6,11
Odpor proudové sondy R_H (Ω)	555,8
Odpor napěťové sondy R_S (Ω)	210,6
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 41 Hz	0,64
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 73 Hz	0,684
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 50 Hz	0,652
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 1m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_1	82,18
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 3m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_2	117,63
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 5m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_3	151,22
Celková rezistivita půdy ($\Omega.m$) - ρ_E	110

$R_t < 10 \Omega$ Uzemnění vyhovuje z hlediska účinků blesku.





Tabulka č.2: Parametry vedení

Doba vypnutí poruchy t_F (s)	0,1
Jednofázový zkratový proud I_k (kA)	8,3
Redukční činitel vedení r (-)	0,6
Činitel současného působení zdrojů zkrat. proudů w (-)	0,7

Výpočet dovoleného dotykového napětí U_D :

$$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + (R_a + 1,5 \rho_E / Z_B(U_{Tp})))$$

$$U_D(0,1) = 633 \cdot (1 + (1000 + 1,5 \cdot 110 / 851,175))$$

$$\mathbf{U_D(0,1) = 1499 V}$$

Výpočet proudu I_t podpěrným bodem při zkratu:

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot Z_E / R_t$$

$$I_t = 0,7 \cdot 0,6 \cdot 8,3 \cdot 10^3 \cdot 0,652 / 7,4$$

$$\mathbf{I_t = 307,1 A}$$

Výpočet nárůstu potenciálu zemniče U_E :

$$U_E = R_t \cdot I_t$$

$$\mathbf{U_E = 7,4 \cdot 307,1 = 2265 V}$$

$U_E < 2 \cdot U_D$	Podmínka je splněna.
---------------------	----------------------

Výpočet skutečného dotykového napětí U_d :

$$U_d = U_E / (1 + a_{eq})$$

$$U_d = 2265 / (1 + 0,76) = 1287 V$$

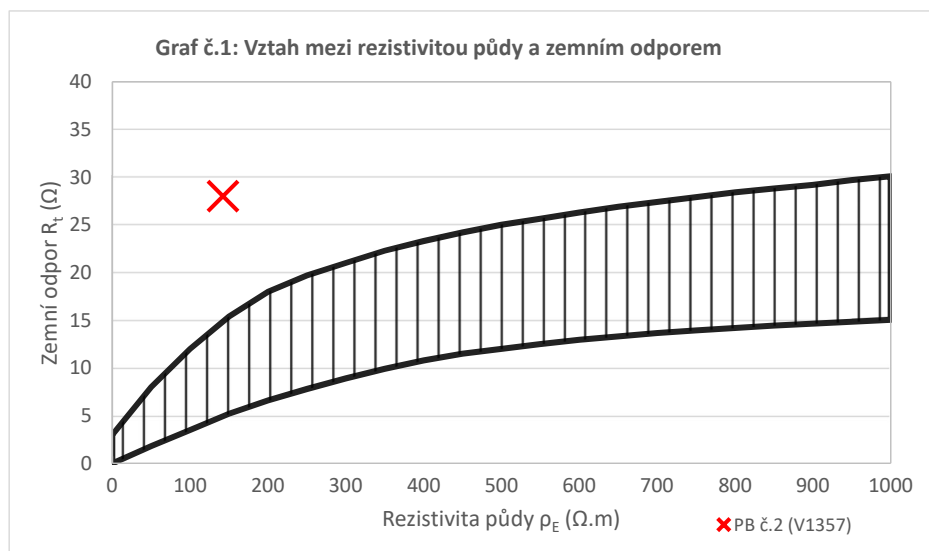
$U_d < U_D$	Podmínka je splněna.
-------------	----------------------

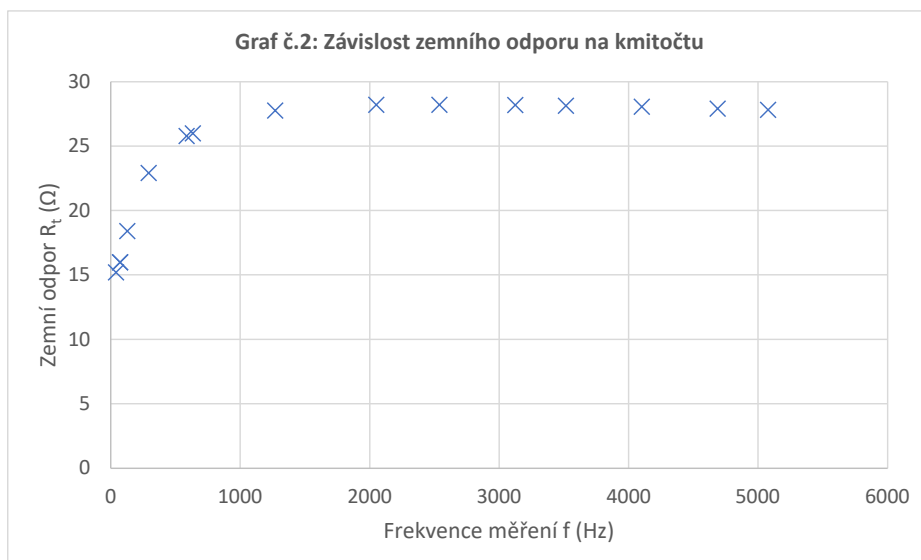
C.2 PB č.2 - V1357

Tabulka č.1: Výsledky měření uzemnění

Číslo podpěrného bodu	2 (V1357)
Typ stožárové konstrukce	soudek kotevní
Datum měření	24.02.2020
Čas měření	11:58
Teplota vzduchu (°C)	7
Stav půdy (srážky)	mokrá
Měřicí přístroje	C.A. 6472, C.A. 6474
Metoda měření zemního odporu	4-pólová metoda
Metoda měření rezistivity půdy	Wennerova metoda
Typ půdy	louka
Strojený zemnič	NE
Zemní odpor R_t (Ω)	28
Pasivní měření (50 Hz) R_{pass} (Ω)	29,1
Proud měření (I_{SEL}) (mA)	2,39
Odpor proudové sondy R_H (Ω)	310,2
Odpor napěťové sondy R_S (Ω)	329,2
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 41 Hz	0,335
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 73 Hz	0,381
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 50 Hz	0,348
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 1m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_1	108,81
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 3m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_2	151
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 5m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_3	189,39
Celková rezistivita půdy ($\Omega.m$) - ρ_E	142,2

$R_t \geq 10 \Omega$ Uzemnění nevyhovuje z hlediska účinků blesku.





Tabulka č.2: Parametry vedení

Doba vypnutí poruchy t_f (s)	0,1
Jednofázový zkratový proud I_k (kA)	8,3
Redukční činitel vedení r (-)	0,59
Činitel současného působení zdrojů zkrat. proudů w (-)	0,7

Výpočet dovoleného dotykového napětí U_D :

$$U_D(t_f) = U_{Tp}(t_f) \cdot (1 + (R_a + 1,5 \rho_E / Z_B(U_{Tp})))$$

$$U_D(0,1) = 633 \cdot (1 + (1000 + 1,5 \cdot 142,2 / 851,175))$$

$$U_D(0,1) = 1535 \text{ V}$$

Výpočet proudu I_t podpěrným bodem při zkratu:

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot Z_E / R_t$$

$$I_t = 0,7 \cdot 0,59 \cdot 8,3 \cdot 10^3 \cdot 0,348 / 28$$

$$I_t = 42,6 \text{ A}$$

Výpočet nárůstu potenciálu zemniče U_E :

$$U_E = R_t \cdot I_t$$

$$U_E = 28 \cdot 42,6 = 1192 \text{ V}$$

$$U_E < 2 \cdot U_D \quad \text{Podmínka je splněna.}$$

Výpočet skutečného dotykového napětí U_d :

$$U_d = U_E / (1 + a_{eq})$$

$$U_d = 1192 / (1 + 0,9532) = 610 \text{ V}$$

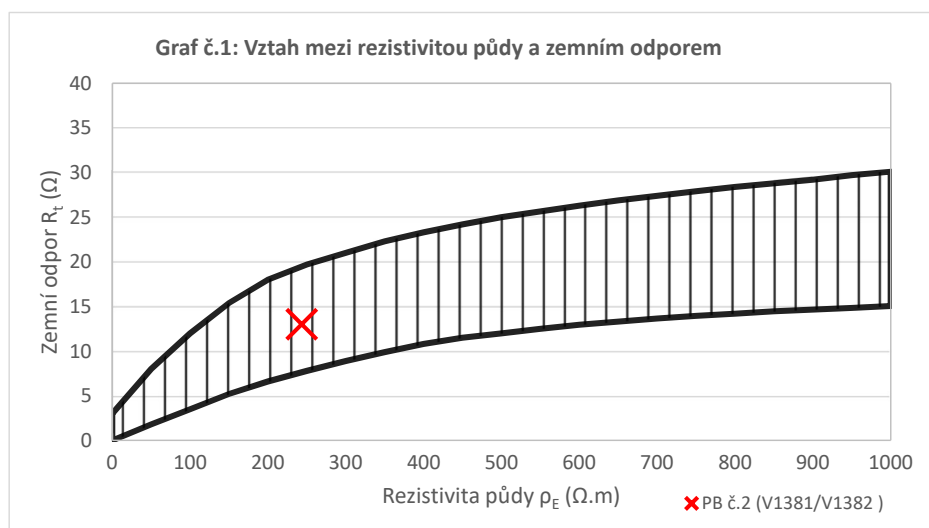
$$U_d < U_D \quad \text{Podmínka je splněna.}$$

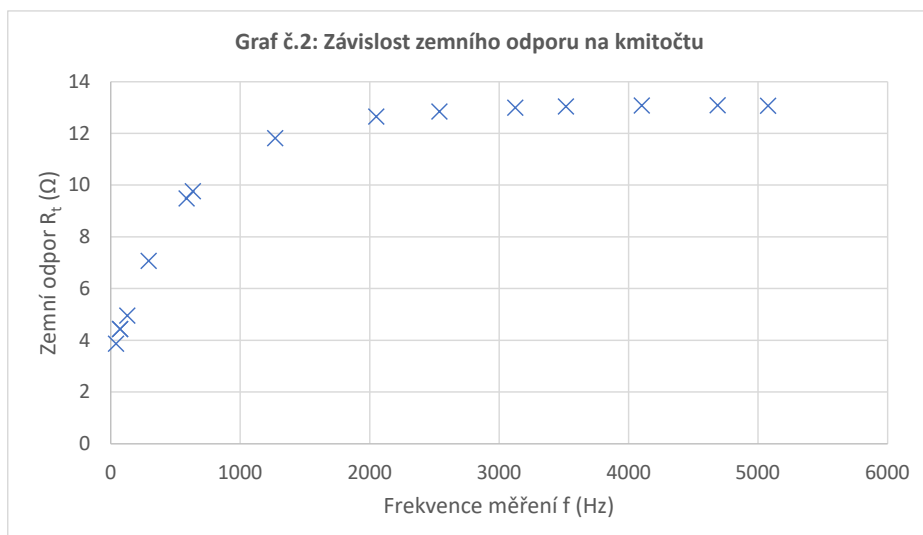
C.3 PB č.2 - V1381/1382

Tabulka č.1: Výsledky měření uzemnění

Číslo podpěrného bodu	2 (V1381/V1382)
Typ stožárové konstrukce	soudek kotevní
Datum měření	24.02.2020
Čas měření	12:41
Teplota vzduchu (°C)	7
Stav půdy (srážky)	mokrá
Měřicí přístroje	C.A. 6472, C.A. 6474
Metoda měření zemního odporu	4-pólová metoda
Metoda měření rezistivity půdy	Wennerova metoda
Typ půdy	louka
Strojený zemnič	ANO
Zemní odpor R_t (Ω)	13
Pasivní měření (50 Hz) R_{pass} (Ω)	43,16
Proud měření (I_{SEL}) (mA)	3,79
Odpor proudové sondy R_H (Ω)	789,3
Odpor napěťové sondy R_S (Ω)	180,2
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 41 Hz	0,382
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 73 Hz	0,425
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 50 Hz	0,394
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 1m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_1	236,03
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 3m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_2	246,4
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 5m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_3	247,86
Celková rezistivita půdy ($\Omega.m$) - ρ_E	243,3

$R_t \geq 10 \Omega$ Uzemnění nevyhovuje z hlediska účinků blesku.





Tabulka č.2: Parametry vedení

Doba vypnutí poruchy t_F (s)	0,1
Jednofázový zkratový proud I_k (kA)	8,3
Redukční činitel vedení r (-)	0,57
Činitel současného působení zdrojů zkrat. proudů w (-)	0,7

Výpočet dovoleného dotykového napětí U_D :

$$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + (R_a + 1,5 \rho_E / Z_B(U_{Tp})))$$

$$U_D(0,1) = 633 \cdot (1 + (1000 + 1,5 \cdot 243,3 / 851,175))$$

$$U_D(0,1) = 1648 \text{ V}$$

Výpočet proudu I_t podpěrným bodem při zkratu:

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot Z_E / R_t$$

$$I_t = 0,7 \cdot 0,57 \cdot 8,3 \cdot 10^3 \cdot 0,394 / 13$$

$$I_t = 100 \text{ A}$$

Výpočet nárůstu potenciálu zemniče U_E :

$$U_E = R_t \cdot I_t$$

$$U_E = 13 \cdot 100,4 = 1305 \text{ V}$$

$U_E < 2 \cdot U_D$	Podmínka je splněna.
---------------------	----------------------

Výpočet skutečného dotykového napětí U_d :

$$U_d = U_E / (1 + a_{eq})$$

$$U_d = 1305 / (1 + 1,47) = 529 \text{ V}$$

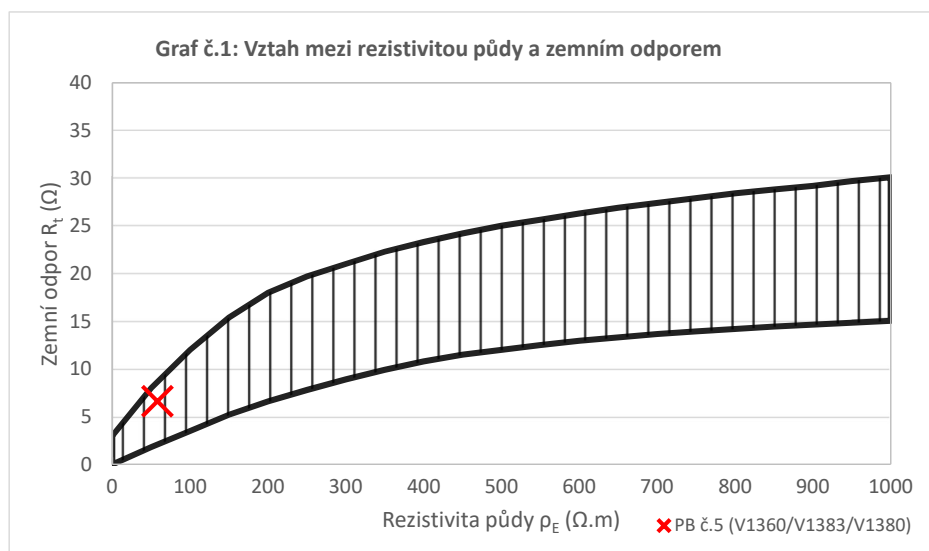
$U_d < U_D$	Podmínka je splněna.
-------------	----------------------

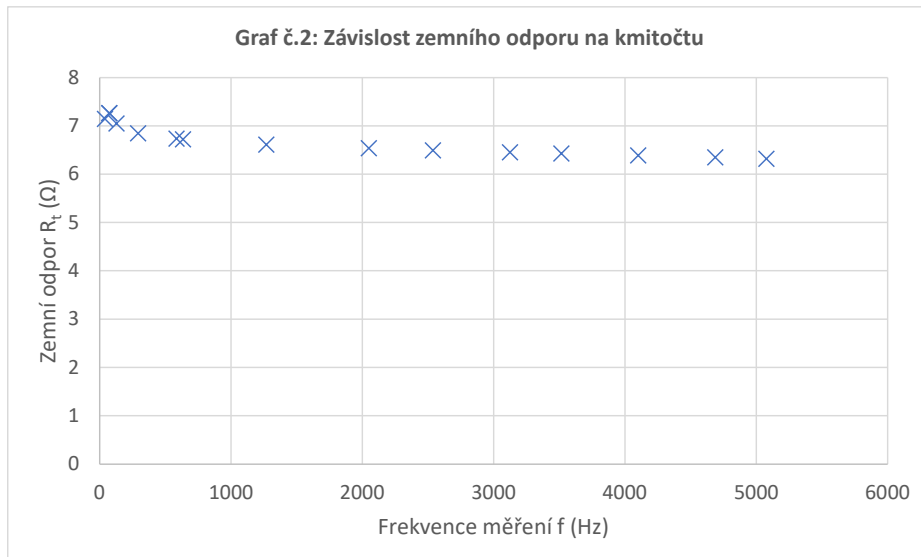
C.4 PB č.5 - V1360/1383/V1380

Tabulka č.1: Výsledky měření uzemnění

Číslo podpěrného bodu	5 (V1360/V1383/V1380)
Typ stožárové konstrukce	soudek nosný
Datum měření	11.03.2020
Čas měření	11:50
Teplota vzduchu (°C)	12
Stav půdy (srážky)	mokrá
Měřicí přístroje	C.A. 6472, C.A. 6474
Metoda měření zemního odporu	4-pólová metoda
Metoda měření rezistivity půdy	Wennerova metoda
Typ půdy	pole
Strojený zemnič	NE
Zemní odpor R_t (Ω)	7
Pasivní měření (50 Hz) R_{pass} (Ω)	6,592
Proud měření (I_{SEL}) (mA)	3,59
Odpor proudové sondy R_H (Ω)	570,7
Odpor napěťové sondy R_S (Ω)	269,8
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 41 Hz	0,239
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 73 Hz	0,335
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 50 Hz	0,266
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 1m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_1	48,2
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 3m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_2	68,8
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 5m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_3	61,6
Celková rezistivita půdy ($\Omega.m$) - ρ_E	58,2

$R_t < 15 \Omega$ Uzemnění vyhovuje z hlediska účinků blesku.





Tabulka č.2: Parametry vedení

Doba vypnutí poruchy t_F (s)	0,1
Jednofázový zkratový proud I_k (kA)	13,5
Redukční činitel vedení r (-)	0,47
Činitel současného působení zdrojů zkrat. proudů w (-)	0,7

Výpočet dovoleného dotykového napětí U_D :

$$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + (R_a + 1,5 \rho_E / Z_B(U_{Tp})))$$

$$U_D(0,1) = 633 \cdot (1 + (1000 + 1,5 \cdot 58,2 / 851,175))$$

$$\mathbf{U_D(0,1) = 1442 V}$$

Výpočet proudu I_t podpěrným bodem při zkratu:

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot Z_E / R_t$$

$$I_t = 0,7 \cdot 0,47 \cdot 13,5 \cdot 10^3 \cdot 0,266 / 7$$

$$\mathbf{I_t = 168,8 A}$$

Výpočet nárůstu potenciálu zemniče U_E :

$$U_E = R_t \cdot I_t$$

$$\mathbf{U_E = 7 \cdot 168,8 = 1181 V}$$

$U_E < 2 \cdot U_D$	Podmínka je splněna.
---------------------	----------------------

Výpočet skutečného dotykového napětí U_d :

$$U_d = U_E / (1 + a_{eq})$$

$$U_d = 1181 / (1 + 0,533) = 770 V$$

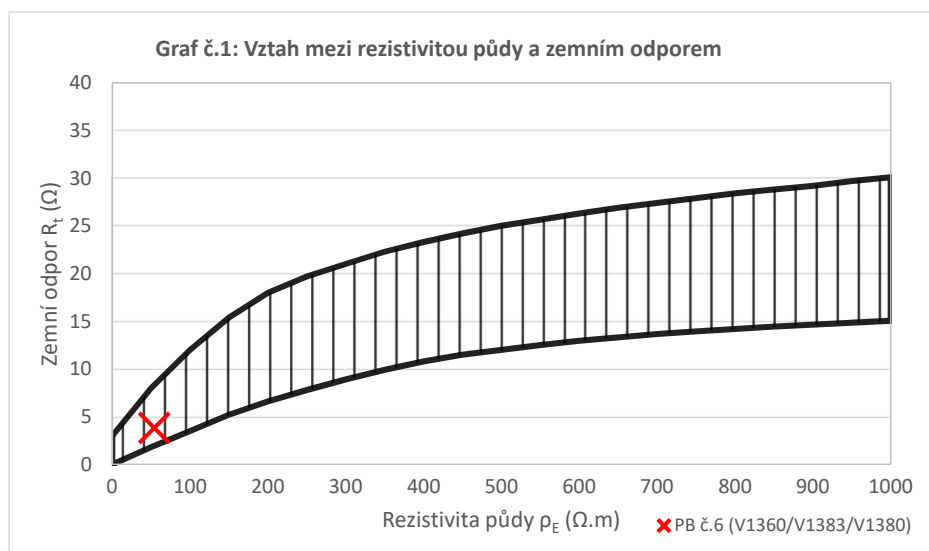
$U_d < U_D$	Podmínka je splněna.
-------------	----------------------

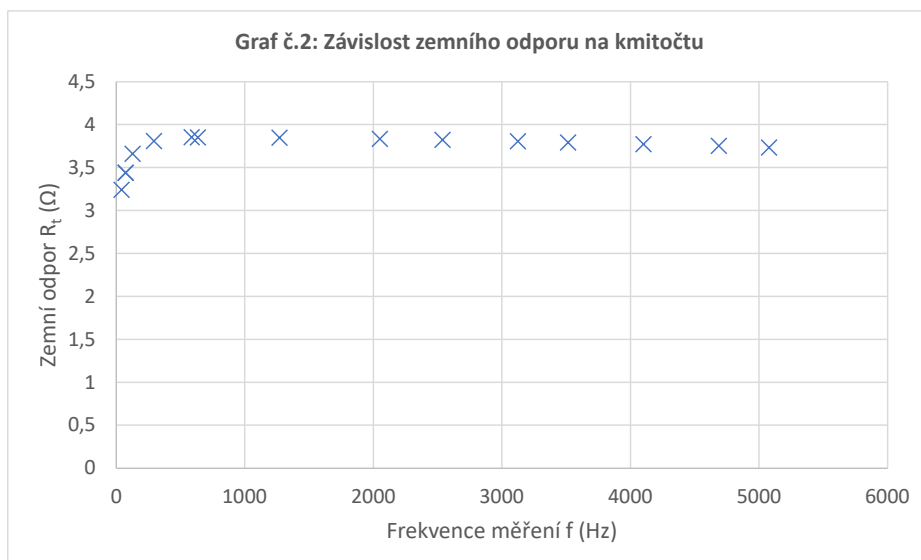
C.5 PB č.6 - V1360/1383/V1380

Tabulka č.1: Výsledky měření uzemnění

Číslo podpěrného bodu	6 (V1360/V1383/V1380)
Typ stožárové konstrukce	soudek kotevní
Datum měření	11.3.2020
Čas měření	11:06
Teplota vzduchu (°C)	12
Stav půdy (srážky)	mokrá
Měřicí přístroje	C.A. 6472, C.A. 6474
Metoda měření zemního odporu	4-pólová metoda
Metoda měření rezistivity půdy	Wennerova metoda
Typ půdy	pole
Strojený zemnič	NE
Zemní odpor R_t (Ω)	3,8
Pasivní měření (50 Hz) R_{pass} (Ω)	1,697
Proud měření (I_{SEL}) (mA)	3,21
Odpor proudové sondy R_H (Ω)	867,7
Odpor napěťové sondy R_S (Ω)	964,5
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 41 Hz	0,188
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 73 Hz	0,241
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 50 Hz	0,203
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 1m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_1	36,1
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 3m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_2	74,8
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 5m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_3	68,8
Celková rezistivita půdy ($\Omega.m$) - ρ_E	54

$R_t < 10 \Omega$ Uzemnění vyhovuje z hlediska účinků blesku.





Tabulka č.2: Parametry vedení

Doba vypnutí poruchy t_F (s)	0,1
Jednofázový zkratový proud I_k (kA)	13,3
Redukční činitel vedení r (-)	0,47
Činitel současného působení zdrojů zkrat. proudů w (-)	0,7

Výpočet dovoleného dotykového napětí U_D :

$$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + (R_a + 1,5 \rho_E / Z_B(U_{Tp})))$$

$$U_D(0,1) = 633 \cdot (1 + (1000 + 1,5 \cdot 54 / 851,175))$$

$$\mathbf{U_D(0,1) = 1437 V}$$

Výpočet proudu I_t podpěrným bodem při zkratu:

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot Z_E / R_t$$

$$I_t = 0,7 \cdot 0,47 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot 0,203 / 3,8$$

$$\mathbf{I_t = 233,8 A}$$

Výpočet nárůstu potenciálu zemniče U_E :

$$U_E = R_t \cdot I_t$$

$$\mathbf{U_E = 3,8 \cdot 233,8 = 886 V}$$

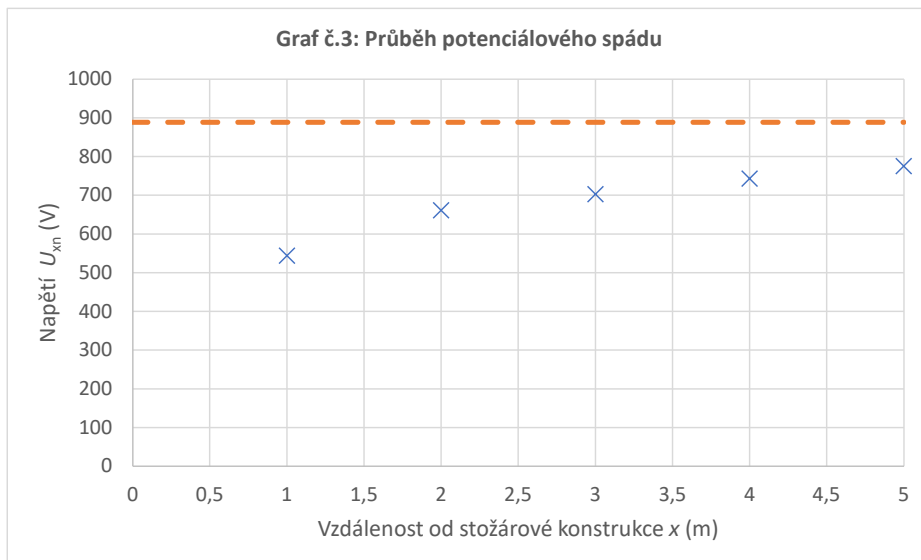
$U_E < 2 \cdot U_D$	Podmínka je splněna.
---------------------	----------------------

Výpočet skutečného dotykového napětí U_d :

$$U_d = U_E / (1 + a_{eq})$$

$$\mathbf{U_d = 886 / (1 + 0,516) = 584 V}$$

$U_d < U_D$	Podmínka je splněna.
-------------	----------------------



Výpočet dotykového napětí U_d z měření potenciálového spádu:

$$U_d = U_{S-ES} \cdot I_{t(128\text{Hz})} / I_{SEL}$$

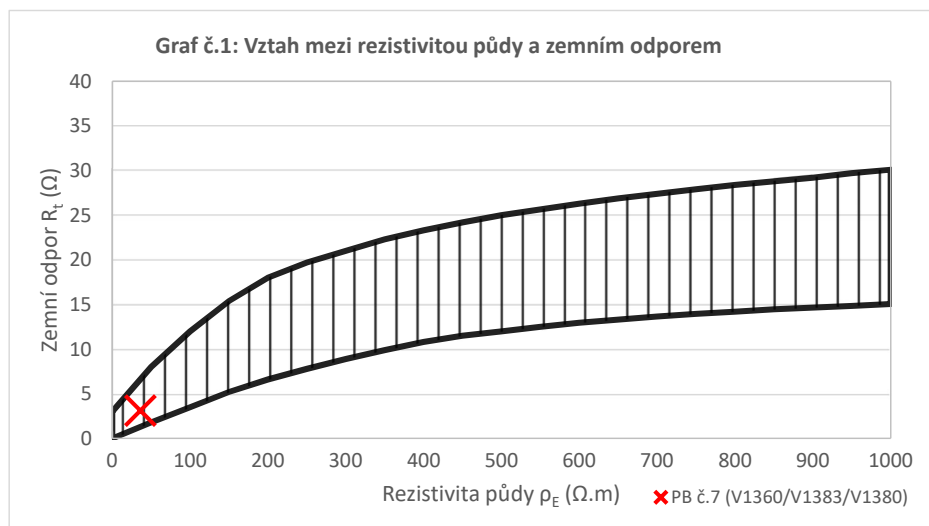
$$U_d = 7,33 \cdot 242,7 / 3,27 = 544 \text{ V}$$

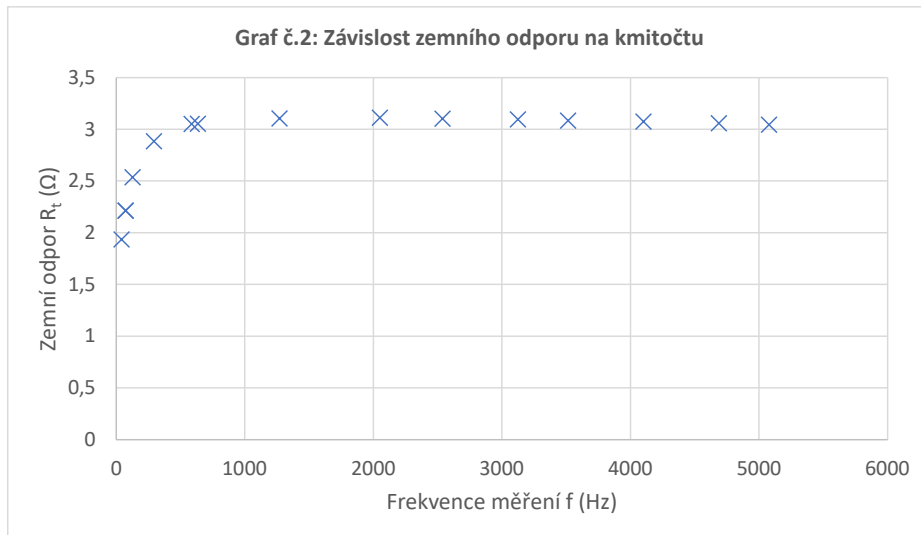
C.6 PB č.7 - V1360/1383/V1380

Tabulka č.1: Výsledky měření uzemnění

Číslo podpěrného bodu	7 (V1360/V1383/V1380)
Typ stožárové konstrukce	soudek kotevní
Datum měření	11.03.2020
Čas měření	10:18
Teplota vzduchu (°C)	12
Stav půdy (srážky)	mokrá
Měřicí přístroje	C.A. 6472, C.A. 6474
Metoda měření zemního odporu	4-pólová metoda
Metoda měření rezistivity půdy	Wennerova metoda
Typ půdy	pole
Strojený zemnič	NE
Zemní odpor R_t (Ω)	3,1
Pasivní měření (50 Hz) R_{pass} (Ω)	4,232
Proud měření (I_{SEL}) (mA)	4,29
Odpor proudové sondy R_H (Ω)	274,1
Odpor napěťové sondy R_S (Ω)	249
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 41 Hz	0,066
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 73 Hz	0,079
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 50 Hz	0,07
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 1m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_1	37
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 3m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_2	37,5
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 5m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_3	34,6
Celková rezistivita půdy ($\Omega.m$) - ρ_E	36,3

$R_t < 10 \Omega$ Uzemnění vyhovuje z hlediska účinků blesku.





Tabulka č.2: Parametry vedení

Doba vypnutí poruchy t_F (s)	0,1
Jednofázový zkratový proud I_k (kA)	13,2
Redukční činitel vedení r (-)	0,48
Činitel současného působení zdrojů zkrat. proudů w (-)	0,7

Výpočet dovoleného dotykového napětí U_D :

$$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + (R_a + 1,5\rho_E/Z_B(U_{Tp})))$$

$$U_D(0,1) = 633 \cdot (1 + (1000 + 1,5 \cdot 36,3/851,175))$$

$$U_D(0,1) = 1417 \text{ V}$$

Výpočet proudu I_t podpěrným bodem při zkratu:

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot Z_E / R_t$$

$$I_t = 0,7 \cdot 0,48 \cdot 13,2 \cdot 10^3 \cdot 0,07 / 3,1$$

$$I_t = 100 \text{ A}$$

Výpočet nárůstu potenciálu zemniče U_E :

$$U_E = R_t \cdot I_t$$

$$U_E = 3,1 \cdot 100 = 310 \text{ V}$$

$U_E < 2 \cdot U_D$	Podmínka je splněna.
---------------------	----------------------

Výpočet skutečného dotykového napětí U_d :

$$U_d = U_E / (1 + a_{eq})$$

$$U_d = 310 / (1 + 0,454) = 213 \text{ V}$$

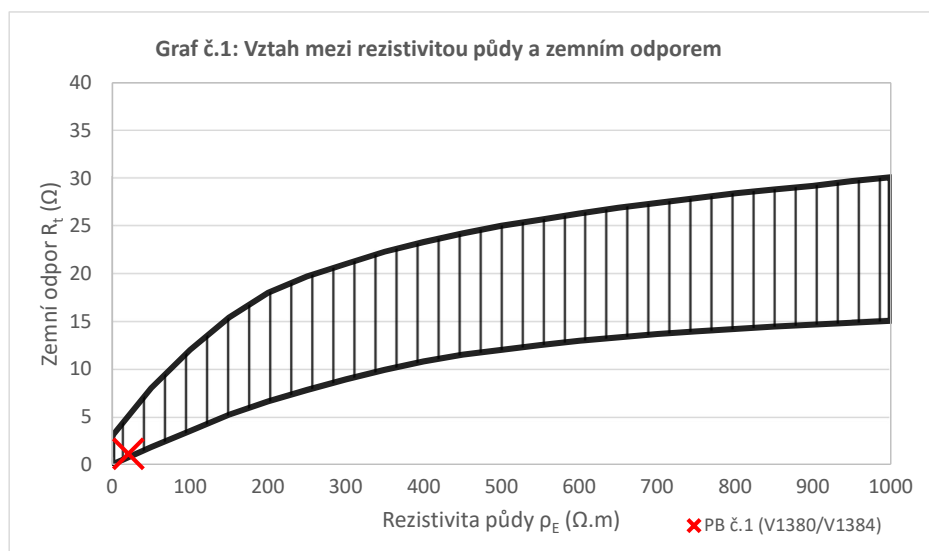
$U_d < U_D$	Podmínka je splněna.
-------------	----------------------

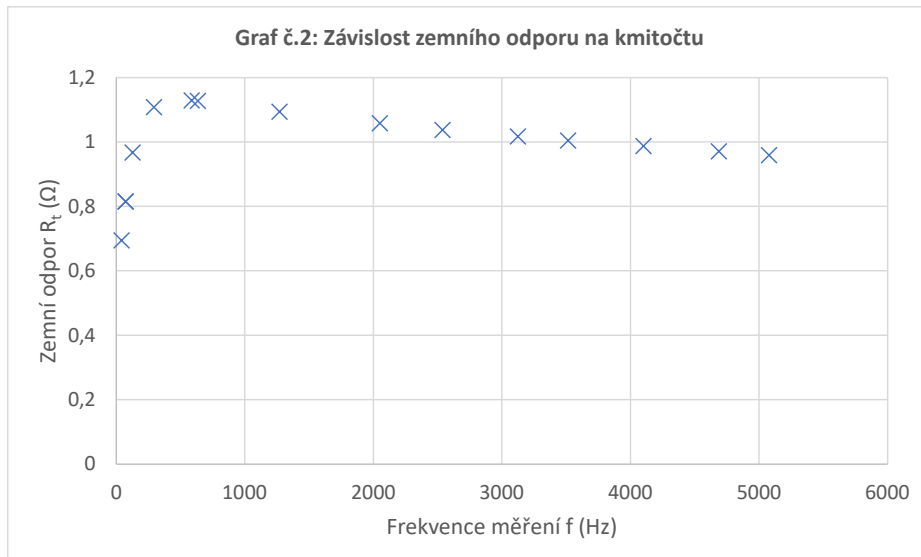
C.7 PB č.1 - V1380/V1384

Tabulka č.1: Výsledky měření uzemnění

Číslo podpěrného bodu	1 (V1380/V1384)
Typ stožárové konstrukce	soudek kotevní
Datum měření	11.03.2020
Čas měření	13:21
Teplota vzduchu (°C)	13
Stav půdy (srážky)	mokrá
Měřicí přístroje	C.A. 6472, C.A. 6474
Metoda měření zemního odporu	4-pólová metoda
Metoda měření rezistivity půdy	Wennerova metoda
Typ půdy	pole
Strojený zemnič	ANO
Zemní odpor R_t (Ω)	1,1
Pasivní měření (50 Hz) R_{pass} (Ω)	0,879
Proud měření (I_{SEL}) (mA)	14,8
Odpor proudové sondy R_H (Ω)	192,4
Odpor napěťové sondy R_S (Ω)	105,1
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 41 Hz	0,059
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 73 Hz	0,078
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 50 Hz	0,064
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 1m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_1	29,34
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 3m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_2	18,6
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 5m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_3	17,59
Celková rezistivita půdy ($\Omega.m$) - ρ_E	20,7

$R_t < 10 \Omega$ Uzemnění vyhovuje z hlediska účinků blesku.





Tabulka č.2: Parametry vedení

Doba vypnutí poruchy t_F (s)	0,1
Jednofázový zkratový proud I_k (kA)	32,5
Redukční činitel vedení r (-)	0,65
Činitel současného působení zdrojů zkrat. proudů w (-)	0,7

Výpočet dovoleného dotykového napětí U_D :

$$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + (R_a + 1,5 \rho_E / Z_B(U_{Tp})))$$

$$U_D(0,1) = 633 \cdot (1 + (1000 + 1,5 \cdot 20,7 / 851,175))$$

$$U_D(0,1) = 1400 \text{ V}$$

Výpočet proudu I_t podpěrným bodem při zkratu:

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot Z_E / R_t$$

$$I_t = 0,7 \cdot 0,65 \cdot 32,5 \cdot 10^3 \cdot 0,064 / 1,1$$

$$I_t = 860 \text{ A}$$

Výpočet nárůstu potenciálu zemniče U_E :

$$U_E = R_t \cdot I_t$$

$$U_E = 1,1 \cdot 860 = 946 \text{ V}$$

$$U_E < 2 \cdot U_D \quad \text{Podmínka je splněna.}$$

Výpočet skutečného dotykového napětí U_d :

$$U_d = U_E / (1 + a_{eq})$$

$$U_d = 946 / (1 + 0,402) = 675 \text{ V}$$

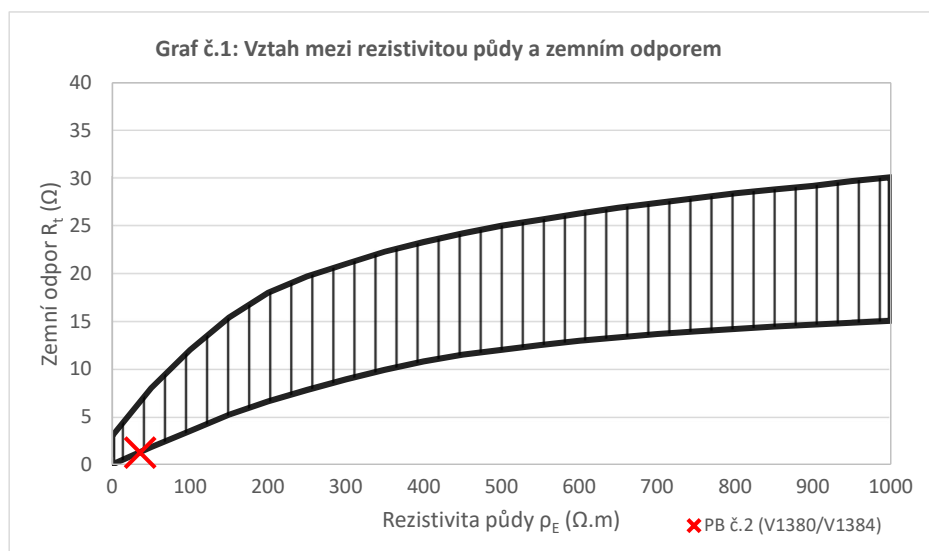
$$U_d < U_D \quad \text{Podmínka je splněna.}$$

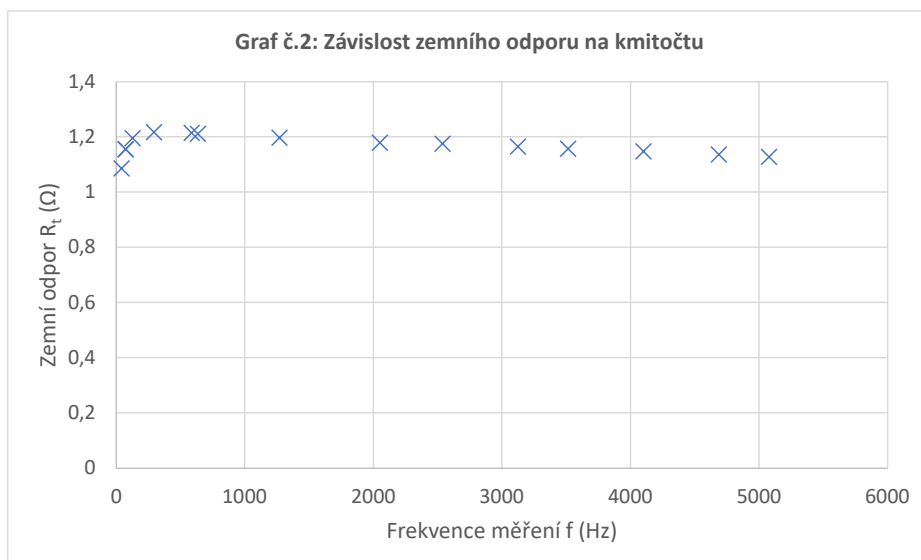
C.8 PB č.2 - V1380/V1384

Tabulka č.1: Výsledky měření uzemnění

Číslo podpěrného bodu	2 (V1380/V1384)
Typ stožárové konstrukce	soudek kotevní
Datum měření	18.05.2020
Čas měření	9:52
Teplota vzduchu (°C)	18
Stav půdy (srážky)	mokrá
Měřicí přístroje	C.A. 6472, C.A. 6474
Metoda měření zemního odporu	4-pólová metoda
Metoda měření rezistivity půdy	Wennerova metoda
Typ půdy	louka
Strojený zemnič	ANO
Zemní odpor R_t (Ω)	1,21
Pasivní měření (50 Hz) R_{pass} (Ω)	1,419
Proud měření (I_{SEL}) (mA)	11,2
Odpor proudové sondy R_H (Ω)	663,1
Odpor napěťové sondy R_S (Ω)	671,8
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 41 Hz	0,151
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 73 Hz	0,207
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 50 Hz	0,167
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 1m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_1	32,79
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 3m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_2	32,43
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 5m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_3	45,58
Celková rezistivita půdy ($\Omega.m$) - ρ_E	36

$R_t < 10 \Omega$ Uzemnění vyhovuje z hlediska účinků blesku.





Tabulka č.2: Parametry vedení

Doba vypnutí poruchy t_F (s)	0,1
Jednofázový zkratový proud I_k (kA)	31
Redukční činitel vedení r (-)	0,63
Činitel současného působení zdrojů zkrat. proudů w (-)	0,7

Výpočet dovoleného dotykového napětí U_D :

$$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + (R_a + 1,5 \rho_E / Z_B(U_{Tp})))$$

$$U_D(0,1) = 633 \cdot (1 + (1000 + 1,5 \cdot 36 / 851,175))$$

$$\mathbf{U_D(0,1) = 1417 V}$$

Výpočet proudu I_t podpěrným bodem při zkratu:

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot Z_E / R_t$$

$$I_t = 0,7 \cdot 0,63 \cdot 31 \cdot 10^3 \cdot 0,167 / 1,21$$

$$\mathbf{I_t = 1886,8 A}$$

Výpočet nárůstu potenciálu zemniče U_E :

$$U_E = R_t \cdot I_t$$

$$\mathbf{U_E = 1,21 \cdot 1886,8 = 2285 V}$$

$$U_E < 2 \cdot U_D \quad \text{Podmínka je splněna.}$$

Výpočet skutečného dotykového napětí U_d :

$$U_d = U_E / (1 + a_{eq})$$

$$\mathbf{U_d = 2285 / (1 + 0,453) = 1572 V}$$

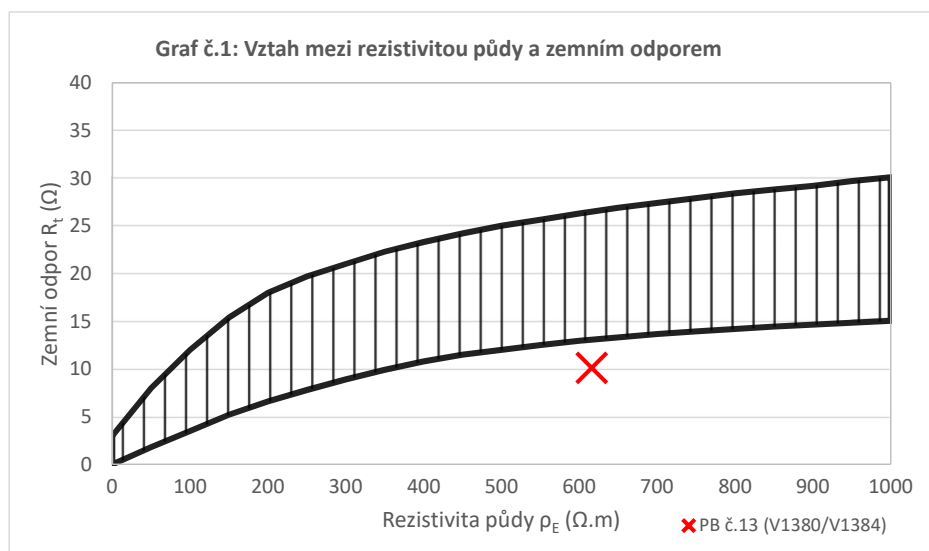
$$U_d \geq U_D \quad \text{Podmínka není splněna.}$$

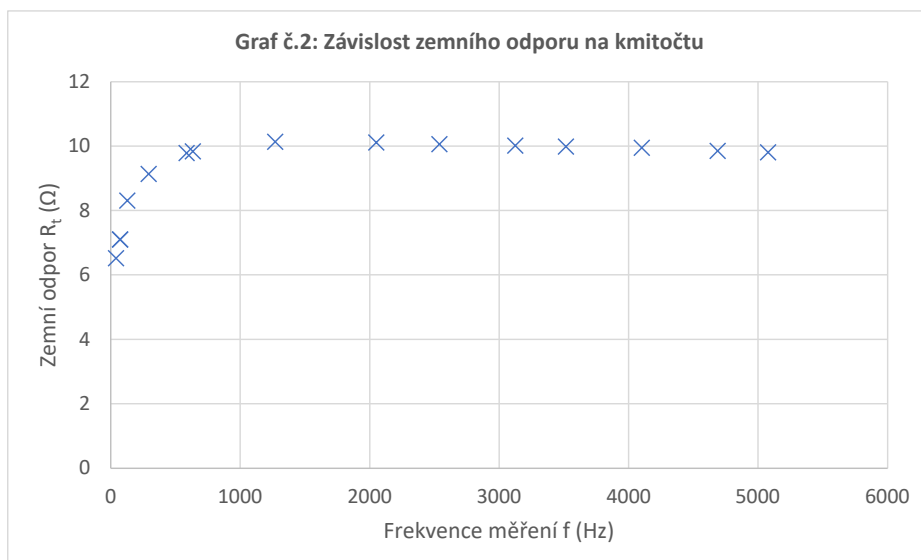
C.9 PB č.13 - V1380/V1384

Tabulka č.1: Výsledky měření uzemnění

Číslo podpěrného bodu	13 (V1380/V1384)
Typ stožárové konstrukce	soudek nosný
Datum měření	18.05.2020
Čas měření	10:37
Teplota vzduchu (°C)	19
Stav půdy (srážky)	mokrá
Měřicí přístroje	C.A. 6472, C.A. 6474
Metoda měření zemního odporu	4-pólová metoda
Metoda měření rezistivity půdy	Wennerova metoda
Typ půdy	louka
Strojený zemnič	ANO
Zemní odpor R_t (Ω)	10,1
Pasivní měření (50 Hz) R_{pass} (Ω)	12,18
Proud měření (I_{SEL}) (mA)	3,11
Odpor proudové sondy R_H (Ω)	944,9
Odpor napěťové sondy R_S (Ω)	574,4
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 41 Hz	0,495
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 73 Hz	0,628
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 50 Hz	0,532
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 1m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_1	431,74
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 3m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_2	815,3
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 5m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_3	752,75
Celková rezistivita půdy ($\Omega.m$) - ρ_E	615,9

$R_t < 15 \Omega$ Uzemnění vyhovuje z hlediska účinků blesku.





Tabulka č.2: Parametry vedení

Doba vypnutí poruchy t_f (s)	0,1
Jednofázový zkratový proud I_k (kA)	18,3
Redukční činitel vedení r (-)	0,55
Činitel současného působení zdrojů zkrat. proudů w (-)	0,7

Výpočet dovoleného dotykového napětí U_D :

$$U_D(t_f) = U_{Tp}(t_f) \cdot (1 + (R_a + 1,5 \rho_E / Z_B(U_{Tp})))$$

$$U_D(0,1) = 633 \cdot (1 + (1000 + 1,5 \cdot 615,9 / 851,175))$$

$$\mathbf{U_D(0,1) = 2064 V}$$

Výpočet proudu I_t podpěrným bodem při zkratu:

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot Z_E / R_t$$

$$I_t = 0,7 \cdot 0,55 \cdot 18,3 \cdot 10^3 \cdot 0,532 / 10,1$$

$$\mathbf{I_t = 371,1 A}$$

Výpočet nárůstu potenciálu zemniče U_E :

$$U_E = R_t \cdot I_t$$

$$\mathbf{U_E = 10,1 \cdot 371,1 = 3740 V}$$

$$U_E < 2 \cdot U_D \quad \text{Podmínka je splněna.}$$

Výpočet skutečného dotykového napětí U_d :

$$U_d = U_E / (1 + a_{eq})$$

$$\mathbf{U_d = 3740 / (1 + 2,848) = 972 V}$$

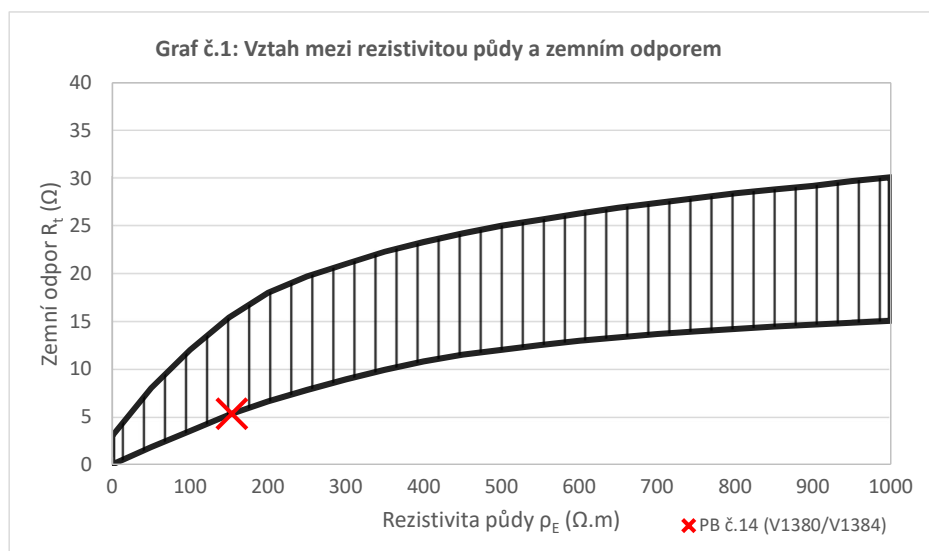
$$U_d < U_D \quad \text{Podmínka je splněna.}$$

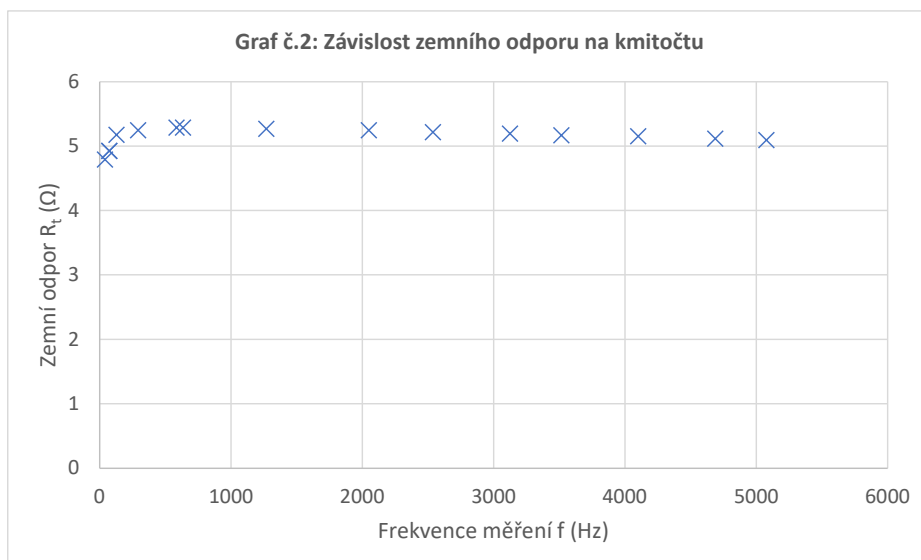
C.10 PB č.14 - V1380/V1384

Tabulka č.1: Výsledky měření uzemnění

Číslo podpěrného bodu	14 (V1380/V1384)
Typ stožárové konstrukce	soudek nosný
Datum měření	18.05.2020
Čas měření	11:02
Teplota vzduchu (°C)	19
Stav půdy (srážky)	mokrá
Měřicí přístroje	C.A. 6472, C.A. 6474
Metoda měření zemního odporu	4-pólová metoda
Metoda měření rezistivity půdy	Wennerova metoda
Typ půdy	louka
Strojený zemnič	ANO
Zemní odpor R_t (Ω)	5,3
Pasivní měření (50 Hz) R_{pass} (Ω)	5,915
Proud měření (I_{SEL}) (mA)	3,45
Odpor proudové sondy R_H (Ω)	1313
Odpor napěťové sondy R_S (Ω)	475,1
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 41 Hz	0,483
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 73 Hz	0,598
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 50 Hz	0,515
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 1m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_1	165,05
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 3m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_2	142,89
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 5m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_3	154,35
Celková rezistivita půdy ($\Omega.m$) - ρ_E	153,6

$R_t < 15 \Omega$ Uzemnění vyhovuje z hlediska účinků blesku.





Tabulka č.2: Parametry vedení

Doba vypnutí poruchy t_F (s)	0,1
Jednofázový zkratový proud I_k (kA)	17,7
Redukční činitel vedení r (-)	0,59
Činitel současného působení zdrojů zkrat. proudů w (-)	0,7

Výpočet dovoleného dotykového napětí U_D :

$$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + (R_a + 1,5 \rho_E / Z_B(U_{Tp})))$$

$$U_D(0,1) = 633 \cdot (1 + (1000 + 1,5 \cdot 153,6 / 851,175))$$

$$U_D(0,1) = 1548 \text{ V}$$

Výpočet proudu I_t podpěrným bodem při zkratu:

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot Z_E / R_t$$

$$I_t = 0,7 \cdot 0,59 \cdot 17,7 \cdot 10^3 \cdot 0,515 / 5,3$$

$$I_t = 710,3 \text{ A}$$

Výpočet nárůstu potenciálu zemniče U_E :

$$U_E = R_t \cdot I_t$$

$$U_E = 5,3 \cdot 710,3 = 3751 \text{ V}$$

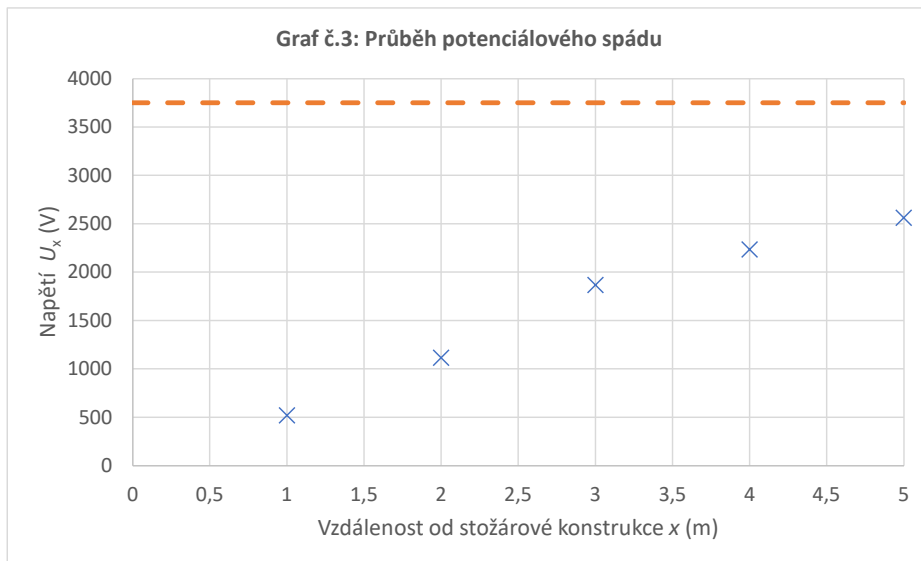
$$U_E \geq 2 \cdot U_D \quad \text{Podmínka není splněna.}$$

Výpočet skutečného dotykového napětí U_d :

$$U_d = U_E / (1 + a_{eq})$$

$$U_d = 3751 / (1 + 1,018) = 1859 \text{ V}$$

$$U_d \geq U_D \quad \text{Podmínka není splněna.}$$



Výpočet dotykového napětí U_d z měření potenciálového spádu:

$$U_d = U_{S-ES} \cdot I_{t(128\text{Hz})} / I_{SEL}$$

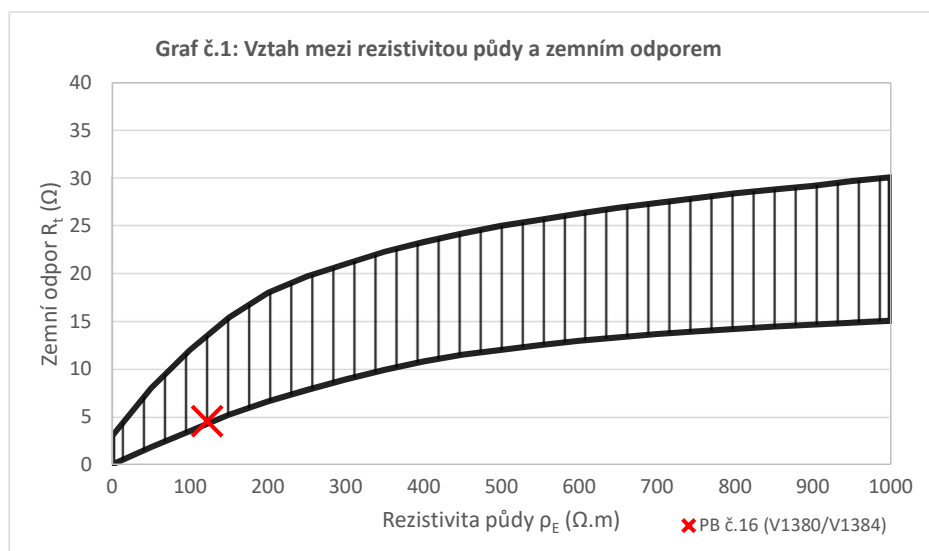
$$U_d = 6,39 \cdot 727,3 / 8,89 = 523 \text{ V}$$

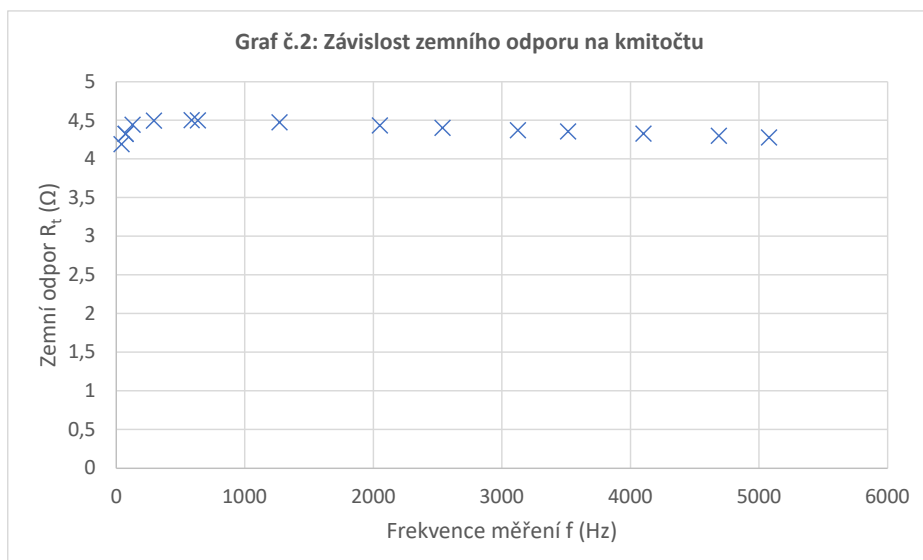
C.11 PB č.16 - V1380/V1384

Tabulka č.1: Výsledky měření uzemnění

Číslo podpěrného bodu	16 (V1380/V1384)
Typ stožárové konstrukce	soudek nosný
Datum měření	11.03.2020
Čas měření	12:48
Teplota vzduchu (°C)	13
Stav půdy (srážky)	mokrá
Měřicí přístroje	C.A. 6472, C.A. 6474
Metoda měření zemního odporu	4-pólová metoda
Metoda měření rezistivity půdy	Wennerova metoda
Typ půdy	louka
Strojený zemnič	ANO
Zemní odpor R_t (Ω)	4,5
Pasivní měření (50 Hz) R_{pass} (Ω)	4,686
Proud měření (I_{SEL}) (mA)	13,1
Odpor proudové sondy R_H (Ω)	303,6
Odpor napěťové sondy R_S (Ω)	395,8
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 41 Hz	0,476
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 73 Hz	0,583
Impedance uzemnění soustavy Z_E (Ω), pro 50 Hz	0,506
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 1m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_1	104,93
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 3m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_2	138,3
Dílčí rezistivita půdy při vzdálenosti 5m elektrod ($\Omega.m$) - ρ_3	127,6
Celková rezistivita půdy ($\Omega.m$) - ρ_E	122

$R_t < 15 \Omega$ Uzemnění vyhovuje z hlediska účinků blesku.





Tabulka č.2: Parametry vedení

Doba vypnutí poruchy t_F (s)	0,1
Jednofázový zkratový proud I_k (kA)	16,8
Redukční činitel vedení r (-)	0,59
Činitel současného působení zdrojů zkrat. proudů w (-)	0,7

Výpočet dovoleného dotykového napětí U_D :

$$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + (R_a + 1,5 \rho_E / Z_B(U_{Tp})))$$

$$U_D(0,1) = 633 \cdot (1 + (1000 + 1,5 \cdot 122 / 851,175))$$

$$U_D(0,1) = 1513 \text{ V}$$

Výpočet proudu I_t podpěrným bodem při zkratu:

$$I_t = w \cdot r \cdot I_k \cdot Z_E / R_t$$

$$I_t = 0,7 \cdot 0,59 \cdot 16,8 \cdot 10^3 \cdot 0,506 / 4,5$$

$$I_t = 780,2 \text{ A}$$

Výpočet nárůstu potenciálu zemniče U_E :

$$U_E = R_t \cdot I_t$$

$$U_E = 4,5 \cdot 780,2 = 3537 \text{ V}$$

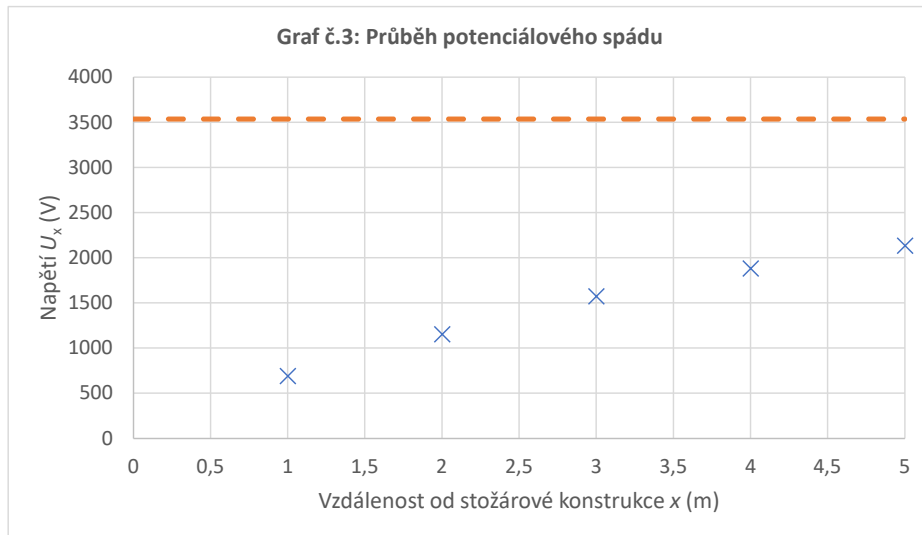
$$U_E \geq 2 \cdot U_D \quad \text{Podmínka není splněna.}$$

Výpočet skutečného dotykového napětí U_d :

$$U_d = U_E / (1 + a_{eq})$$

$$U_d = 3537 / (1 + 0,832) = 1931 \text{ V}$$

$$U_d \geq U_D \quad \text{Podmínka není splněna.}$$



Výpočet dotykového napětí U_d z měření potenciálového spádu:

$$U_d = U_{S-ES} \cdot I_{t(128\text{Hz})} / I_{SEL}$$

$$U_d = 16,3 \cdot 790 / 18,6 = 692 \text{ V}$$

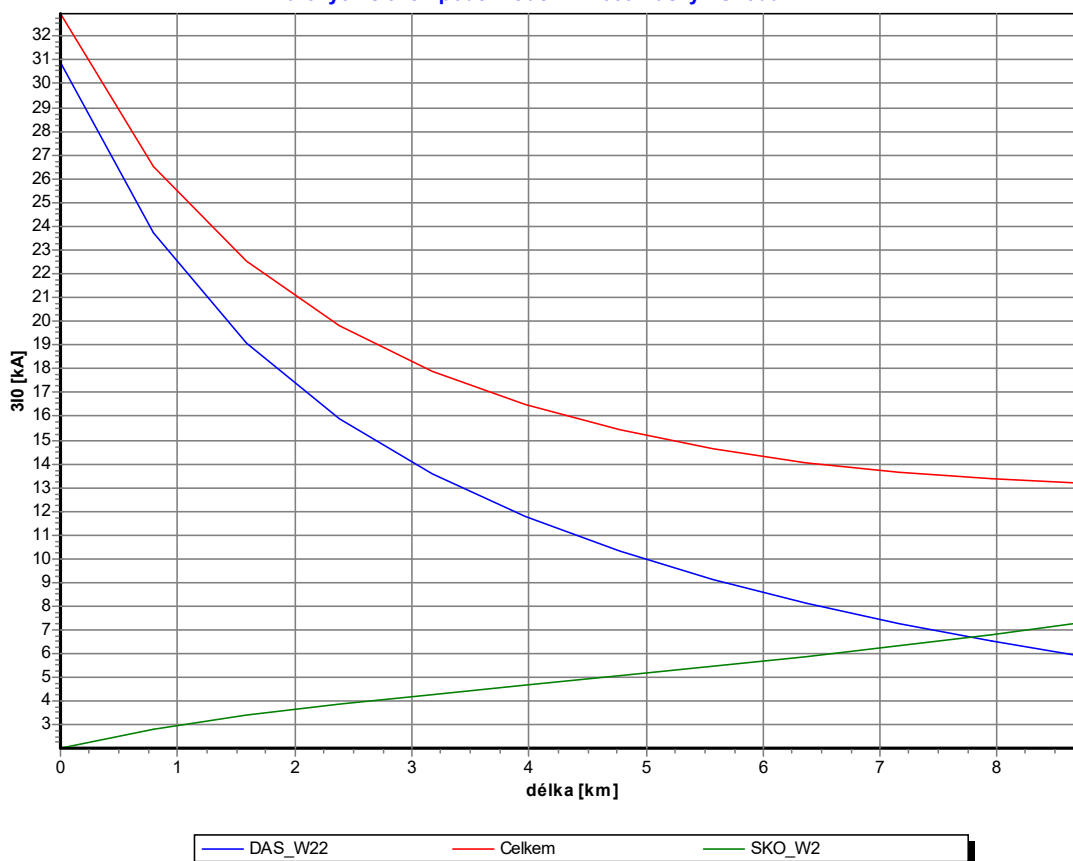
D Příklad výpočtu skratových prúdov

Výpočet číslo: ECD_V1360 zkr			Strana: 1
Vedení:	V1360 Dasný - Škoda ČB	Druh vodičů:	350_AIFe
Počáteční uzel A:	DAS_W22	Druh zemního lana:	OPGW 241-AL3/40 - A20 SA
Koncový uzel B:	SKO_W2	Uspořádání vedení:	A350_D_AIFe
			13.03.2020

Výpočet průběhu zkratu vedením

Celkový zkratový proud v počátečním bodě A:	32.95 kA
Příspěvek zkrat.proudu po vedení do počátečního bodu:	0.76 kA
Příspěvek 3IO zkratového proudu po vedení do počátečního bodu:	2.04 kA
Celkový zkratový proud v koncovém bodě B:	13.20 kA
Příspěvek zkratového proudu po vedení do koncového bodu:	8.02 kA
Příspěvek 3IO zkratového proudu po vedení do koncového bodu:	5.88 kA
Jmenovité napětí:	110.00 kV
Celková délka vyšetřovaného vedení:	8.748 km
Délka úseku vedení (dělení pro účel výpočtu):	0.795 km
Měrná sousledná reaktance vedení:	0.394 Ohm/km
Měrná nulová reaktance vedení:	1.379 Ohm/km
Platnost výpočtu pro rok:	2020
Platnost výpočtu pro napěťový součinitel c:	1.00

Průběh jednofázového zkratového proudu a jeho trojnásobných nulových složek podél vedení V1360 Dasný - Škoda ČB



Bizon v.4.xx
DAISY s.r.o.

Výpočet číslo: ECD_V1360 zkr

Strana: 2

Vedení: V1360 Dasný - Škoda ČB

Druh vodičů: 350_AIFe

13.03.2020

Počáteční uzel A: DAS_W22

Druh zemního lana: OPGW 241-AL3/40 - A20 SA

Koncový uzel B: SKO_W2

Uspořádání vedení: A350_D_AIFe

Průběh jednofázového zkratového proudu a jeho trojnásobných nulových složek podél vedení 110kV:

l [km]	Ic [kA]	Ia [kA]	Ib [kA]	3I0c [kA]	3I0a [kA]	3I0b [kA]
zleva	Celkem	DAS_W22	SKO_W2	Celkem	DAS_W22	SKO_W2
0.00	32.95	32.19	0.76	32.95	30.91	2.04
0.80	26.53	25.03	1.50	26.53	23.71	2.83
1.59	22.52	20.50	2.03	22.52	19.11	3.41
2.39	19.82	17.36	2.45	19.82	15.93	3.89
3.18	17.89	15.08	2.81	17.89	13.58	4.31
3.98	16.48	13.34	3.14	16.48	11.77	4.71
4.77	15.43	11.97	3.46	15.43	10.33	5.10
5.57	14.64	10.86	3.78	14.64	9.14	5.50
6.36	14.05	9.96	4.10	14.05	8.15	5.91
7.16	13.63	9.20	4.43	13.63	7.29	6.34
7.95	13.35	8.57	4.79	13.35	6.55	6.81
8.75	13.20	8.02	5.18	13.20	5.88	7.32



Bizon v.4.xx
DAISY s.r.o.