

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

**MĚŘENÍ ZEMNÍCÍCH SOUSTAV VN/NN A  
DOTYKOVÝCH NAPĚTÍ V OKOLÍ DTS**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

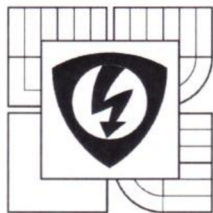
**BACHELOR'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE**

**AUTHOR**

**MARTIN SÍTAŘ**

**Brno 2015**



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ  
Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií  
Ústav elektroenergetiky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

**Student:** Martin Sítař

**Ročník:** 3

**ID:** 155235

**Akademický rok:** 2014/15

**NÁZEV TÉMATU:**

## Měření zemnicích soustav VN/NN a dotykových napětí v okolí DTS

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Účinky elektrického proudu na lidský organismus a související technické předpisy.
2. Požadavky na uzemnění a zemniče.
3. Uzemnění DTS a stožárů VN.
4. Měření impedance uzemnění, krokových a dotykových napětí.
5. Vyhodnocení reálných měření.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

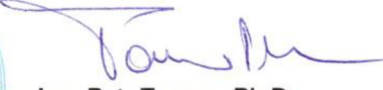
**Termín zadání:** 9. 2. 2015

**Termín odevzdání:** 28.5.2015

**Vedoucí práce:** Ing. Marek Kopička

**Konzultanti bakalářské práce:**



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

**UPOZORNĚNÍ:**

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

Bibliografická citace mé práce:

SÍTAŘ, M. *Měření zemnicích soustav VN/NN a dotykových napětí v okolí DTS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 84 s.  
Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Kopicčka.

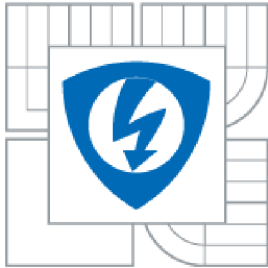
Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujícího 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.

Zároveň bych chtěl poděkovat Ing. Marku Kopicčkovi za odborné vedení, cenné rady a připomínky a také panu Jaromíru Dvořákovi ze společnosti E.ON za odborné vedení při realizaci praktické části bakalářské práce.

.....



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**  
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## **MĚŘENÍ ZEMNÍCÍCH SOUSTAV VN/NN A DOTYKOVÝCH NAPĚTÍ V OKOLÍ DTS**

MEASUREMENT OF GROUNDING SYSTEM HV/LV AND TOUCH VOLTAGES AROUND  
DISTRIBUTION TRANSFORMER STATION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**MARTIN SÍTAŘ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. MAREK KOPIČKA**

**ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá měřením zemního odporu zemnicí soustavy a ověřením dotykových napětí v okolí odlehlých, příměstských a městských distribučních transformačních stanic a stožárů VN. Při návrhu zemnicích soustav jsou vyžadovány určité specifické nároky na provedení a bezpečnost. Cílem práce je v praxi ověření zemních odporů u vybraných distribučních transformačních stanic a stožárů VN vedení, posouzení maximálních možných dotykových napětí během poruchových stavů u těchto vybraných soustav VN a zpracování technické zprávy, která zahrnuje výsledky měření a konečné zhodnocení z pohledu platných norem.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Uzemňovací soustava; distribuční transformovna; dotykové napětí;  
zemní odpor

---

**ABSTRACT**

This work deals with the measurement of earth resistance of grounding system and verification of touch voltages around outlying, suburban and urban distribution transformer stations and HV masts. When designing the grounding systems certain specific requirements for performance and safety are required. The aim is to practically verify earth resistances at selected distribution transformer stations and HV masts of power line. Another objective of this work is assessment of the maximum possible touch voltages during fault conditions in these selected HV systems and to produce technical report which includes test results and final evaluation in compliance with valid standards.

**KEY WORDS:** Grounding system; distribution substation; touch voltage; earth resistance

**OBSAH**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>   | <b>10</b> |
| <b>SEZNAM TABULEK .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>1 ÚVOD.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>2 ÚČINKY ELEKTRICKÉHO PROUDU NA LIDSKÝ ORGANISMUS .....</b>                 | <b>15</b> |
| <b>3 SOUVISEJÍCÍ TECHNICKÉ PŘEDPISY .....</b>                                  | <b>17</b> |
| <b>4 POŽADAVKY NA UZEMNĚNÍ .....</b>   | <b>18</b> |
| <b>4.1 ZEMNÍ ODPOR A REZISTIVITA PŮDY .....</b>                                | <b>18</b> |
| <b>4.2 DOTYKOVÁ A KROKOVÁ NAPĚTÍ.....</b>                                      | <b>20</b> |
| <b>4.3 PROUDOVÁ ZATÍŽITELNOST .....</b>  | <b>21</b> |
| <b>4.4 MECHANICKÁ A KOROZNÍ ODOLNOST.....</b>                                  | <b>22</b> |
| <b>5 ZEMNIČE.....</b>  | <b>23</b> |
| <b>5.1 VOLBA TYPU ZEMNIČŮ .....</b>  | <b>23</b> |
| <b>5.2 NÁHODNÉ ZEMNIČE .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>5.3 STROJENÉ ZEMNIČE.....</b>   | <b>24</b> |
| 5.3.1 STROJENÉ ZÁKLADOVÉ ZEMNIČE.....  | 24        |
| 5.3.2 VODOROVNÉ ZEMNIČE.....   | 24        |
| <b>5.4 ZEMNIČ PRO VYROVNÁNÍ POTENCIÁLU.....</b>                                | <b>24</b> |
| <b>6 UZEMNĚNÍ V DISTRIBUČNÍCH TRANSFORMOVNÁCH .....</b>                        | <b>25</b> |
| <b>6.1 ZPŮSOBY UZEMNĚNÍ DLE RŮZNÉHO TYPU SÍTĚ .....</b>                        | <b>25</b> |
| <b>6.2 VLIV UZEMŇOVACÍ SOUSTAVY VN NA SOUSTAVU NN.....</b>                     | <b>28</b> |
| 6.2.1 SPOLEČNÁ UZEMŇOVACÍ SOUSTAVA ČÁSTÍ VN A NN .....                         | 28        |
| 6.2.2 ODDĚLENÁ UZEMŇOVACÍ SOUSTAVA ČÁSTÍ VN A NN .....                         | 29        |
| <b>7 UZEMNĚNÍ STOŽÁRŮ VN.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>8 MĚŘENÍ UZEMNĚNÍ .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>8.1 POŽADAVKY NA MĚŘENÍ UZEMNĚNÍ.....</b>                                   | <b>32</b> |
| <b>8.2 METODY MĚŘENÍ ZEMNÍHO ODPORU UZEMNĚNÍ.....</b>                          | <b>32</b> |
| 8.2.1 METODA POTENCIÁLOVÉHO SPÁDU .....  | 32        |
| 8.2.2 PROUDOVÁ METODA .....  | 33        |
| <b>8.3 MĚŘENÍ REZISTIVITY.....</b>   | <b>34</b> |
| <b>9 MĚŘENÍ UZEMNĚNÍ POMOCÍ MĚŘÍCÍHO SYSTÉMU OMICRON.....</b>                  | <b>36</b> |
| <b>9.1 OMICRON CPC 100.....</b>  | <b>36</b> |
| <b>9.2 OMICRON CP CU1 .....</b>  | <b>37</b> |
| <b>9.3 MĚŘENÍ ZEMNÍ IMPEDANCE ZA POMOCI EXISTUJÍCÍHO VEDENÍ.....</b>           | <b>40</b> |
| <b>9.4 MĚŘENÍ ZEMNÍ IMPEDANCE BEZ POUŽITÍ VEDENÍ NEBO SILOVÉHO KABELU.....</b> | <b>41</b> |
| <b>9.5 MĚŘENÍ DOTYKOVÉHO A KROKOVÉHO NAPĚTÍ.....</b>                           | <b>42</b> |

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>10 MĚŘENÍ UZEMŇOVACÍ SOUSTAVY</b> .....   | <b>44</b> |
| <b>10.1 BEZPEČNOSTNÍ POKYNY</b> .....  | <b>44</b> |
| <b>10.2 NÁVOD NA MĚŘENÍ UZEMŇOVACÍ SOUSTAVY POMOCÍ OMICRON CPC 100</b> .....                                 | <b>44</b> |
| 10.2.1 PŘIPOJENÍ OMICRON CPC 100 NA UZEMŇOVACÍ SOUSTAVU.....   | 44        |
| 10.2.2 KONFIGURACE CPC 100 .....   | 44        |
| <b>10.3 NÁVOD NA MĚŘENÍ UZEMŇOVACÍ SOUSTAVY POMOCÍ OMICRON CPC 100 S JEHO VAZEBNÍ JEDNOTKOU CP CU1</b> ..... | <b>46</b> |
| <b>11 TECHNICKÁ ZPRÁVA</b> .....   | <b>49</b> |
| 11.1 ÚVOD.....   | 49        |
| 11.2 POŽADAVKY PLATNÝCH PŘEDPISŮ .....   | 49        |
| 11.3 MĚŘENÍ ZEMNÍ IMPEDANCE .....  | 49        |
| 11.4 OVĚŘENÍ DOTYKOVÝCH A KROKOVÝCH NAPĚTÍ.....  | 50        |
| 11.5 PROVEDENÉ MĚŘENÍ.....   | 51        |
| 11.6 ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....  | 70        |
| <b>12 ZÁVĚR</b> .....  | <b>71</b> |
| <b>13 POUŽITÁ LITERATURA</b> .....   | <b>72</b> |
| <b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....   | <b>73</b> |
| <b>PŘÍLOHA A: MORAVSKÉ KNÍNICE, DTS</b> .....  | <b>74</b> |
| <b>PŘÍLOHA B: MORAVSKÉ KNÍNICE, BETONOVÝ SLOUP S ÚSEKOVÝM ODPÍNAČEM</b> .....                                | <b>76</b> |
| <b>PŘÍLOHA C: DRÁSOV, VINOHRADSKÁ, DTS</b> .....   | <b>78</b> |
| <b>PŘÍLOHA D: DRÁSOV, MALHOSTOVICKÁ, DTS</b> .....   | <b>80</b> |
| <b>PŘÍLOHA E: ČEBÍN, DTS</b> .....   | <b>82</b> |
| <b>PŘÍLOHA F: ČEBÍN, BETONOVÝ SLOUP S ÚSEKOVÝM ODPÍNAČEM</b> .....   | <b>84</b> |



## SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| <i>Obr. 2- 1 - Celková impedance těla <math>Z_T</math> [1]</i> .....  | 15 |
| <i>Obr. 4- 1 – Závislost činitele <math>K</math> na ročním období [4]</i> .....   | 19 |
| <i>Obr. 4- 2 - Dovolená dotyková napětí <math>U_{Tp}</math> pro omezené trvání průtoku proudu [6]</i> .....             | 20 |
| <i>Obr. 4- 3 – Znázornění dotykového a krokového napětí v závislosti na potenciálu země [5]</i> .....                   | 21 |
| <i>Obr. 6- 1 – Síť TN-C v níž je vodič s kombinovanou funkcí nulového a ochranného vodiče [9]</i> ....                  | 26 |
| <i>Obr. 6- 2 - Síť TN-S s odděleným nulovým a ochranným vodičem v celém systému [9]</i> .....                           | 26 |
| <i>Obr. 6- 3 – Síť TT s odděleným nulovým vodičem a ochranným vodičem elektroinstalace [9]</i> ....                     | 27 |
| <i>Obr. 6- 4 – Síť IT s neživými částmi uzemněnými společně, nebo individuálně [9]</i> .....                            | 28 |
| <i>Obr. 6- 5 – Porucha na straně NN [4]</i> .....   | 29 |
| <i>Obr. 6- 6 - Porucha na straně VN [4]</i> .....   | 29 |
| <i>Obr. 7- 1 – Vývojový diagram s ohledem na dotyková napětí [10]</i> .....   | 31 |
| <i>Obr. 8- 1 – Metoda potenciálového spádu ad a)</i> .....  | 33 |
| <i>Obr. 8- 2 – Metoda potenciálového spádu ad b)</i> .....  | 33 |
| <i>Obr. 8- 3 – Měření odporu uzemnění proudovou metodou [8]</i> .....   | 34 |
| <i>Obr. 8- 4 – Rozmístění elektrod při měření rezistivity půdy Wennerovou metodou [8]</i> .....                         | 35 |
| <i>Obr. 9- 1 - Přední panel přístroje OMICRON CPC 100 [12]</i> .....  | 36 |
| <i>Obr. 9- 2 – Vysokonapěťové a proudové výstupy [12]</i> .....   | 36 |
| <i>Obr. 9- 3 - Komunikační rozhraní CPC 100 [12]</i> .....  | 37 |
| <i>Obr. 9- 4 - Přední panel přístroj OMICRON CP CUI [14]</i> .....  | 38 |
| <i>Obr. 9- 5 - Připojení měřicího systému k vedení pro měření impedance uzemnění [14]</i> .....                         | 40 |
| <i>Obr. 9- 6- Měření dotykového a krokového napětí pomocí selektivního voltmetru</i> .....                              | 42 |
| <i>Obr. 9- 7 – Selektivní frekvenční voltmetr OMICRON CP AL1 FFT</i> .....  | 42 |
| <i>Obr. 10- 1 – Připojení OMICRON CPC 100 k uzemňovací soustavě rozvodny [12]</i> .....                                 | 41 |
| <i>Obr. 10- 2 - Měření zemní impedance a krokového napětí (převzato z [14])</i> .....                                   | 45 |
| <i>Obr. 10- 3 – Schéma zapojení měřicí soustavy OMICRON [14]</i> .....  | 46 |
| <i>Obr. 10- 4 – Nastavení CPC 100 pro spolupráci s CP CUI [14]</i> .....  | 46 |
| <i>Obr. 10- 5 – Testovací karta Quick [14]</i> .....  | 47 |
| <i>Obr. 10- 6 – Nastavení potřebného rozsahu CPC 100 a CP CUI [14]</i> .....  | 47 |
| <i>Obr. 10- 7 - Schéma pro měření uzemňovací soustavy, dotykového a krokového napětí</i> .....                          | 48 |
| <i>Obr. 11- 1 - Měření č. 1.1 – DTS – Moravské Knínice (zdroj: mapy.cz)</i> .....                                       | 53 |
| <i>Obr. 11- 2 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 36 A</i> .....                   | 54 |
| <i>Obr. 11- 3 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 1000 A</i> ..                    | 55 |
| <i>Obr. 11- 4 - Úroveň krokového napětí vztahená k napětí navýšení potenciálu zemniče – Moravské Knínice, DTS</i> ..... | 55 |

---

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Obr. 11- 5 - Měření č. 1.2 – betonový sloup s úsekovým odpínačem, Moravské Knínice (zdroj: mapy.cz).....</i>  | <i>56</i> |
| <i>Obr. 11- 6 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 36 A .....</i>  | <i>57</i> |
| <i>Obr. 11- 7 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 1000 A ..</i>   | <i>57</i> |
| <i>Obr. 11- 8 - Úroveň krokového napětí vztahená k napětí navýšení potenciálu zemniče – Moravské Knínice, betonový sloup s úsekovým odpínačem.....</i> | <i>58</i> |
| <i>Obr. 11- 9 - Měření č. 2 – DTS - Drásov, Vinohradská (zdroj: mapy.cz).....</i>  | <i>58</i> |
| <i>Obr. 11- 10 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 21,6 A .60</i>   | <i>60</i> |
| <i>Obr. 11- 11 - Úroveň krokového napětí vztahená k napětí navýšení potenciálu zemniče - Drásov, Vinohradská, DTS .....</i>                            | <i>60</i> |
| <i>Obr. 11- 12 - Měření č. 3 – DTS - Drásov, Malhostovická (zdroj: mapy.cz).....</i>   | <i>61</i> |
| <i>Obr. 11- 13 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 21,6 A .62</i>   | <i>62</i> |
| <i>Obr. 11- 14 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 1000 A 63</i>  | <i>63</i> |
| <i>Obr. 11- 15 - Úroveň krokového napětí vztahená k napětí navýšení potenciálu zemniče - Drásov, Malhostovická, DTS .....</i>                          | <i>63</i> |
| <i>Obr. 11- 16 - Měření č. 4.1 – DTS – Čebín (zdroj: mapy.cz).....</i>   | <i>64</i> |
| <i>Obr. 11- 17 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 21,6 A .65</i>   | <i>65</i> |
| <i>Obr. 11- 18 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 1000 A 66</i>  | <i>66</i> |
| <i>Obr. 11- 19 - Úroveň krokového napětí vztahená k napětí navýšení potenciálu zemniče – Čebín, DTS.....</i>   | <i>66</i> |
| <i>Obr. 11- 20 - Měření č. 4.2 – Čebín, betonový sloup s úsekovým odpínačem (zdroj: mapy.cz) ....</i>  | <i>67</i> |
| <i>Obr. 11- 21 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 21,6 A .68</i>   | <i>68</i> |
| <i>Obr. 11- 22 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 1000A .68</i>  | <i>68</i> |
| <i>Obr. 11- 23 - Úroveň krokového napětí vztahená k napětí navýšení potenciálu zemniče - Čebín, betonový sloup s úsekovým odpínačem .....</i>          | <i>69</i> |

**SEZNAM TABULEK**

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Tab. č. 1 - Celková impedance těla <math>Z_T</math> pro dráhu střídavého proudu o kmitočtu 50/60 Hz z ruky do ruky pro velké kontaktní plochy [2] .....</i> | <i>16</i> |
| <i>Tab. č. 2 - Střední hodnoty rezistivity půd.....</i>  | <i>19</i> |
| <i>Tab. č. 3 - Dovolena proudy pro pásek FeZn [7].....</i>   | <i>21</i> |
| <i>Tab. č. 4 - Materiál a minimální rozměry zemničů zajišťující mechanickou pevnost a odolnost proti korozi [6] .....</i>                                      | <i>22</i> |
| <i>Tab. č. 5 – Konfigurační konstanta <math>k</math> [8] .....</i>   | <i>35</i> |
| <i>Tab. č. 6 – Popis přístroje OMICRON CPC 100 [12] .....</i>  | <i>37</i> |
| <i>Tab. č. 7 – Popis přístroje CP CUI [14] .....</i>   | <i>38</i> |
| <i>Tab. č. 8 - Příslušenství CPC 100 a CP CUI [14] .....</i>   | <i>39</i> |
| <i>Tab. č. 9 - Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkové zemní proudy při jednoduchém zemním spojení v distribuční síti 22 kV .....</i>             | <i>51</i> |
| <i>Tab. č. 10 - Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud při dvojitým zemním spojení v distribuční síti 22 kV .....</i>                | <i>52</i> |
| <i>Tab. č. 11- Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 36 A .....</i>  | <i>53</i> |
| <i>Tab. č. 12 - Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 1000 A .....</i>   | <i>54</i> |
| <i>Tab. č. 13 – Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 21,6 A.....</i>  | <i>59</i> |
| <i>Tab. č. 14 - Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 1000 A .....</i>   | <i>59</i> |
| <i>Tab. č. 15 – Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 21,6 A.....</i>  | <i>61</i> |
| <i>Tab. č. 16 – Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 21,6 A.....</i>  | <i>64</i> |
| <i>Tab. č. 17 - Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 1000 A .....</i>   | <i>65</i> |

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Značka        | Význam  | Jednotka         |
|---------------|---|------------------|
| $Z_{PI,2}$    | Impedance kůže  | $\Omega$         |
| $Z_i$         | Vnitřní impedance těla  | $\Omega$         |
| $Z_T$         | Celková impedance těla  | $\Omega$         |
| $Z_{DTS}$     | Celková impedance uzemňovací soustavy DTS   | $\Omega$         |
| $Z_{MAX}$     | Maximální naměřená impedance  |                  |
| $U_T$         | Dotykové napětí   | V                |
| $U_{Tp}$      | Dovolené dotykové napětí  | V                |
| $U_K$         | Krokové napětí  | V                |
| $U_m$         | Naměřené napětí   | V                |
| $\Delta U$    | Napětí naměření mezi napěťovými elektrodami   | V                |
| $U_E$         | Nárůst potenciálu zemniče   | V                |
| $\varphi$     | Potenciál povrchu země  | V                |
| $\rho_E$      | Měrný odpor (rezistivita) půdy  | $\Omega\text{m}$ |
| $t_F$         | Doba poruchy  | s                |
| $t_V$         | Doba vypnutí  | s                |
| $R_E$         | Zemní odpor   | $\Omega$         |
| $I$           | Proud protékající proudovými elektrodami  | A                |
| $I_m$         | Měřicí proud  | A                |
| $I_{OUT}$     | Výstupní proud  | A                |
| $I_{RES}$     | Zbytkový (reziduální) zemní proud   | A                |
| $k$           | Konfigurační konstanta  | -                |
| $r$           | Redukční činitel vedení   | -                |
| $a$           | Vzdálenost mezi elektrodami   | m                |
| $S$           | Průřez vodiče   | $\text{mm}^2$    |
| $S_{DTS}$     | Plocha uzemňovací soustavy DTS  | $\text{m}^2$     |
| $DTS$         | Distribuční trafostanice  |                  |
| $PEN$         | Ochranný vodič s funkcí vodiče nulového   |                  |
| $\check{C}SN$ | Česká technická norma   |                  |
| $IEC$         | Internacional Electrotechnical Comission, vypracovává a publikuje mezinárodní normy IEC |                  |

# 1 ÚVOD

Pro správnou a bezpečnou funkci elektrických zařízení je důležitost uzemnění a teorie ochrany před úrazem elektrickým proudem velice důležitá, ať už se jedná o návrh ochrany před bleskem nebo elektrických zařízení do nebo nad 1000 V. Tento požadavek na bezpečnost a funkci těchto zařízení začíná právě zemničem a pospojováním neživých částí. Škodlivé účinky proudu, které působí na lidský organismus při dotyku živých či neživých částí, se snažíme už od počátků práce s elektřinou eliminovat a vznikají tak nové předpisy a normy.

Správné provedení uzemňovací soustavy elektrického zařízení se tedy stalo jednou z mnoha možností, jak zabránit škodám na lidských životech a majetku. U zařízení, jejichž jmenovité napětí převyšuje 1 kV, musí projektant brát v potaz i účinky dotykových a krokových napětí při poruše zařízení. V dnešní době se těmito problémy zabývají související předpisy a normy.

## 2 ÚČINKY ELEKTRICKÉHO PROUDU NA LIDSKÝ ORGANISMUS

Příčinou ohrožení je proud procházející srdcem, který způsobuje srdeční fibrilace. Meze proudu, který protéká tělem, jsou převedeny do limitů napětí pro srovnání s vypočtenými krokovými a dotykovými napětími s uvažováním následujících okolností:

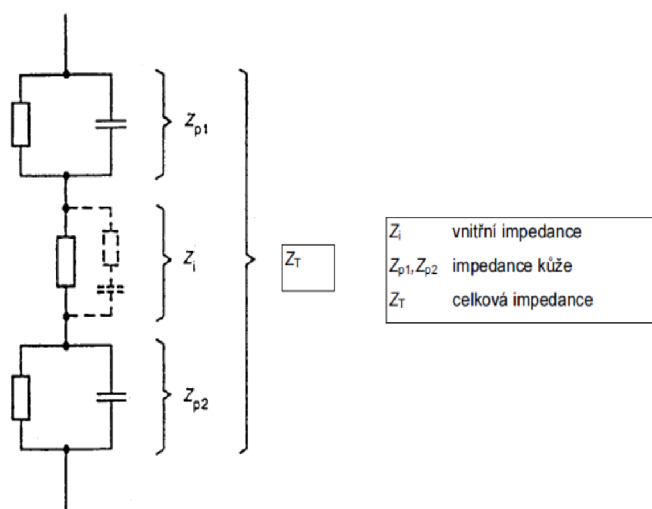
- poměrná část proudu procházející oblastí srdce;
- impedance těla podél proudové dráhy;
- odpor mezi dotykovými body těla, například kovovou konstrukcí drženou v ruce včetně rukavice, nohy ke vzdálené zemi včetně obuvi;
- doba trvání poruchy

Norma ČSN 61 936 ed.1 uvádí, že je nutné také poznamenat, že výskyt poruchy, amplituda poruchového proudu, doba trvání poruchy a přítomnost osob mají pravděpodobnostní charakter. Je třeba upozornit, že nejen srdeční fibrilace mohou být smrtelné. Ostatní účinky poruchového proudu mohou působit na dýchání a mohou postižené osobě zabránit v přivolání pomoci. Mohou se vyskytnout poruchy ovládnutí dechu, ochromení dýchacích svalů, poškození nervové aktivity cest k těmto svalům a poškození mechanismu řídicího dýchání v mozkové tkáni. Tyto účinky a meze nejsou v současné době normativně popsány a určeny [1].

Průchod elektrického proudu přes lidské tělo závisí zejména na velikosti a době působení elektrického proudu na lidský organismus. Z Ohmova zákona je známo, že procházející proud je roven rozdílu potenciálu dvou bodů a velikosti impedance lidského těla.

Celková impedance lidského těla  $Z_T$  se dle [1] skládá z:

- vnitřní impedance těla  $Z_I$ , která je tvořena svaly, cévami a krví a závisí především na dráze proudu,
- impedance kůže  $Z_P$ , která závisí na napětí, kmitočtu, době působení proudu, tlaku kontaktu, na míře vlhkosti kůže, teplotě.



Obr. 2- 1 - Celková impedance těla  $Z_T$  [1]

Při dotykových napětí nad 50 V jsou uvažovány pouze vnitřní impedanci lidského těla. Celková impedance těla při napětích vyšších než 150 V závisí čím dál tím méně na vlhkosti a na velikosti kontaktní plochy.

V **Tab. č. 1** jsou uvedeny hodnoty celkové impedance těla pro živá lidská těla a dráhu z jedné ruky do druhé pro velké kontaktní plochy [1].

*Tab. č. 1 - Celková impedance těla  $Z_T$  pro dráhu střídavého proudu o kmitočtu 50/60 Hz z ruky do ruky pro velké kontaktní plochy [2]*

| Dotykové napětí<br>$U_T$ [V] | Hodnoty celkové impedance<br>těla $Z_T$ [ $\Omega$ ] |
|------------------------------|--|
| 25                           | 3250   |
| 50                           | 2625   |
| 75                           | 2200   |
| 100                          | 1875   |
| 125                          | 1625   |
| 220                          | 1350   |
| 700                          | 1100   |
| 1000                         | 1050   |

V důsledku snížení rozdílu potenciálu dochází ke snížení následků působení elektrického proudu na člověka na bezpečnou mez.

*Norma PNE 33 0000 1 ed. 5* uvádí tyto prostředky ochrany před úrazem elektrickým proudem u rozvodných elektrických zařízení, které musí splňovat některou z těchto podmínek:

- trvale zamezit přístup k živým i neživým částem při provozu elektrického zařízení s napětím vyšším než je mezní hodnota bezpečného napětí,
- omezit proud protékajícím lidským tělem při dotyku s neživými částmi elektrických zařízení na úroveň, která není nebezpečná,
- omezit dobu, po kterou při dotyku s neživými částmi elektrických zařízení protéká proud lidským tělem tak, aby nenastaly nebezpečné patofyziologické účinky u zasazených osob.

### 3 SOUVISEJÍCÍ TECHNICKÉ PŘEDPISY

Pro zjištění požadavků na rozsah provedení a typ zemniče je vhodné nejprve zjistit, k čemu a z jakého důvodu je potřeba uzemnění zřizovat. Základní publikací pro uzemnění, kterou je ČSN 33 2000-5-54 ed. 3, je definován účel zřizování uzemnění v elektrické instalaci pro ochranu před úrazem elektřinou, pro ochranu před bleskem a přepětím a pro správnou funkci elektrických zařízení. Norma navazuje a zpřesňuje obecné požadavky dané legislativou, která nařizuje povinnost zaobírat se otázkou bezpečnosti, ale již neuvádí v jakém rozsahu ji plnit a kdy je přijatelné přijmout riziko [3].

Důležité normy, zabývající se problematikou uzemnění:

- ČSN EN 50 522 – Uzemňování elektrických instalací nad 1 kV

Tato norma se týká požadavků pro návrh a provedení uzemňovacích soustav elektrických instalací se jmenovitým napětím AC nad 1 kV a jmenovitým kmitočtem do 60 Hz včetně tak, aby byla zajištěna bezpečnost a správná funkce.

- ČSN 33 3201 – Elektrické instalace nad AC 1kV

Tato norma poskytuje kritéria pro návrh, stavbu, zkoušení a údržbu uzemňovací soustavy tak, aby za všech podmínek zajišťovala bezpečnost lidských životů v každém místě, ke kterému mají osoby legitimní přístup. Současně tak bude zaručena i integrita zařízení připojeného k síti.

- ČSN 33 2000-5-54 ed. 3 - Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění, ochranné vodiče a vodiče ochranného pospojování
- ČSN EN 50341 – 1 ed.2 - Elektrická venkovní vedení nad AC 1kV

Tato evropská norma platí pro nová elektrická venkovní vedení se jmenovitým střídavým napětím nad 1 kV a jmenovitým kmitočtem do 100 Hz.

- PNE 33 0000-1 – Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě
- PNE 33 0000-4 ed.2. - Příklady výpočtů uzemňovacích soustav v distribuční a přenosové soustavě dodavatele elektřiny.



## 4 POŽADAVKY NA UZEMNĚNÍ

Podle definice z ČSN 333201 je uzemnění elektrických zařízení provedení nutných spojení, aby určené místo přístroje, zařízení nebo sítě bylo udržováno pokud možno na potenciálu země.

Účelem uzemnění je tedy schopnost udržovat na potenciálu země nějakou část elektrického obvodu; umožňovat funkci elektrických strojů, přístrojů a zařízení nebo jí napomáhat; chránit elektrické stroje a zařízení před účinky přepětí a velkých proudů. Dále pak svést atmosférické proudy a omezit přepětí. Mezi nejdůležitější funkcí uzemnění patří však ochrana lidí a zvířat před úrazem při dotyku neživých částí, které mohou být v případě poruchy pod napětím, odpojením nebo snížením dotykového a krokového napětí na bezpečnou míru [4].

Hlavním záměrem je dle [4]:

- docílit, aby uzemněním uzlu trojfázové sítě, strojů a transformátorů, nebo středního vodiče rozvodu měly fáze nebo vodiče stálé napětí proti zemi,
- docílit, aby uzemněním vedení, na němž se pracuje, se předešlo úrazu při náhodném zapnutí nebo indukovaným napětím od jiného vedení,
- docílit uzemněním správnou činnost průrazek a bleskojistek
- odvádět uzemněním náboje statické elektřiny a bránit korozi uzemněním jednoho pólu katodické ochrany

Parametry rozhodující při dimenzování uzemnění:

- velikost poruchového proudu
- trvání poruchy
- vlastnosti půdy

### 4.1 Zemní odpor a rezistivita půdy

Základním požadavkem pro výpočet či měření zemního odporu je rezistivita (měrný odpor) půdy. Elektrická rezistivita půdy  $\rho_E$  je dle [5] specifický odpor typického vzorku země. Rezistivitu je třeba měřit v hloubce, v níž se ukládají zemniče. Rezistivita půdy v okolí instalované uzemňovací soustavy musí být maximálně 200  $\Omega\text{m}$ , jestliže je větší, musí se přistoupit k návrhu takových opatření, aby byla dodržena povolená hodnota odporu uzemňovací soustavy.

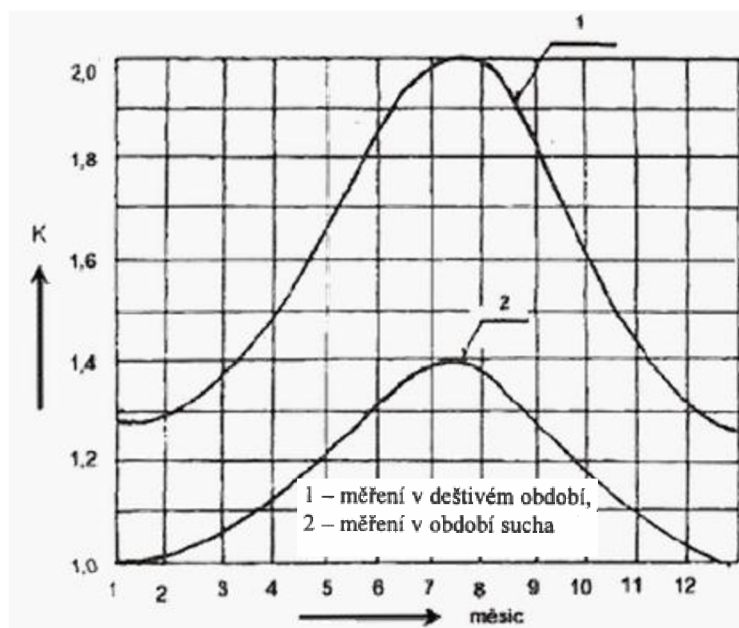
Pro stanovení zemního odporu rozsáhlých zemničů, jako jsou uzemňovací sítě venkovních rozvodů, však není tato hodnota zcela směrodatná, liší-li se vodivosti spodních vrstev od horních. Z takového zemniče odtéká proud široce do země jako z mohutného tělesa a na odpor má proto vliv vodivosti i hluboko položených vrstev. Zde je třeba určit střední rezistivitu půdy do hloubky srovnatelné s celkovými rozměry zemniče a tedy zpravidla do hloubky několika desítek metrů. V **Tab. č. 2.** uvádí norma typické hodnoty rezistivity podle typu půdy.

Tab. č. 2 - Střední hodnoty rezistivity půd [5]

| Typ půdy          | Střední rezistivita půdy $\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ] |
|-------------------|--|
| Močál             | 5 až 40  |
| Hlína, jíl, humus | 20 až 200  |
| Písek             | 200 až 2500  |
| Štěrkopísek       | 2000 až 3000   |
| Zvětralá skála    | většinou do 1000                                     |
| Pískovec          | 2000 až 3000   |
| Žula              | až do 50000  |

Vodivost půdy závisí nejen na jejím druhu, ale i na teplotě, vlhkosti, stavu spodní vody a povětrnosti. Rezistivita půdy proto značně kolísá i podle ročního období. Zmrzlá země má špatnou vodivost, obdobně jako suchá půda. Špatným vodičem je i sladká voda a mastnota. Vliv vodivosti může mít i trvalý průchod proudu, který půdu vysušuje.

Neméně důležitý je i vliv kolísání rezistivity v závislosti na ročním období. Tento vliv se eliminuje tak, že se naměřené hodnoty rezistivity vynásobí koeficientem  $K$  dle **Obr. 4-1**.

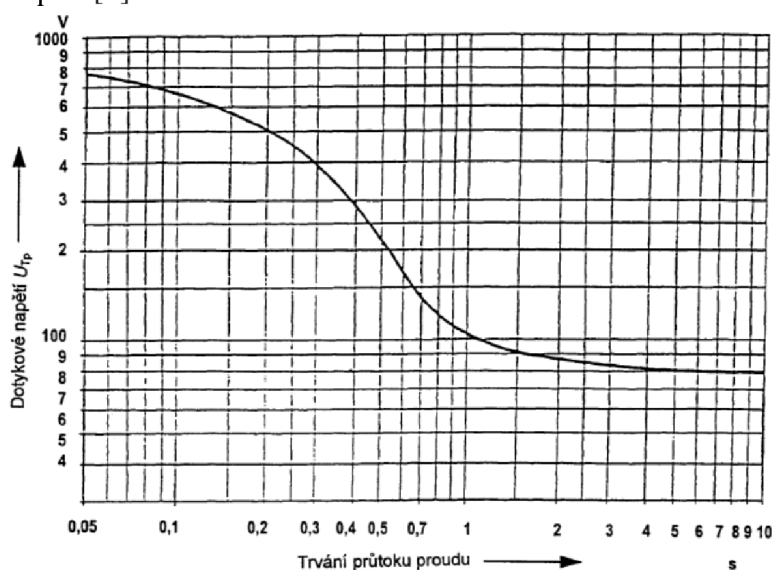
Obr. 4- 1 – Závislost činitele  $K$  na ročním období [4]

Požadované metody měření rezistivity řeší tato práce v kapitole 8.3. Měření rezistivity a zemního odporu.

## 4.2 Dotyková a kroková napětí

Dotykové napětí  $U_T$  je definováno dle [5] jako napětí mezi vodivými částmi, kterých se člověk nebo zvíře dotýká současně. Krokové napětí  $U_S$  je definováno dle [5] jako napětí mezi dvěma body zemského povrchu vzdálenými od sebe 1 m, vzdálenost 1 m je považováno za délku kroku člověka.

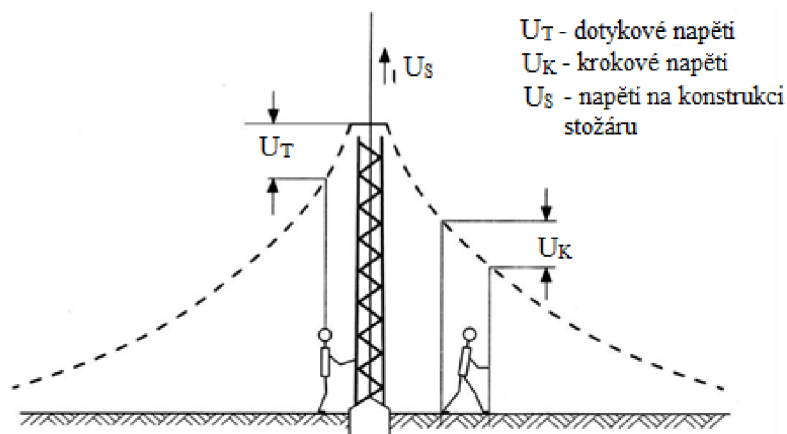
Příčinou ohrožení je proud procházející lidským tělem. Pro praxi je výhodnější vycházet z dotykových napětí. Meze dotykových napětí proti zemi jsou udány na **Obr. 4-2**, křivka představuje napětí, která se mohou objevit na lidském těle při dotyku holou rukou proti bosé noze. Tato závislost se týká zemních poruch v sítích nad 1 kV. Jelikož však každá zemní porucha je odpojována automaticky nebo ručně, nevznikají tak jako následek zemních poruch neomezeně trvající dotyková napětí [6].



Obr. 4- 2 - Dovolená dotyková napětí  $U_{Tp}$  pro omezené trvání průtoku proudu [6]

**Dovolené dotykové napětí pro omezené trvání průtoku proudu  $U_{Tp}$**  – je dle [5] napětí, které se přípouští na lidském těle po dobu trvání poruchy  $t_F$  a které zaručuje bezpečnost osoby. Norma udává jako velikost maximálního dovoleného ustáleného dotykového napětí  $U_{Tp}=80$  V pro dobu trvání  $t_F \geq 5s$ .

Pro kroková napětí nejsou stanoveny dovolené hodnoty – vychází se z předpokladu dodržení hodnot dovolených dotykových napětí. Na **Obr. 4-3** je vidět znázornění dotykového a krokového napětí v závislosti na potenciálu země u konstrukce stožáru VN.



Obr. 4-3 – Znárodnění dotykového a krokového napětí v závislosti na potenciálu země [5]

### 4.3 Proudová zatížitelnost

Při průchodu proudu zemničem se půda v jeho okolí zahřívá a teplo se rozvádí do okolí. Jakým způsobem se teplo ze zemniče do půdy odvede, závisí na druhu půdy, její vlhkosti a vodivosti, velikosti a tvaru zemniče a jak je zemnič proudově zatížen. Jestliže je zemnič přetížen, vysušuje se okolní půda, zahřívá se a tím stoupá odpor a napětí kolem zemniče.

Norma v **Tab. č. 3** uvádí zatížitelnost zemničů (pásek FeZn) uložených v půdě, vztaženou na plochu zemniče FeZn, v závislosti na době trvání průchodu proudu.

Tab. č. 3 - Dovolené proudy pro pásek FeZn [7]

| t [s] | Dovolžený proud [kA] |         |         |
|-------|----------------------|---------|---------|
|       | 30x4 mm              | 40x4 mm | 20x5 mm |
| 0,1   | 26,7                 | 35,6    | 22,2    |
| 0,2   | 18,9                 | 25,2    | 15,7    |
| 0,3   | 15,4                 | 20,5    | 12,8    |
| 0,4   | 13,3                 | 17,8    | 11,1    |
| 0,5   | 11,9                 | 15,9    | 9,96    |
| 0,6   | 10,9                 | 14,5    | 9,09    |
| 0,7   | 10,1                 | 13,4    | 8,42    |
| 0,8   | 9,45                 | 12,6    | 7,87    |
| 0,9   | 8,91                 | 11,8    | 7,42    |
| 1     | 8,45                 | 11,2    | 7,04    |

## 4.4 Mechanická a korozní odolnost

Zemniče, které jsou v přímém kontaktu se zemí, mají být z materiálu odolného proti korozi (chemickému nebo biologickému napadení, oxidaci, tvorbě elektrolytických článků, elektrolýze, atd.). Musí odolávat mechanickým vlivům při instalaci stejně jako těm, které se objeví při normálním provozu [6]. Mechanická a korozní odolnost určují minimální rozměry zemničů. Dle normy jsou v **Tab. č. 4** pro zemniče uvedeny následující rozměry:

Tab. č. 4 - Materiál a minimální rozměry zemničů zajišťující mechanickou pevnost a odolnost proti korozi [6]

| Materiál | Typ zemniče                        | Minimální rozměry         |                           |                  |                         |                       |     |
|----------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|-----|
|          |                                    | Jádro                     |                           |                  | Povlak / plášť          |                       |     |
|          |                                    | Průměr (mm)               | Průřez (mm <sup>2</sup> ) | Tloušťka (mm)    | Jednotlivé hodnoty (μm) | Průměrné hodnoty (μm) |     |
| Ocel     | žárově pozinkovaná                 | Pásek <sup>2)</sup>       |                           | 90               | 3                       | 63                    | 70  |
|          |                                    | Profil (žel. desky)       |                           | 90               | 3                       | 63                    | 70  |
|          |                                    | Trubka                    | 25                        |                  | 2                       | 47                    | 55  |
|          |                                    | Tyčový zemnič             | 16                        |                  |                         | 63                    | 70  |
|          |                                    | Drát pro vodorovný zemnič | 10                        |                  |                         |                       | 50  |
|          | s olovněným povlakem <sup>1)</sup> | Drát pro vodorovný zemnič | 8                         |                  |                         | 1000                  |     |
|          | s vytlačovaným Cu pláštěm          | Tyčový zemnič             | 15                        |                  |                         | 2000                  |     |
|          | s elektrolytickým Cu povlakem      | Tyčový zemnič             | 14,2                      |                  |                         | 90                    | 100 |
| Měď      | holá                               | Pásek                     |                           | 50               | 2                       |                       |     |
|          |                                    | Drát pro vodorovný zemnič |                           | 25 <sup>3)</sup> |                         |                       |     |
|          |                                    | Lano                      | 1,8 *                     | 25               |                         |                       |     |
|          |                                    | Trubka                    | 20                        |                  | 2                       |                       |     |
|          | pocínovaná                         | Lano                      | 1,8 *                     | 25               |                         | 1                     | 5   |
|          | galvanická                         | Pásek                     |                           | 50               | 2                       | 20                    | 40  |
|          | s olovněným povlakem <sup>1)</sup> | Lano                      | 1,8 *                     | 25               |                         | 1000                  |     |
|          |                                    | Drát                      |                           | 25               |                         | 1000                  |     |

\* jeden drát  
<sup>1)</sup> nevhodné pro přímé uložení do betonu  
<sup>2)</sup> pásek válcovaný nebo stříkaný se zaoblenými hranami  
<sup>3)</sup> v extrémních podmínkách, kde podle zkušeností je riziko koroze a mechanického namáhání velmi nízké, může být užito 16 (mm<sup>2</sup>)

Mezi nejpoužívanější materiály na výrobu zemničů tedy patří pozinkovaná ocel a měď. Pro provedení uzemňovací soustavy se nejčastěji používá žárově zinkovaná ocelová páska 30x4 (30x3). Použití hliníku jako zemniče se nedoporučuje vzhledem k chemickým reakcím [6].

## 5 ZEMNIČE

Norma ČSN EN 50522 uvádí tyto typy zemničů:

- Tyčové nebo trubkové,
- Páskové nebo drátové,
- Deskové,
- Strojené základové,
- Náhodné – kovové výztuže betonu uloženého v zemi

V [5] jsou uvedeny tyto zemniče a jejich definice:

**Náhodný zemnič** - vodivý předmět trvale uložený v zemi, ve vodě nebo v betonu, který byl vybudován k jinému účelu než k uzemnění, ale je možné ho využít jako zemniče.

**Strojený zemnič** – zemnič záměrně zřízený pro uzemnění

**Hloubkový zemnič** – zemnič uložený vertikálně do hloubky větší než 3 m.

**Základový zemnič** – zemnič uložený v betonových základech budov, stožárů elektrických vedení, v elektrických stanicích, nosných konstrukcích apod.

**Zemnič pro vyrovnání potenciálu** – zemnič uložený ve vhodné hloubce a vzdálenosti od vodivých předmětů za účelem ovlivnění průběhu potenciálu na povrchu země.

**Zemnicí tyč** – zemnič provedený z kovové tyče, zaražený do země.

**Zemnicí deska** – zemnič z kovové desky, zakopaný do země.

**Zemnicí pásek** – zemnič z kovového pásku, zakopaný do země.

**Uzemňovací síť** – část uzemňovacího systému, obsahující zemniče a jejich vzájemné spojení.

Z hlediska využití plochy materiálu, s ohledem na dosažený zemní odpor, jsou nejvhodnější zemniče uložené ve vertikálním směru. Jsou to zemniče tyčové nebo hloubkové. Dosažený zemní odpor v homogenní půdě, při stejné vodivosti půdy, je přibližně poloviční, než u zemniče o stejné délce, uloženého v horizontálním směru. Z ekonomického hlediska jsou nejméně vhodné zemniče deskové [4].

### 5.1 Volba typu zemničů

Typ, materiály a rozměry zemničů musí být zvoleny tak, aby vydržely účinky korozních vlivů a aby měly po plánovanou dobu života odpovídající mechanickou pevnost. Z hlediska koroze je možno uvažovat s následujícími parametry: pH půdy na místě zemniče, rezistivitou půdy, její vlhkostí, bludnými a unikajícími střídavými a stejnosměrnými proudy, chemickým znečištěním [4].

Pro obvykle používané materiály pro zemniče jako běžné minimální průřezy z hlediska koroze a mechanické pevnosti u zemničů uložených v půdě nebo v betonu uvedeny v **Tab. č. 4**. Pro uzemnění mají být využity především zemniče náhodné. Strojené zemniče se mají zřizovat jen když:

- náhodné zemniče nevyhovují požadavkům normy,
- zemní odpor náhodných zemničů nevyhovuje,

- použití náhodných zemničů by bylo neekonomické,
- nelze zajistit, že spojení s náhodným zemničem nebude přerušeno,
- jiné předpisy vyžadují zřízení.

## 5.2 Náhodné zemniče

Jako náhodné zemniče je možno využít podzemní část ocelových konstrukcí uložených v betonu a výztužnou ocel v betonových základech. Například u ocelových stožárů elektrického vedení je náhodný základový zemnič tvořen podzemní částí ocelového stožáru v betonovém základu, který je současně uzemňovacím přívodem [4].

Vodovodní potrubí a potrubí hořlavých kapalin a plynů se k uzemňování nesmí použít.

## 5.3 Strojené zemniče

Pro strojené zemniče se používá zejména holá nebo pozinkovaná ocel s průřezy, které jsou uvedené v **Tab. č. 4**. Typ a tvar zemniče se volí podle vodivosti půdních vrstev a podle prostoru, který je pro uložení zemniče k dispozici. Pro uzemnění elektrických zařízení budov, pokud musí být použit strojený zemnič, se zřizuje především základový zemnič.

### 5.3.1 Strojené základové zemniče

Ocelový pásek nebo drát o minimálním průřezu dle **Tab. č. 4** se uloží do izolační vrstvy jako obvodový zemnič, cca 1m od chráněného objektu do hloubky 60 až 80 cm.

### 5.3.2 Vodorovné zemniče

Vodorovné zemniče mají být obvykle uloženy v hloubce 0,5 m až 1 m pod úrovní země. To poskytuje dostatečnou mechanickou ochranu. Doporučuje se zemniče umístit pod zámraznou hloubku [5].

## 5.4 Zemnič pro vyrovnání potenciálu

Zemnič pro vyrovnání potenciálu (označovaný někdy jako ekvipotenciální práh) je dle [5] zemnič uložený ve vhodné hloubce a vzdálenosti od vodivých předmětů za účelem ovlivnění průběhu potenciálu na povrchu země. Pro snížení dotykového napětí se zpravidla použije páskový či drátový vodič, uložený v hloubce 30 až 40 cm ve vzdálenosti 1 m od vodivého předmětu nebo konstrukce. Pro snížení krokových napětí se ukládají další, vzájemně propojené vodiče, postupně do větších vzdáleností a hloubek.

## 6 UZEMNĚNÍ V DISTRIBUČNÍCH TRANSFORMOVNÁCH

Volba systému uzemnění nám definuje možnosti provozu soustavy z hlediska bezpečnosti, chránění, dimenzování či nepřetržitosti dodávky elektrické energie. V případě bezporuchového stavu symetrické sítě se způsob uzemnění nijak prakticky neprojeví na jejím provozu. Zásadní rozdíl je v případě poruchy, kdy dojde k vodivému spojení jedné fáze se zemí. Pokud tato porucha vznikne uvnitř sítě účinně uzemněné či uzemněné přes uzlový odporník, mluvíme o jednofázovém zkratu a poruchový proud dosahuje úrovní, které vylučují další provoz postižené soustavy. V tomto případě musí dojít v co nejkratším čase k odpojení postiženého vedení a tedy i k přerušení dodávky elektrické energie. U sítí neúčinně uzemněných či izolovaných se jedná o zemní spojení, jehož poruchový proud nedosahuje tak vysoké úrovně a není tedy bezpodmínečně nutné okamžité vypnutí postiženého vývodu. Právě úroveň poruchového proudu je značně ovlivněna použitým systémem uzemnění a je tedy směrodatná pro určení rizika úrazu elektrickým proudem, dimenzování či pro zhodnocení mechanických následků způsobených poruchou [8].

Kvalita uzemnění v distribučních transformovnách je důležitá především pro bezpečnost pracovníků uvnitř stanice, ale také i osob, které se pohybují v jejich okolí, kam mohou být nebezpečná napětí zavlečena (oplocení, osvětlení, zábradlí). Důležitý je však i význam správně provedeného uzemnění pro technické účely, jako například měření, ovládání či správná funkce přístrojů. Na tyto požadavky musí dbát provozovatelé zřetel a zajistit tak i periodické revize uzemnění dle normy, díky kterému lze odhalit i narušení sítě vlivem koroze.

Uzemnění může sloužit současně jako ochranné i jako pracovní uzemnění. Pracovní uzemnění je trvalé nebo přechodné spojení se zemí části elektrického zařízení, například uzemnění uzlu transformátoru nebo uzemnění nulového vodiče v síti. Ochranné uzemnění je spojení se zemí těch částí, které nejsou zpravidla pod napětím, ale jsou v blízkosti částí s napětím, jímž se musí zabránit, aby tak nevznikalo životu nebezpečné napětí.

### 6.1 Způsoby uzemnění dle různého typu sítě

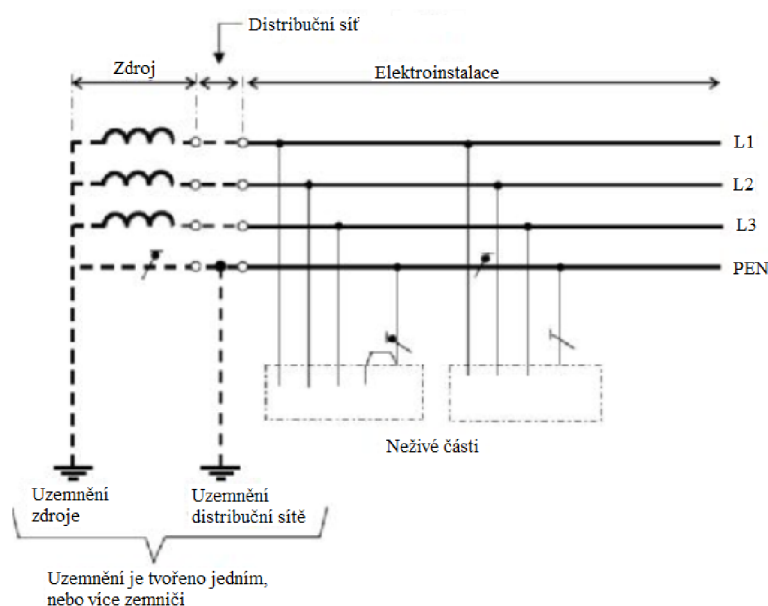
Rozlišení jednotlivých sítí, které se u nás využívají, se liší způsoby uzemnění a tyto typy jsou značeny písmenným kódem (např.: TN-C). První písmeno dle [9] vyjadřuje vztah sítě a uzemnění. Druhé písmeno vyjadřuje vztah neživých částí v rozvodu a uzemnění. Poslední písmeno vyjadřuje uspořádání středních a ochranných vodičů (pokud existuje).

- **Sít' TN-C**

Tyto sítě jsou dle [9] využívány pro střídavé sítě se jmenovitým napětím do 1 kV. Pro svoji funkci síť využívá ochranu neživých částí nulováním. K vedení zpětných proudů je využito jednoho vodiče, který zde plní funkci ochranou i pracovní tam, kde je možné docílit prostředky základní ochrany dostatečnou ochranu před úrazem elektrickým proudem. Při porušení izolace živých částí se dostává nebezpečné napětí na neživé vodivé části zařízení. Ochrana automatickým odpojením od zdroje nadproudovými prvky vybavuje při spojení fáze se zemí, je-li střední vodič přerušen, mohou na neživých částech vznikat nebezpečná dotyková napětí, která ochrana automatickým odpojením od zdroje nerozezná.

Pro sítě 230 V musí být porucha odpojena do 0,2 s. **Na Obr. 6-1** můžeme vidět schéma této sítě.

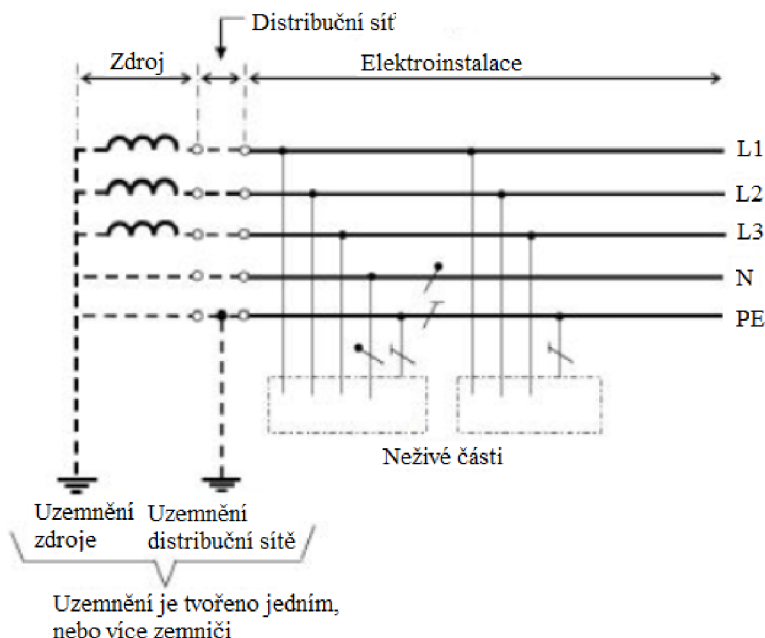




Obr. 6- 1 – Síť TN-C v níž je vodič s kombinovanou funkcí nulového a ochranného vodiče [9]

- **Síť TN-S**

Tyto sítě jsou dle [9] využívány také pro sítě se jmenovitým napětím do 1 kV a tam, kde je nutné části zařízení uchopit do ruky. V této síti je oddělený ochranný a nulový vodič (můžeme tedy jako doplňkovou ochranu využít proudový chránič). Vypnutí je požadováno při překročení unikajícího proudu o hodnotě 30 mA. Oddělení vodičů má za následek omezení rušivých vlivů, které vznikají při provozu u sdělovacích zařízení. Na **Obr. 6-2** můžeme vidět schéma této sítě.

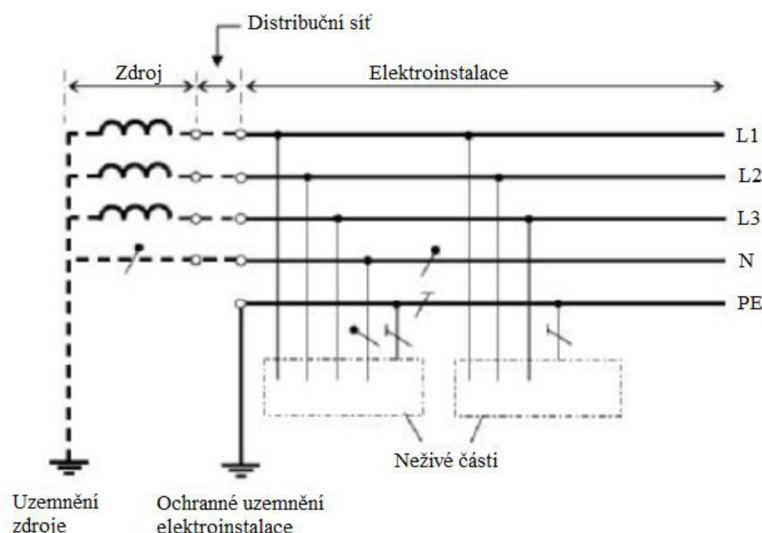


Obr. 6- 2 - Síť TN-S s odděleným nulovým a ochranným vodičem v celém systému [9]

- **Síť TT**

Tato síť je dle [9] síť trojfázová uzemněná s ochranou neživých částí uzemněním. Toto provedení sítě může být i bez vyvedeného středního vodiče. Ochrana neživých částí uzemněním

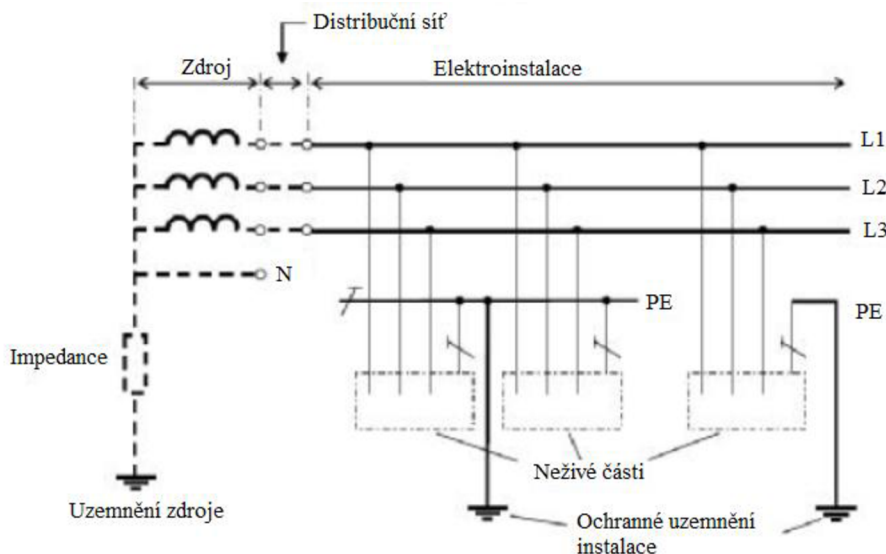
je provedena pomocí ochranného vodiče, který však není spojen přímo s uzemněným středním bodem pracovního obvodu, ale prostřednictvím země. Ochrana neživých částí před nebezpečným dotykovým napětím je samostatným uzemněním každého elektrického předmětu. Všechny neživé části chráněné společně stejným ochranným přístrojem musí být spojeny ochrannými vodiči se zemnicem, který je pro všechny tyto neživé části společný. Pokud se použije několik různých ochranných přístrojů v sérii, platí tento požadavek samostatně pro všechny neživé části chráněné stejným přístrojem. Doba odpojení poruchy nesmí přesáhnout 0,07 s. **Na Obr. 6-3** můžeme vidět schéma této sítě.



Obr. 6-3 – Síť TT s odděleným nulovým vodičem a ochranným vodičem elektroinstalace [9]

- **Síť IT**

Tato síť je dle [9] síť izolovaná s uzlem zdroje přes velkou impedanci. Ochrana neživých částí před nebezpečným dotykovým napětím se provádí samostatným uzemněním každého elektrického předmětu (tj. spotřebiče, zařízení). V případě jedné poruchy mezi živou a neživou částí nebo živou částí a zemí je pak poruchový proud poměrně malý, nedochází ke zkratu, ale k tzv. zemnímu spojení. Musí však být provedena opatření, aby se zabránilo nebezpečí škodlivých patofyziologických účinků na osobu, která se dotýká současně přístupných neživých částí v případě, kdy dojde ke dvěma poruchám současně. Výhody možnosti provozovat síť i za existence jedné poruchy se využívá v sítích 22kV. Doba odpojení u sítě IT tak může dosahovat i několika hodin. **Na Obr. 6-4** můžeme vidět schéma této sítě.



Obr. 6- 4 – Síť IT s neživými částmi uzemněnými společně, nebo individuálně [9]

Dle typu sítě dimenzujeme zemnič na nejnepříznivější působení poruchového proudu s ohledem na jeho velikost a dobu trvání. Dle hodnoty oteplení zemniče, v závislosti na uvažované síti, musíme provádět kontrolu zejména u sítí TN a TT, kde je zemnič oteplován zemními kapacitními proudy způsobenými jednofázovým zkratovým proudem. U sítě IT je jako nejnepříznivější proud považován dvoufázový zemní zkrat, který teče uzemňovacím přívodem.

## 6.2 Vliv uzemňovací soustavy VN na soustavu NN

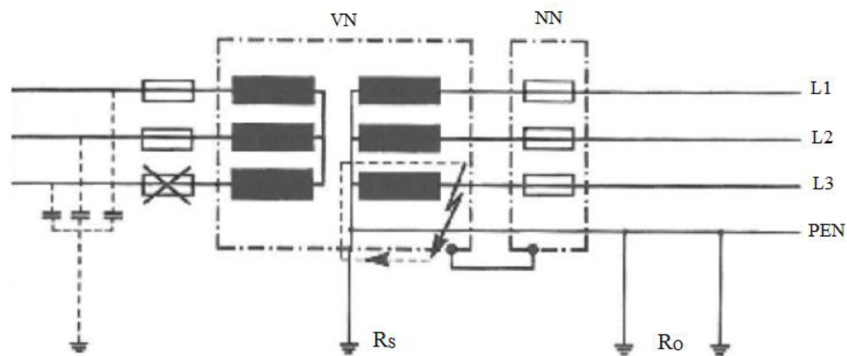
Při návrhu uzemnění musíme brát ohledy na chování uzemnění transformovny vzhledem k sítím odběratelům elektrické energie, tedy sítě nízkého napětí. Bezpečnost je možné zajistit rozdělením nebo spojením uzemňovacích soustav. Na základě možných nebezpečných stavů pro obě provedení pak norma určuje za jakých podmínek je možné oddělení nebo spojení provést.

### 6.2.1 Společná uzemňovací soustava částí VN a NN

Společná uzemňovací soustava je dle normy doporučené uspořádání zemničů.

#### a) Porucha na straně NN

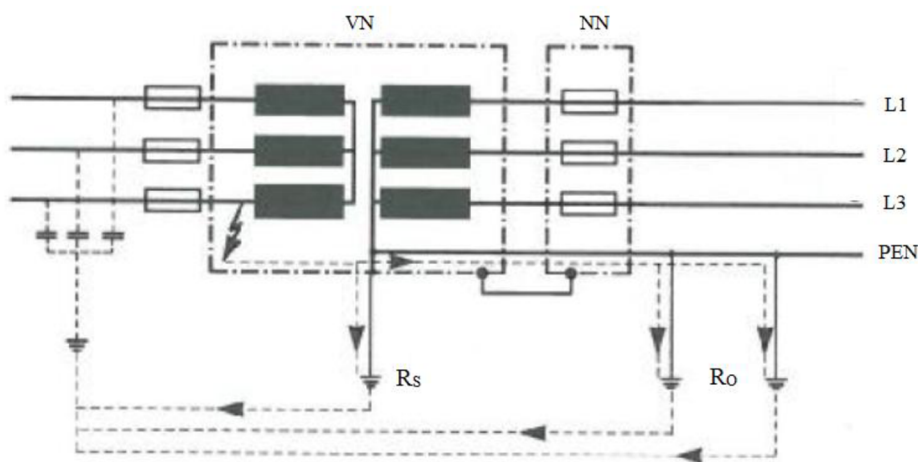
Při poruše izolace fáze na straně NN je poruchová smyčka tvořena impedancí vodiče PEN směrem k uzlu, která je však zanedbatelná. Na straně NN neuvažujeme zdroj proudu, proto bude zkratový příspěvek NN části roven nule a proud VN částí se dle Ohmova zákona bude blížit nekonečnu (v závislosti na zkratovém výkonu sítě). Ochrana VN tedy vybavuje v předepsaném čase. Nevznikají žádná kroková ani dotyková napětí [2].



Obr. 6- 5 – Porucha na straně NN [4]

## b) Porucha na straně VN

Jestliže je transformovna uvedena na stejný potenciál, nevznikají žádná dotyková napětí. Na vodiči PEN se pak v závislosti na vzdálenosti od rozvodny mohou objevit nebezpečná napětí daná vlastní impedancí vodiče PEN a poruchového proudu [2].



Obr. 6- 6 - Porucha na straně VN [4]

Při návrhu uzemnění elektrické stanice se jeví jako nejvhodnější varianta pro spojení uzemnění VN a NN.

### 6.2.2 Oddělená uzemňovací soustava částí VN a NN

Při nesplnění podmínek pro společnou uzemňovací soustavu se jedná o jediné možné řešení, které nemusí být technicky proveditelné. Oddělení musí být provedené tak, aby v instalaci nedošlo k ohrožení osob nebo zařízení. Všeobecně uznávaná bezpečná vzdálenost pro oddělení zemničů  $D_{\text{accept}}$  je považována 20m. Vzdálenost však můžeme za určitých předpokladů snížit, například zvýšením rezistivity v předpokládané cestě zemního proudu a odstraněním všech náhodných zemničů. Při rozboru nebezpečných stavů při oddělených uzemňovacích soustavách je pak možné říci že [2]:

a) Při poruše na straně VN nevznikají u odběratelů žádná nebezpečná dotyková a kroková napětí.

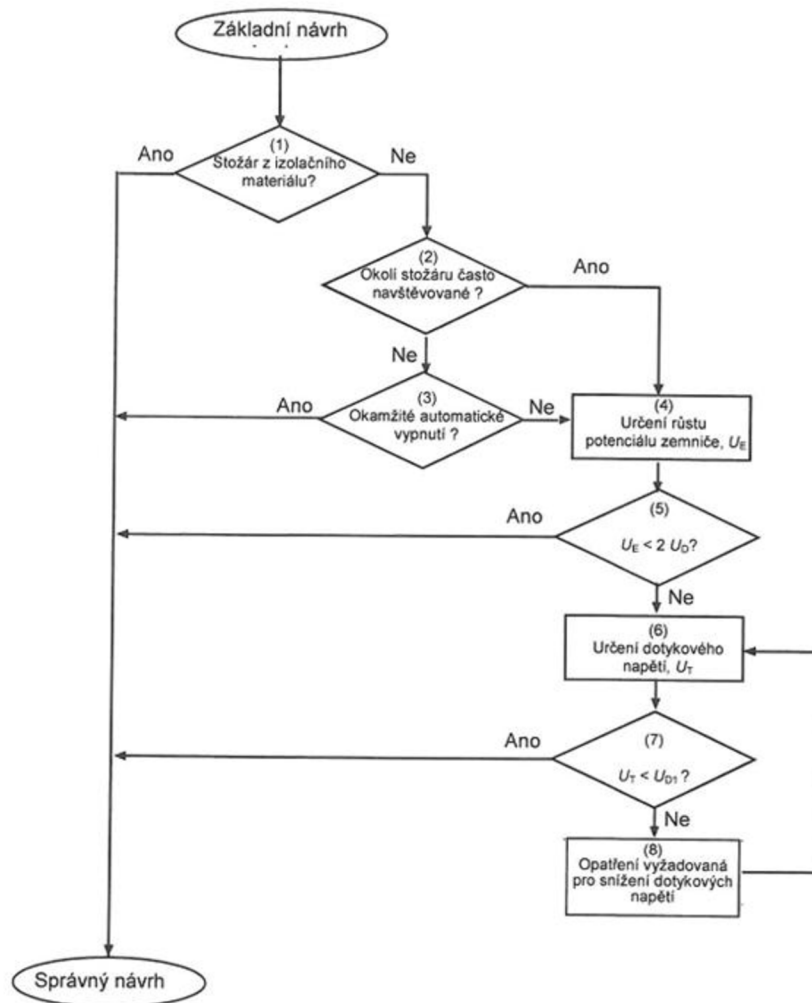
b) Nebezpečný stav může vzniknout na neživých částech uvnitř elektrické stanice a to trvalý, při narušení izolace nejčastěji na NN části transformátoru.

Mimo rizika nebezpečí úrazu uvnitř stanice může vzniknout v průběhu času další závažný problém. Výstavbou v okolí transformovny může dojít k položení dalších strojených nebo náhodných zemničů a narušením tak bezpečné vzdálenosti bez vědomí provozovatele distribuční sítě. Obtížnost oddělení uzemňovacích soustav je jedním z důvodů upřednostnění společné uzemňovací soustavy [2].

## 7 UZEMNĚNÍ STOŽÁRŮ VN

Pro uzemnění stožárů VN platí stejné požadavky jako pro uzemnění u distribučních trafostanic. Uzemnění stožárů VN je provedeno pomocí páskových zemničů uvedených v **Tab. 4**, kdy je zemnicí páska připojena šroubovým spojem ke konstrukci stožáru. Jedná se o propojení konstrukce stožáru se zemí takovým způsobem, abychom omezili nejvyšší dovolené hodnoty dotykových a krokových napětí, který jsou uvedeny v kapitole 4.2. *Dotykové a krokové napětí*. Výpočet dovolených dotykových napětí se dle ČSN EN 50341-1 ed.2 provádí pro dobu trvání ustáleného zkratového proudu 0,1s (hodnota vypínacích časů pro základní provozní stav sítě a pro základní čas ochran).

Při revizi uzemnění stožárů VN se kontroluje zejména stav zemničů z hlediska opotřebení koroze, rezistivita půdy v okolí stožáru a hodnoty odporu samotného zemniče, který by neměl přesáhnout hodnotu 10  $\Omega$ . Jestliže tento odpor nevyhovuje, musí se provést taková opatření, aby hodnota tohoto odporu klesla (při rekonstrukci nově položený zemnič, nové patky stožárů). Postup výpočtu a zhodnocení dotykových napětí je dle [10] uveden na **Obr. 7-1**.



Obr. 7- 1 – Vývojový diagram návrhu s ohledem na dotyková napětí [10]

## 8 MĚŘENÍ UZEMNĚNÍ

Měření uzemnění se provádí po montáži uzemňovacího systému pro ověření správného návrhu provedení. Měření mají v příslušných lokalitách zahrnovat měření impedance uzemňovací soustavy a předpokládaná dotyková a kroková napětí.

### 8.1 Požadavky na měření uzemnění

U nově zřízených nebo rekonstruovaných uzemnění je nutno v pravidelných lhůtách stanovených revizním řádem provádět jejich kontrolu. Vykopání na vybraných místech a vizuální prohlídka je přiměřený způsob, jak ověřit stav uzemnění. Kvalita uzemnění z hlediska ochrany před úrazem elektrickým proudem se posuzuje podle:

- a) Hodnoty zemního odporu uzemnění

U společné uzemňovací soustavy o rozloze větší než 10 000 m<sup>2</sup>, tvořené vzájemně propojenými náhodnými i strojenými zemniči se měření zemního odporu nepožaduje. Zde se s ohledem na rozsah předpokládá, že zemní odpor je vždy vyhovující [4].

- b) Hodnot dotykového napětí, jejichž měření se požaduje u el elektrických stanicích s napětím 22 kV a vyšším.

### 8.2 Metody měření zemního odporu uzemnění

Použitý způsob měření závisí především na rozloze měřeného zemniče a také na míře rušivých vlivů, které lze v okolí zemniče očekávat. ČSN 333201 a ČSN EN 50 522 definuje pro měření zemního odporu a zemní impedance tyto metody:

- a) Metoda spádu potenciálu s měřičem uzemnění pro malé a střední zemniče
- b) Vysokofrekvenční měřič uzemnění pro malé a střední zemniče bez možnosti odpojení měřeného zemniče
- c) Proudová metoda pro měření impedance velkých uzemňovacích soustav

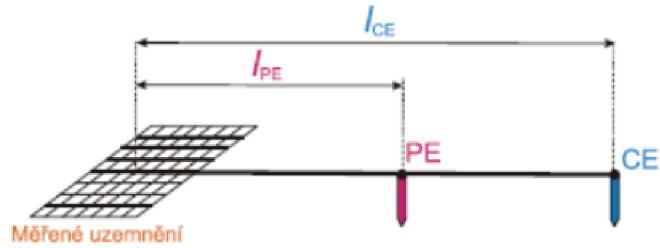
Pro měření menších transformačních stanic, kterými se tato práce zabývá, použijeme metodu potenciálového spádu. Postup měření pomocí této metody je podrobně zpracován v kapitole 10.3

#### 8.2.1 Metoda potenciálového spádu

Metoda potenciálového spádu je vhodná pro měření zemních odporů zemničů s menší rozlohou, se zemním odporem větším než 0,5 Ω. Jedná se o jednotlivé tyčové nebo paprskové zemniče, uzemnění stožárů, nebo uzemnění malých distribučních trafostanic [8].

Přesnost měření ovlivňuje zejména:

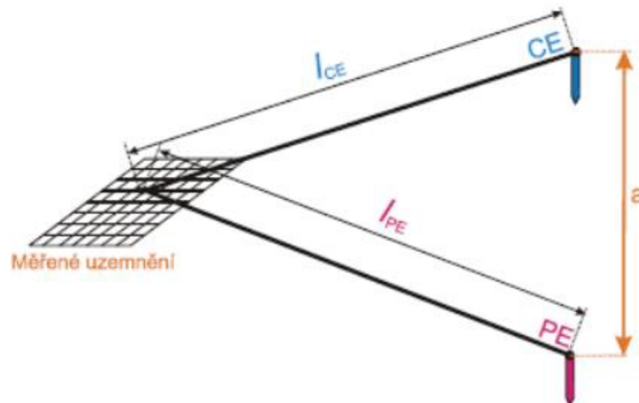
- a) vzdálenost proudové CE elektrody od měřeného uzemnění **Obr. 8-1**
- pro jednoduché zemniče do délky 40m se požaduje vzdálenost proudové elektrody -  $l_{CE}$  alespoň 40m kolmo na delší rozměr zemniče,
  - pro složitý zemnič nebo zemničí síť musí být  $l_{CE}$  alespoň čtyřnásobek největšího rozměru nebo úhlopříčky zemniče,



Obr. 8- 1 – Metoda potenciálového spádu ad a) [8]

b) rozmístění proudové CE a potenciálové PE elektrody **Obr. 8-2**

- střed měřeného uzemnění a elektrod PE a CE leží na přímce, přičemž platí, že vzdálenost  $l_{PE} = 0,625 \cdot l_{CE}$  (minimálně 20 m),
- střed měřeného uzemnění a měřicí elektrody tvoří vrcholy rovnoramenného trojúhelníka, přičemž  $l_{PE} = l_{CE}$ ,

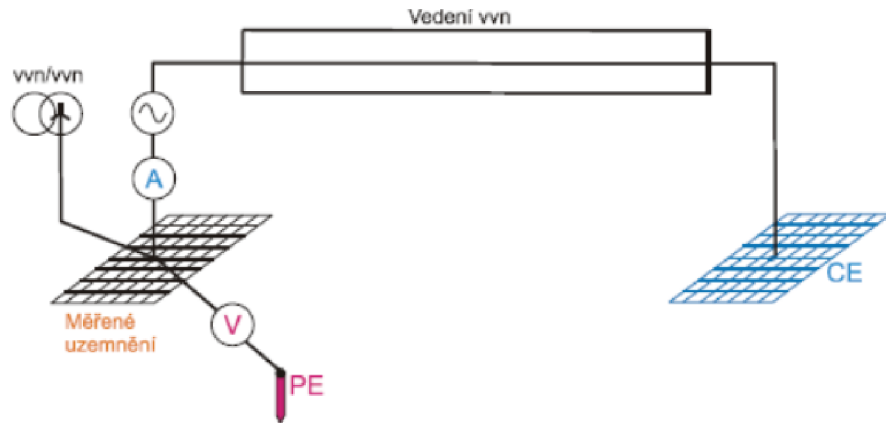


Obr. 8- 2 – Metoda potenciálového spádu ad b) [8]

### 8.2.2 Proudová metoda

Tato metoda je určena k měření zemního odporu velkých uzemňovacích soustav. Její podstata spočívá v měření úbytku napětí na uzemnění, který vyvolá vnucený zkušební proud. Zdroj proudu se zapojí mezi měřené uzemnění a vzdálený zemnič - elektrodu CE. Zemnicí lana a pláště kabelů se v tomto případě neodpojují. Napětí se měří voltmetrem s velkým vnitřním odporem, zapojeným mezi měřené uzemnění a elektrodu PE. Zemní odpor se stanoví z podílu napětí a proudu. Napájecí zdroj se připojí k měřenému uzemnění v blízkosti uzemnění uzlů transformátorů. Jako proudové elektrody se použije uzemnění sousední elektrické stanice [8].





Obr. 8- 3 – Měření odporu uzemnění proudovou metodou [8]

Kdyby byl plášť oboustranně nebo v průběhu trasy uzemněn, bude hodnota napětí v důsledku redukčního účinku kabelového pláště značně zkreslena (naměří se menší hodnota).

Vliv redukčního činitele se projeví také u vedení se zemnicím lanem, které bylo použito pro spojení s proudovou elektrodou, a proto se musí při výpočtu zemního odporu vzít v úvahu.

Zemní odpor odpovídá dle Ohmova zákona podílu napětí a proudu.

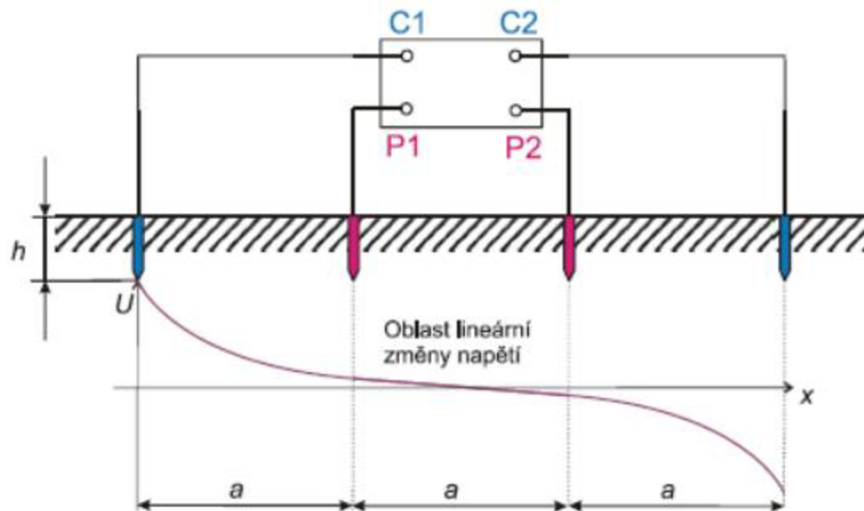
$$R_E = \frac{U_m}{r * I_m}, \quad (8.2)$$

|     |       |  |
|-----|-------|--|
| kde | $R_E$ | zemní odpor [ $\Omega$ ]                             |
|     | $U_m$ | naměřená hodnota napětí [V]                          |
|     | $I_m$ | měřicí proud [A]                                     |
|     | $r$   | redukční činitel vedení použitého k elektrodě CE [-] |

### 8.3 Měření rezistivity

Měření rezistivity půdy pomocí čtyř elektrod se označuje jako geoelektrické měření. Užívá se metoda Schlumbergerova a Wennerova. Obě jsou velmi podobné a liší se jen vzájemnou konfigurací elektrod a z toho plynoucího odlišného vyhodnocení. Metoda Wennerova je více používaná. Princip uspořádání elektrod a zapojení přístroje pro měření rezistivity touto metodou je uveden na **Obr. 8-4**. Jako elektrody se použijí tyče o průměru 15 až 20 mm, zaražené v jedné přímce do hloubky 20 cm v rozestupu  $a$ . Proudové elektrody (vnější) se připojí na svorky C1 a C2 a potenciálové (vnitřní) na svorky P1 a P2.

Rozstup elektrod  $a$  se postupně zvětšuje podle požadované hloubky měření a měření se provede na několika místech [8].



Obr. 8- 4 – Rozmístění elektrod při měření rezistivity půdy Wennerovou metodou [8]

Rezistivita půdy  $\rho$  v  $\Omega\text{m}$  se vypočítá ze vztahu:

$$\rho = 2 * \pi * a * \frac{\Delta U}{I}, \quad (8.3)$$

- kde
- $\rho$  rezistivita půdy [ $\Omega\text{m}$ ]
  - $\Delta U$  napětí naměřené mezi napět'ovými elektrodami [V]
  - $I$  proud protékající proudovými elektrodami [A]
  - $a$  je vzdálenost mezi elektrodami [m]

Tento vztah platí za předpokladu, že hloubka elektrod  $h$  je mnohem větší než rozstup elektrod  $a$ . Je-li nutné elektrody zarazit do větší hloubky, aby byl dosažen požadovaný zemní odpor elektrod (zpravidla v půdách s velkou rezistivitou) je třeba podle **Tab. č. 5** vynásobit výslednou hodnotu konfigurační konstantou [8].

Tab. č. 5 – Konfigurační konstanta  $k$  [8]

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

Takto stanovenou rezistivitu považujeme za střední rezistivitu půdy do hloubky rovné rozestupu elektrod  $a$ .

## 9 MĚŘENÍ UZEMNĚNÍ POMOCÍ MĚŘICÍHO SYSTÉMU OMICRON

Jednou z nejdůležitějších částí provozu všech elektrických soustav je správně provedená zemnicí soustava. Pomocí měřicího přístroje CPC 100 společně s jeho vazební jednotkou CP CU1 je umožněno měření zemní impedance u distribučních trafostanic za pomoci využití existujícího vedení nebo silového kabelu, kroková a dotyková napětí a dále pak například impedance venkovních vedení a silnoproudých kabelů.

### 9.1 OMICRON CPC 100

OMICRON CPC 100 je podle [11] univerzální přístroj, který umožňuje testování výkonových transformátorů, přístrojových transformátorů napětí a proudu, elektrických vedení a silových kabelů, spínacích a jisticích prvků, uzemnění a točivých strojů.



Obr. 9- 1 - Přední panel přístroje OMICRON CPC 100 [12]



Obr. 9- 2 – Vysokonapětové a proudové výstupy [12]



Obr. 9- 3 - Komunikační rozhraní CPC 100 [12]

Tab. č. 6 – Popis přístroje OMICRON CPC 100 [12]

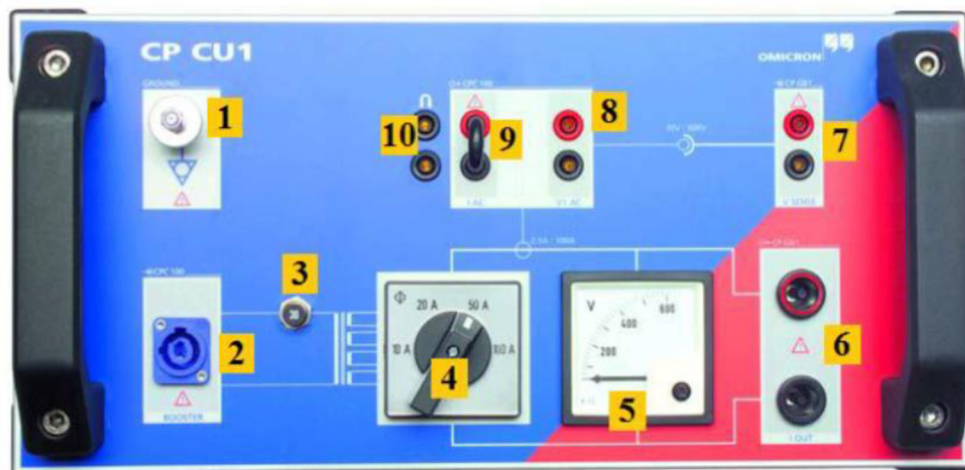
Popis přístroje OMICRON CPC 100:

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 1. AC výstup 6 A / 130 V            | 14. Tlačítka pro výběr funkcí                 |
| 2. Měřicí vstupy                    | 15. Přepínání testovacích karet               |
| 3. DC výstup 6 A                    | 16. Uzemnění                                  |
| 4. Binární vstup                    | 17. DC výstup 400 A / 4-4,5 V                 |
| 5. Bezpečnostní zámek               | 18. AC výstup 800 A / 6,1-6,5 V               |
| 6. Bezpečnostní světelné indikátory | 19. AC výstup 2 kV                            |
| 7. Nouzové stop tlačítko            | 20. Ext. Booster výstup                       |
| 8. Popisová klávesnice              | 21. Napájení 85-264 V AC                      |
| 9. Navigační prvky                  | 22. Zapnutí / Vypnutí napájení                |
| 10. Spuštění / Vypnutí testování    | 23. Sériové rozhraní pro připojení zařízení   |
| 11. Displej                         | 24. Připojení externích bezpečnostních funkcí |
| 12. Rychlý výběr aplikace           | 25. Připojení k PC nebo k síti                |
| 13. Výběr zobrazení                 | 26. Připojení USB paměti                      |

## 9.2 OMICRON CP CU1

Vazební jednotka CP CU1 řeší podle [13] problém poruch způsobených síťovou frekvencí, tedy problém, který pro taková měření dosud vyžadoval extrémně velké a výkonné přístroje. Použití taktovaných zesilovačů a techniky frekvenčního zdvihu umožňuje vysoce přesná měření kompaktními přenosnými přístroji. Výsledky jsou pak automaticky interpolovány na hodnoty při síťové frekvenci. Potřebné výsledky jsou rovněž automaticky vypočítávány pomocí nainstalovaného softwaru.

Protože pro měření na vedeních VN a VVN jsou zapotřebí zvláštní bezpečnostní opatření, je připojení vstupů a výstupů CPC 100 na přenosové vedení realizován touto vazební jednotkou CP CU1. Tento přístroj má zabudovaný i přepěťový svodič a vazební transformátory a zvyšuje tak bezpečnost obsluhy během zkoušení v případě napěťových špiček. Mezi velké výhody patří splnění bezpečnosti pro připojení na venkovní vedení – při neočekávaných událostech, jakou jsou poruchy v paralelních systémech, může být do země bezpečně odvedeno až do 30 kA [13].



Obr. 9- 4 - Přední panel přístroj OMICRON CP CUI [14]

Tab. č. 7 – Popis přístroje CP CUI [14]

Popis přístroje OMICRON CP CUI:

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1) Uzemnění                    | 6) I OUT výstup                            |
| 2) Booster – vstup             | 7) V SENCE vstup                           |
| 3) Pojistka 30 A               | 8) V1 AC výstup                            |
| 4) Přepínač proudového rozsahu | 9) I AC výstup                             |
| 5) Voltmetr                    | 10) Svorky pro odložení zkratovací tyčinky |

Spojením mezi CP CU1 a venkovním vedením je vytvořeno přes uzemňovací jednotku CP GB1, která může být umístěna v bezpečné vzdálenosti od obsluhy. Tato uzemňovací jednotka je schopna odvádět proudy až do 30 kA, pokud je překročena mezní hodnota napětí.

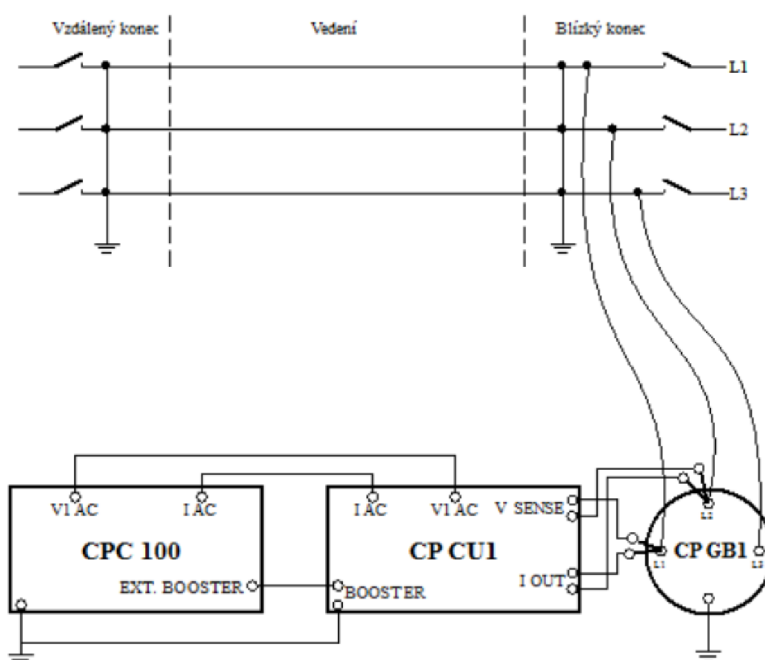
Tab. č. 8 - Příslušenství CPC 100 a CP CU1 [14]

|                       |   |   |
|-----------------------|---|---|
| Kabel BOOSTER         |    | Napájení CP CU1. Propojení Ext. BOOSTER výstupu (CPC 100) a BOOSTER vstupu (CP CU1)                     |
| V1 AC koaxiální kabel |    | Propojení V1 AC vstupu (CPC 100) a I AC výstupu (CPCU1)   |
| Kabel pro uzemnění    |   | Uzemnění CPC 100 a CP CU1   |
| Zkratovací tyčinka    |  | Tyčinka pro zkratování svorek I AC výstupu (CP CU1) vždy, když nejsou připojeny k I AC vstupu (CPC 100) |
| 3x Cívka s kabelem    |  | Pro připojení CPC 100 a zemních elektrod  |
| 3x Zemní elektroda    |  | Pro měření zemní impedance  |

### 9.3 Měření zemní impedance za pomoci existujícího vedení

Impedance uzemnění je určena přímo připojenými zemniči a také připojenými zemnicími lany a vodiči venkovních vedení uloženými v zemi, připojenými kabely s účinkem zemniče a jinými uzemňovacími soustavami, které jsou vodivě připojeny k příslušné uzemňovací soustavě vodivými kabelovými plášti, stíněním nebo vodiči PEN [7]. Pro tento způsob měření zemní impedance u trafostanice musí být tedy dané vedení vypnuto a odstaveno. Vedení se musí zazemnit na vzdálenějším konci (\*\*), jak je vidět na **Obr. 9-5**. Připojí se celý systém CPC 100 a CP CU1 pomocí uzemňovací jednotky CP GB1 k vedení, proud tak může být injektován přes vedení až do uzemňovací soustavy rozvodny a my můžeme tedy v okolí rozvodny měřit pokles napětí. Vedení nebo silový kabel zůstanou uzemněny na vzdálenějším konci po celou dobu měření.

(\*\*) Referenční (vzdálená) zem – část Země považována za vodivou, která je mimo dosah vlivu zemniče nebo uzemňovací soustavy, jejíž elektrický potenciál je podle úmluvy považován za rovný nule [7].



Obr. 9- 5 - Připojení měřicího systému k vedení pro měření impedance uzemnění [14]

Vzdálenost referenčního místa připojení k zemi závisí na velikosti měřené uzemňovací soustavy. Tato vzdálenost by měla být alespoň deseti až dvaceti násobek velikosti uzemňovací soustavy rozvodny. Signál proudu, který musí být na jiné frekvenci (např.: 30 nebo 70 Hz) než na frekvenci sítě (50 Hz), je potom veden do testové uzemňovací soustavy, proud se pak vrací zpět přes vedení.

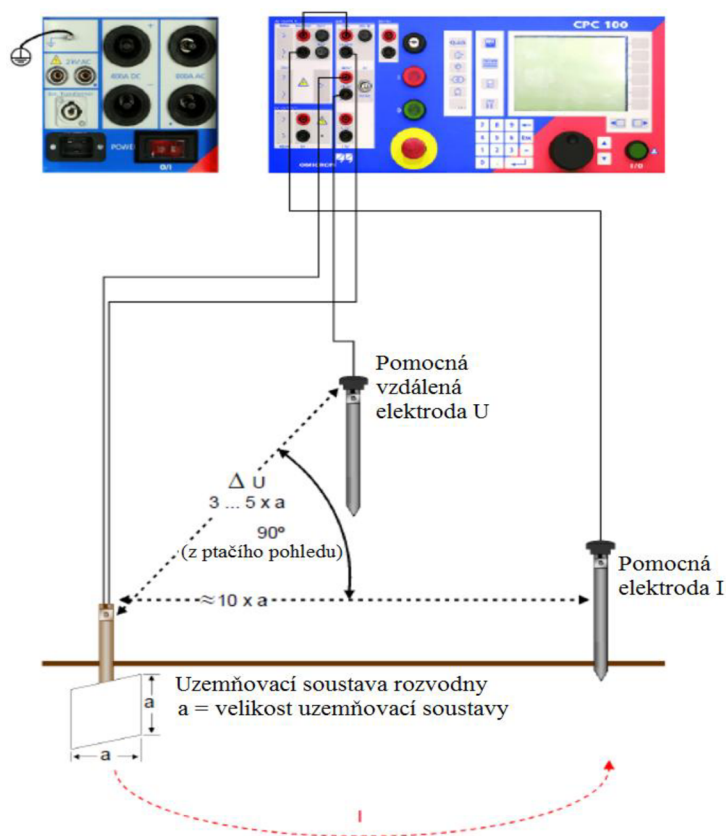
Pokles napětí okolo rozvodny je měřen použitím napěťové sondy, která se postupně umísťuje od rozvodny až do vzdálenosti než se ustálí výsledky měření. Měření jsou pouze frekvence generované samotným CPC 100 a tak nedochází k ovlivnění výsledků.

## 9.4 Měření zemní impedance bez použití vedení nebo silového kabelu

Menší zemní systémy mohou být testovány bez potřebného připojení k existující síti nebo silového kabelu, a proto tedy využití uzemňovací jednotky CP GB1 nebude potřebné. Avšak, měření probíhá stejným způsobem, kdy je proud injektován pomocí dlouhého vodiče pomocí celého systému CPC 100 a CP CU1.

Dle zadání této práce bylo provedeno měření uzemňovací soustavy tak, aby neomezilo chod sítě. Pro injektáž testovacího proudu nemohlo být tedy využito vedení, jako v případě předešlém.

Proto bude injektáž proudu probíhat dle **Obr. 10-1**, za pomoci pomocné elektrody I, která bude ve vzdálenosti minimálně desetinásobku velikosti uzemňovací soustavy. Za pomoci měřicího systému CPC 100 a jeho vazební jednotky CP CU1 bude probíhat injektáž proudu přes pomocnou elektrodu I, který se bude následně vracet zemí až na měřenou uzemňovací soustavu. Dále budou vkládány měřicí sondy napětí (pomocné elektrody U) do země v určité vzdálenosti od měřeného objektu. Doporučené vzdálenosti pro měření zemního odporu jsou 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200m a další jednotlivé kroky po 100m. Vzdálenosti mohou být měřeny s běžným zařízením GPS. Před začátkem měření se musí ověřit, zda jsou měřicí body s ohledem na průchod proudu v úhlu  $90^\circ$  (z ptáčích perspektivy), jak je vidět na **Obr. 10-1**.



Obr. 10- 1 – Připojení OMICRON CPC 100 k uzemňovací soustavě rozvodny [12]



## 9.5 Měření dotykového a krokového napětí

U měření dotykového a krokového napětí, je proud donucen protékat zemí, zpravidla propojený s uzemňovací soustavou jedním pólem proudového výstupu CP CU1 a druhým pólem k vzdálenější (referenční) zemi, která není ovlivněna testovanou uzemňovací soustavou pomocí vypnutého vedení či silového kabelu. Napětí je poté měřeno uvnitř a okolo testovaného objektu.

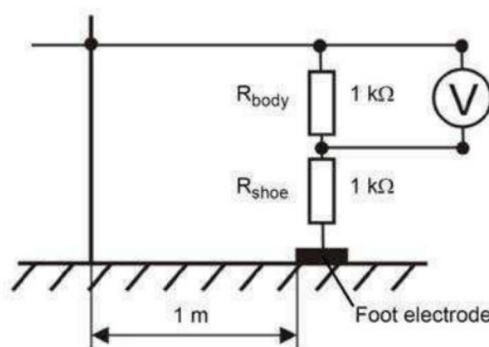
Jestliže může dojít k dotyku u nějaké části vzdálené alespoň 2 m okolo testovaného objektu, měří se dotykové napětí mezi dvěma elektrodami (ruka-ruka). Jestliže v této vzdálenosti 2 m k dotyku dojít nemůže, měří se dotykové napětí mezi rukou a nohou, které jsou ve vzdálenosti 1 m od testovaného objektu.

Existují dvě metody měření dotykového a krokového napětí. První metoda je měření napětí pomocí CPC 100 použitím V1 AC vstupu a šablony „Dotykové a krokové napětí“. K propojení elektrod a CPC 100 se využívá datového kabelu. Po vložení dat pomocí naměřené šablony do *CPC Excel File Loader*, je krokové napětí přepočteno dle největšího možného poruchového proudu, např.: 20 kA.

Druhá metoda, která bude v praxi využita, vychází z injektáže proudu pomocí CPC 100 a CP CU1 a napětí je poté měřeno uvnitř a kolem testovaného objektu voltmetrem OMICRON CP AL1 FFT (viz **Obr. 9-6**)



*Obr. 9- 7- Selektivní frekvenční voltmetr OMICRON CP AL1 FFT,  
Zdroj: [www.omicron.at](http://www.omicron.at)*



*Obr. 9- 6 – Měření dotykového a krokového napětí pomocí selektivního voltmetru [11]*

Pomocí tohoto selektivního frekvenčního voltmetru s adaptérem pro odpor  $1\text{ k}\Omega$ , který představuje odpor lidského těla, a odpor  $1\text{ k}\Omega$ , který představuje odpor chodidla, se bude měřit rozdíl potenciálů v místech, kde by mohlo dojít k dotyku ve vzdálenosti 2 m nebo mezi rukou 1 m a nohou ve vzdálenosti 1 m, jak lze vidět na **Obr. 9-7**. Normy uvádějí, že při měření dotykového a krokového napětí, musí mít chodidlo (elektroda) alespoň  $400\text{ cm}^2$  a musí být k zemi kolmo přitlačována silou alespoň 500 N (což odpovídá hmotnosti 50 kg). Součástí vybavení celého měřicího systému OMICRON jsou dva barely na vodu, které představují chodidla o výše zmíněné hmotnosti a ploše dotyku se zemí.

Skutečné dotykové napětí, které by se mohlo objevit na testovaném zemniči, se určí ze vztahu

$$U_{dot} = U_{M dot} \frac{I_E}{I_M \cdot r}, \quad (8.4)$$

kde  $U_{M dot}$  napětí naměřené mezi zemničem a elektrodou simulující nohu  
 $I_M$  měřený zkušební proud (výstupní proud z CP CU1)  
 $I_E$  největší předpokládaný poruchový proud, který může zemničem protékat  
 $r$  redukční činitel vedení vůči vzdálenému zemniči.

Redukční činitel může být určen výpočtem nebo měřením, bez zemního lana a kabelu bez plášťů nebo pancéřování se však udává hodnota  $r = 1$ .

Hodnota největšího předpokládaného poruchového proudu  $I_E$ , který může zemničem protékat, závisí především na typu a rozsahu sítě, v kterém se distribuční trafostanice nebo stožár VN nachází.

## 10 MĚŘENÍ UZEMŇOVACÍ SOUSTAVY

### 10.1 Bezpečnostní pokyny

- CPC 100 a CP CU1 musí být připojen k zemi kabelem o průřezu alespoň 6 mm<sup>2</sup>
- Napájení CP CU1 provádět pouze z CPC 100 rozhraním BOOSTER.
- Proudový rozsah v testovací kartě CPC 100 a na předním panelu CP CU1 musí být stejný.
- Pokud je vidět nebo slyšet něco neobvyklého na měřicím zařízení, například zvuk elektrického výboje nebo rozsvícení svodičů přepětí, nesmí dojít k dotyku měřicí soustavy.
- Při měření nesmí být v blízkém okolí osoby s kardiostimulátorem.
- Zkratovací tyčinka musí být připojena na výstupní svorky I AC (CP CU1) vždy, když není výstup I AC (CP CU1) připojen ke vstupním svorkám I AC (CPC 100).

### 10.2 Návod na měření uzemňovací soustavy pomocí OMICRON CPC 100

Tato kapitola je zpracována dle [14] a slouží jako univerzální návod pro měření uzemňovací soustavy pro malé distribuční rozvodny a stožáry VN měřicí soustavou OMICRON CPC 100 bez připojení na existující vedení či silový kabel.

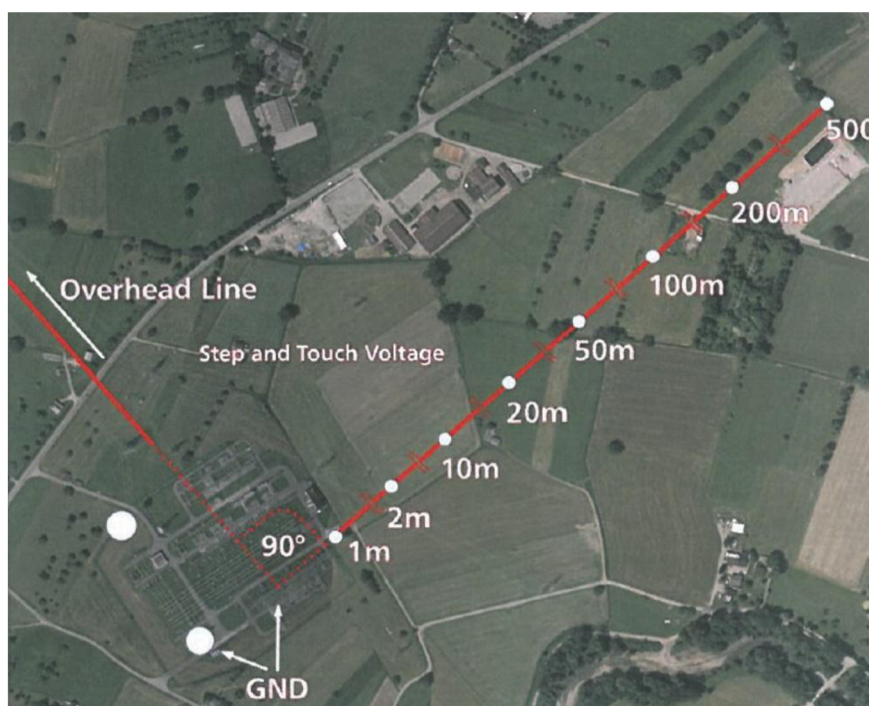
#### 10.2.1 Připojení OMICRON CPC 100 na uzemňovací soustavu

- Měřicí systém CPC 100 bude umístěn poblíž měřené distribuční trafostanice tak, aby byla zredukována délka napájecího kabelu pro CPC 100 a kabelu k připojení na danou testovanou zemní soustavu.
- Měřicí přístroj CPC 100 musí být uzemněn kabelem o průřezu alespoň 6 mm<sup>2</sup>.
- Injektáž proudu bude probíhat dle **Obr. 10-1**, pomocí pomocné elektrody I, která bude ve vzdálenosti minimálně desetinásobku velikosti uzemňovací soustavy.
- Pomocí CPC 100 a CU1 bude probíhat injektáž proudu přes pomocnou elektrodu I, který se bude následně vracet zemí až na měřenou uzemňovací soustavu.
- Napěťový vstup na CPC 100 bude připojen dle **Obr. 10-1** jedním pólem na měřenou uzemňovací soustavu a druhým na zkušební napěťovou sondu (pomocná elektroda U). Nejvzdálenější zkušební napěťová sonda musí být umístěna ve vzdálenosti alespoň 100 m od testované zemní soustavy.
- Protože se měřicí soustava propojuje několika druhy kabelů, pro zjištění příslušnosti jednotlivých kabelů k jednotlivým svorkám bude využita **Tab. 5**.

#### 10.2.2 Konfigurace CPC 100

Pomocí šablon, vytvořených výrobcem, je měření kontrolováno. Tyto šablony nahrát z PC nebo pomocí Flash disku do CPC 100. Na předním panelu CPC 100 stisknout *Správce souborů* (**Obr. 9.1**, klávesa označená disketou). Vybrat požadovanou šablonu a otevřít. Zobrazí se jednotlivé karty, podle kterých je měření prováděno.

- Vybrat XML šablonu pro frekvenci sítě (např. „Zemní odpor CPC 50Hz.xmt“ pro 50 Hz frekvenci sítě) a tuto šablonu otevřít kliknutím na kartu „Vložit vzdálenost“ ze šablony. Aby mohla být tato karta využita opakovaně, zvolit „Uložit jako výchozí“.
- Měřicí sonda napětí musí být vložena do země v určité vzdálenosti od stanice. Doporučené vzdálenosti pro měření zemního odporu jsou 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 m a další jednotlivé kroky po 100m. Vzdálenosti mohou být měřeny s běžným zařízením GPS.
- Zajistit, aby měřicí body byly s ohledem na průchod proudu pod úhlem  $90^\circ$  (z ptačí perspektivy dle **Obr. 10-2**) a pokud to bude možné, vyhnout se dalším vedením a napájecím kabelům.



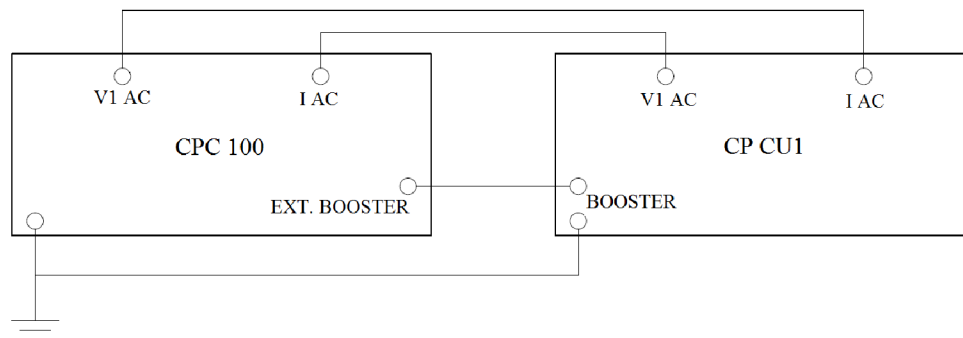
Obr. 10- 2 - Měření zemní impedance a krokového napětí (převzato z [14])

- Spustit testovací kartu pro aktuální zkušební bod a na testovací kartu zaznamenat vzdálenosti v příslušných jednotkách, např.: „10m“.
- Přidat jednu sekvenční testovací kartu pro každý zkušební bod, který je měřen.
- Měření opakovat na základě toho, kolik je potřeba změřit bodů. Doporučuje se uložit minimálně 15 testovacích karet do jednoho souboru.
- Pomocí programu *OMICRON Device Browser* uložit šablonu s příponou *xml* do PC nebo laptopu.
- V programu *CPC Start page* spustit *CPC Excel File Loader*, dojde k načtení šablony s naměřenými výsledky. V programu *Excel* se zobrazí naměřené a dopočtené výsledky měření.
- Zemní odpor a krokové napětí jsou zobrazeny jako funkce vzdálenosti od rozvodny.

### 10.3 Návod na měření uzemňovací soustavy pomocí OMICRON CPC 100 s jeho vazební jednotkou CP CU1

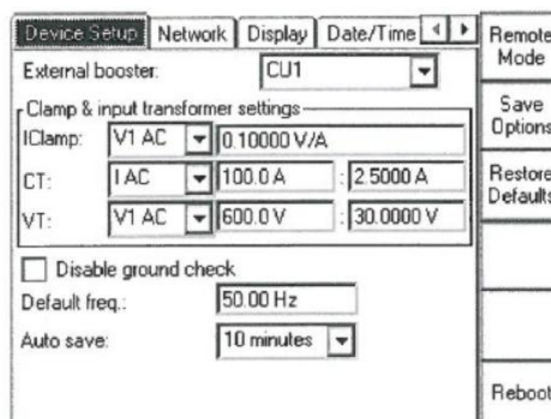
Pro připojení a nastavení měřicí jednotky musí být postup následovný:

- Dle **Obr. 10-3** propojit pomocí kabelů CPC 100 s jeho vazební jednotkou CP CU1. Pro zjištění příslušnosti jednotlivých kabelů k jednotlivým svorkám bude využita **Tab. 5**.



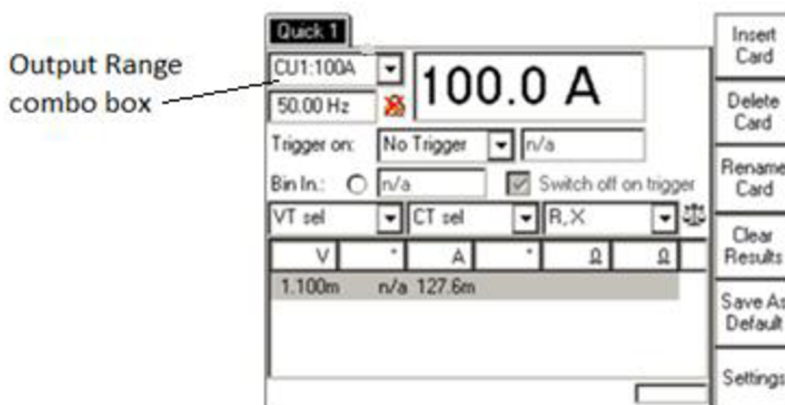
Obr. 10- 3 – Schéma zapojení měřicí soustavy OMICRON [14]

- Nastavit CPC 100 pro spolupráci s jednotkou CU1. Pro CP CU1 je proudový rozsah řízen spínačem proudového rozsahu.
- Stisknout tlačítko *Nastavení*. V okně *Nastavení* vybrat záložku *Device Setup* (**Obr. 10-4**)



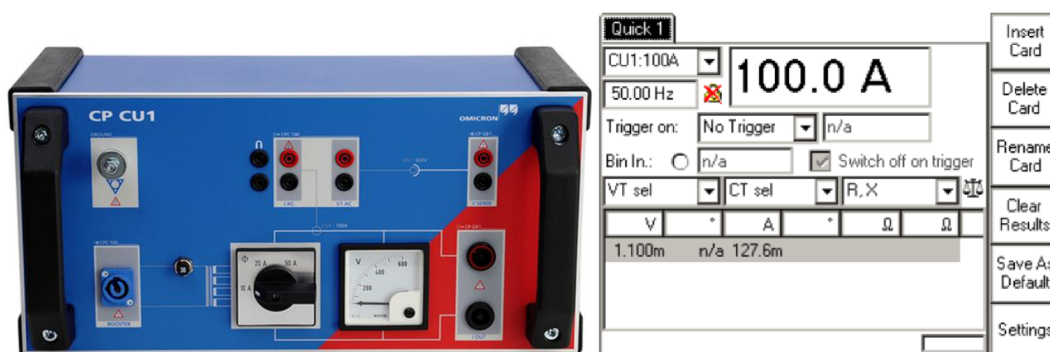
Obr. 10- 4 – Nastavení CPC 100 pro spolupráci s CP CU1 [14]

- Jako *External booster* zvolit CU1, ostatní se nastaví automaticky.
- Stisknout *Test Card View* a vložit testovací kartu - šablonu *Quick*. Na **Obr. 10-5** je patrné nastavení této karty.



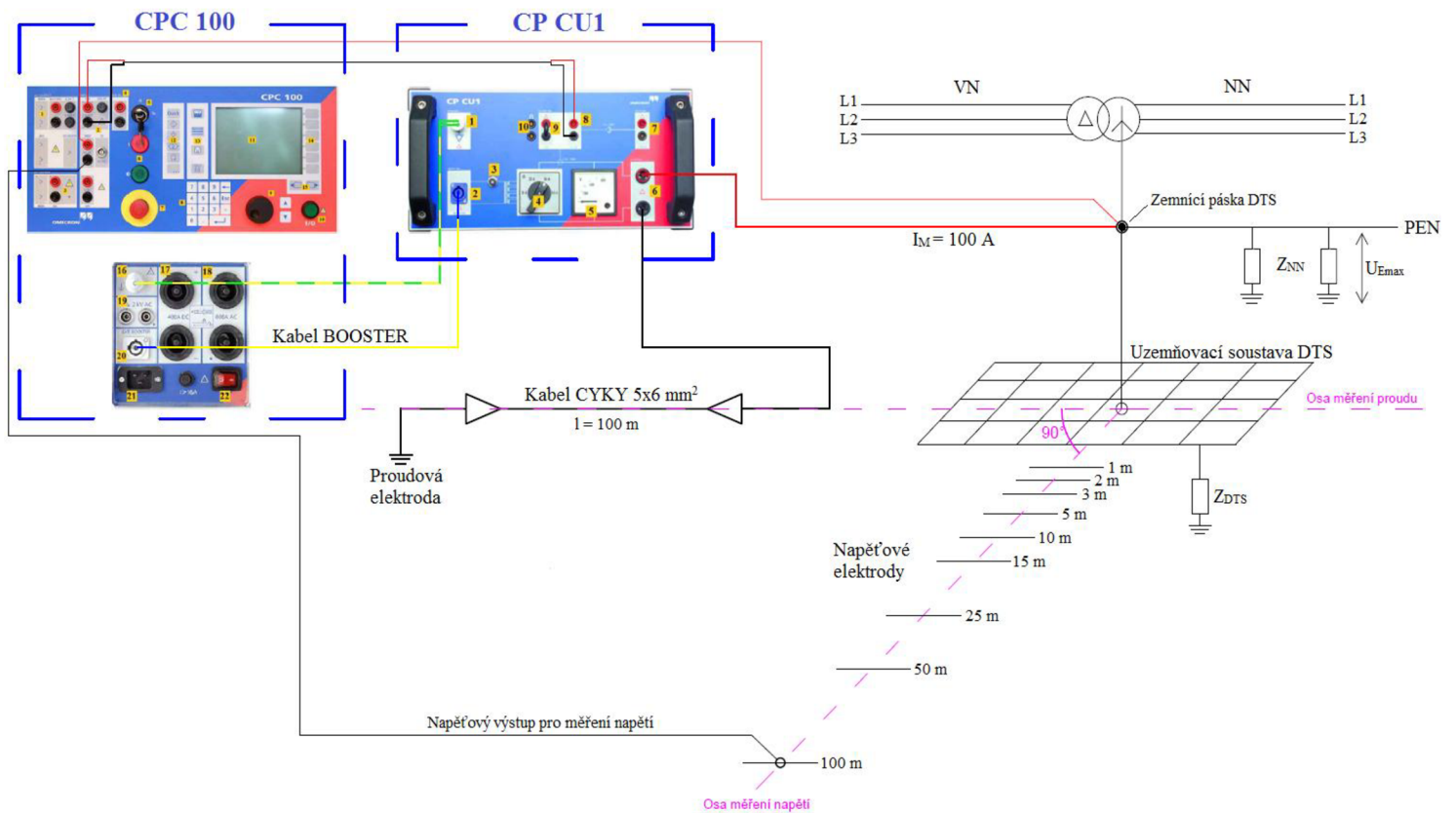
Obr. 10- 5 – Testovací karta Quick [14]

- Vybrat potřebný rozsah výstupu CU1:100 A pomocí *Output Range*. Dále je možné zvolit tyto rozsahy: CU1:10A, CU1:20A nebo CU1:50A.
- Nastavit proud pro měření na jednotce CU1 (**Obr. 10-6** vlevo) a poté nastavit jeho hodnotu v CPC 100 (**Obr. 10-6** vpravo).



Obr. 10- 6 – Nastavení potřebného rozsahu CPC 100 a CP CU1 [14]

- Dále se postupuje obdobným způsobem jako u měření uzemňovací soustavy samotným CPC 100
- Následně vybrat XML šablonu pro frekvenci sítě (např. „Zemní odpor CU1 50Hz.xmt“ pro 50 Hz frekvenci sítě) a tuto šablonu otevřít, kliknutím na kartu „Vložit vzdálenost“. Aby tato karta mohla být využita opakovaně, zvolí se „Uložit jako výchozí“.
- Vložit měřící sondy napětí do země v určité vzdálenosti od stanice. Doporučené vzdálenosti pro měření zemního odporu jsou 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 m a další jednotlivé kroky po 100m. Vzdálenosti mohou být měřeny s běžným zařízením GPS.
- Spustit testovací kartu pro aktuální zkušební bod a na testovací kartu zaznamenat vzdálenosti v příslušných jednotkách, např.: „10m“
- Přidat jednu sekvenční testovací kartu pro každý zkušební bod
- Opakovat měření na základě toho, kolik bud potřeba měřit bodů. Doporučuje se uložit minimálně 15 testovacích karet do jednoho souboru.
- Pomocí programu *OMICRON Device Browser* uložit šablonu s příponou *xml* do PC nebo laptopu.
- V programu *CPC Start page* spustit *CPC Excel File Loader* a načíst šablonu s naměřenými výsledky. V programu *Excel* se zobrazí naměřené a dopočtené výsledky měření.
- Zemní odpor a krokové napětí jsou zobrazeny jako funkce vzdálenosti od rozvodny.



Obr. 10- 7 - Schéma pro měření uzemňovací soustavy, dotykového a krokového napětí

# 11 TECHNICKÁ ZPRÁVA

## 11.1 Úvod

V rámci praktické části bakalářské práce bylo provedeno měření zemní impedance, dotykového a krokového napětí u vybraných distribučních trafostanic a betonových sloupů s úsekovým odpínačem, které se nachází v obcích Čebín, Moravské Knínice a Drásov. Měření bylo provedeno podle zpracovaného postupu, popsaného v teoretické části práce (viz kapitola 10.3).

## 11.2 Požadavky platných předpisů

Pro zpracování studie a následného měření bylo využito platných norem. Základní publikací pro uzemnění, kterou je ČSN 33 2000-5-54 ed. 3, je definován účel zřizování uzemnění v elektrické instalaci pro ochranu před úrazem elektřinou, pro ochranu před bleskem a přepětím a pro správnou funkci elektrických zařízení. Norma navazuje a zpřesňuje obecné požadavky dané legislativou, která nařizuje povinnost zabývat se otázkou bezpečnosti, ale již neuvádí v jakém rozsahu ji plnit a kdy je přijatelné přijmout riziko [3]. Další normou, podle které byla tato studie vypracována, byla norma PNE 33 0000-4 ed.2. - Příklady výpočtů uzemňovacích soustav v distribuční a přenosové soustavě dodavatele elektřiny.

## 11.3 Měření zemní impedance

K měření zemní impedance v okolí DTS a sloupů VN bylo využito měřicího systému CPC 100 a jeho vazební jednotky CP CU1. Měření bylo provedeno podle návodu z kapitoly 10.3 a dle **Obr. 10-7**. Injektáž proudu byla provedena pomocí měřicího systému a silového kabelu CYKY 5x6 mm<sup>2</sup> délky 100 m. V této vzdálenosti byla kolmo do země umístěna proudová elektroda o délce 1,5 m. Napěťové sondy (elektrody) byly umístovány ve vzdálenostech, které závisí na terénu měření (např.: dle **Obr. 10.7**).

Pomocí naměřených hodnot (které jsou zpracovány v Příloze této práce) byly následně vypočteny důležité hodnoty pro grafické zobrazení rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče DTS a následného určení úrovně krokového napětí, vztaženého k navýšení potenciálu zemniče.

Výpočet nárůstu potenciálu zemniče:

$$U_E = I_{RES} * |\bar{Z}_{MAX}| \quad (11.1)$$

kde  $U_E$  nárůst potenciálu zemniče  
 $I_{RES}$  zbytkový (reziduální) zemní proud  
 $\bar{Z}_{MAX}$  maximální impedance



Výpočet rozložení potenciálu povrchu země

$$\varphi = (Z_{MAX} - Z_M) * I_{RES}, \quad (11.2)$$

|     |           |   |
|-----|-----------|---|
| kde | $\varphi$ | rozložení potenciálu povrchu země           |
|     | $Z_{MAX}$ | maximální impedance                         |
|     | $Z_M$     | impedance naměřená měřicím systémem OMICRON |
|     | $I_{RES}$ | zbytkový (reziduální) zemní proud           |

Tyto hodnoty jsou velice důležité při určování rozsahu velikosti zemnicí soustavy a také při ověřování dotykového a krokového napětí. Největší nárůst potenciálu zemniče je přímo u DTS nebo sloupu VN a se zvětšující se vzdáleností tato hodnota klesá (viz kapitola 11.5). Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v Příloze této bakalářské práce.

## 11.4 Ověření dotykových a krokových napětí

Měření dotykového napětí v okolí DTS bylo provedeno za pomoci měřicího systému CPC 100, jeho vazební jednotky CP CU1 a frekvenčně selektivního voltmetru CP AL1. Toto měření probíhalo na vybraných místech v okolí DTS. Jednalo se především hlavní domovní skříň, umístěné přímo na domě či na okraji pozemku, na sloupu. Měření bylo provedeno dle kapitoly 9.5 a jednalo se o měření mezi zemí a PEN lištou hlavní domovní skříň. Výsledky byly za pomoci speciálních šablon v programu CPC Excel File Loader přepočteny na hodnoty skutečného dotykového napětí, které by se mohlo objevit na testovaného zemniči. Toto napětí se určí ze vztahu (8.4).

$$U_{dot} = U_{M dot} \frac{I_E}{I_M \cdot r}, \quad (8.4)$$

|     |             |  |
|-----|-------------|--|
| kde | $U_{M dot}$ | napětí naměřené mezi zemničem a elektrodou simulující nohu           |
|     | $I_M$       | měřený zkušební proud (výstupní proud z CP CU1)                      |
|     | $I_E$       | největší předpokládaný poruchový proud, který může zemničem protékat |
|     | $r$         | redukční činitel vedení vůči vzdálenému zemniči.                     |

Redukční činitel může být určen výpočtem nebo měřením, bez zemního lana a kabelu bez plášťů nebo pancéřování se však udává hodnota  $r = 1$ .

Hodnota největšího předpokládaného poruchového proudu  $I_E$ , který může zemničem protékat, závisí především na typu a rozsahu sítě, v kterém se distribuční trafostanice nebo stožár VN nachází. Jedná se o kompenzovanou síť 22 kV, kde se pro snížení zemního proudu připojuje do nulového bodu transformátoru tzv. zhášecí tlumivka (Petersenova cívka). V zásadě se kompenzovaná síť při spojení jedné fáze se zemí chová jako síť izolovaná, ale kapacitní





### Měření č. 1.1 – Moravské Knínice, DTS

Měření probíhalo v obci Moravské Knínice na stožárové distribuční trafostanici 22/0,4 kV, která se nachází na okraji vesnice. K měření dotykového napětí byly využity přípojkové kabelové skříně umístěné na přímo na domech či na okrajích pozemků a sloup veřejného osvětlení. Napětí bylo měřeno mezi PEN vodičem (nulovacím můstkem) a zemí. Měřená místa jsou vyznačena na **Obr. 11.1**.



Obr. 11- 1 - Měření č. 1.1 – DTS – Moravské Knínice (zdroj: mapy.cz)

Tab. č. 11- Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 36 A

| Frekvence, ve které probíhalo měření: |                   | 70,0Hz          | 90,0Hz                                 |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------|--|
| Proud nastavený měřícím systémem [A]: |                   | 100             | 100                                    |
| Zbytkový zemní proud [A]:             |                   | $I_{RES}$<br>36 |  |
| Umístění                              | $U_{V-metr}$ [V]: |                 | Skutečné dotykové napětí $U_{dot}$ [V] |
|                                       | 70,0Hz            | 90,0Hz          |  |
| Bod č. 1                              | 0,48              | 0,45            | 0,1674                                 |
| Bod č. 2                              | 0,38              | 0,45            | 0,1494                                 |
| Bod č. 3                              | 0,39              | 0,48            | 0,1566                                 |
| Bod č. 4                              | 0,337             | 0,45            | 0,1417                                 |
| Bod č. 5                              | 0,44              | 0,545           | 0,1773                                 |

Tab. č. 12 - Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 1000 A

|  |                                |                        |   |
|--|--------------------------------|------------------------|---|
| <b>Frekvence, ve které probíhalo měření:</b> |                                | <b>70,0Hz</b>          | <b>90,0Hz</b>                                       |
| Proud nastavený měřicím systémem [A]:        |                                | 100                    | 100   |
| <b>Zbytkový zemní proud [A]:</b>             |                                | <b>I<sub>RES</sub></b> |   |
|  |                                | 1000                   |   |
| <b>Umístění</b>                              | <b>U<sub>V-metr</sub> [V]:</b> |                        | <b>Skutečné dotykové napětí U<sub>dot</sub> [V]</b> |
|  | <b>70,0Hz</b>                  | <b>90,0Hz</b>          |   |
| Bod č. 1                                     | 0,48                           | 0,45                   | 4,650   |
| Bod č. 2                                     | 0,38                           | 0,45                   | 4,150   |
| Bod č. 3                                     | 0,39                           | 0,48                   | 4,350   |
| Bod č. 4                                     | 0,337                          | 0,45                   | 3,935   |
| Bod č. 5                                     | 0,44                           | 0,545                  | 4,925   |

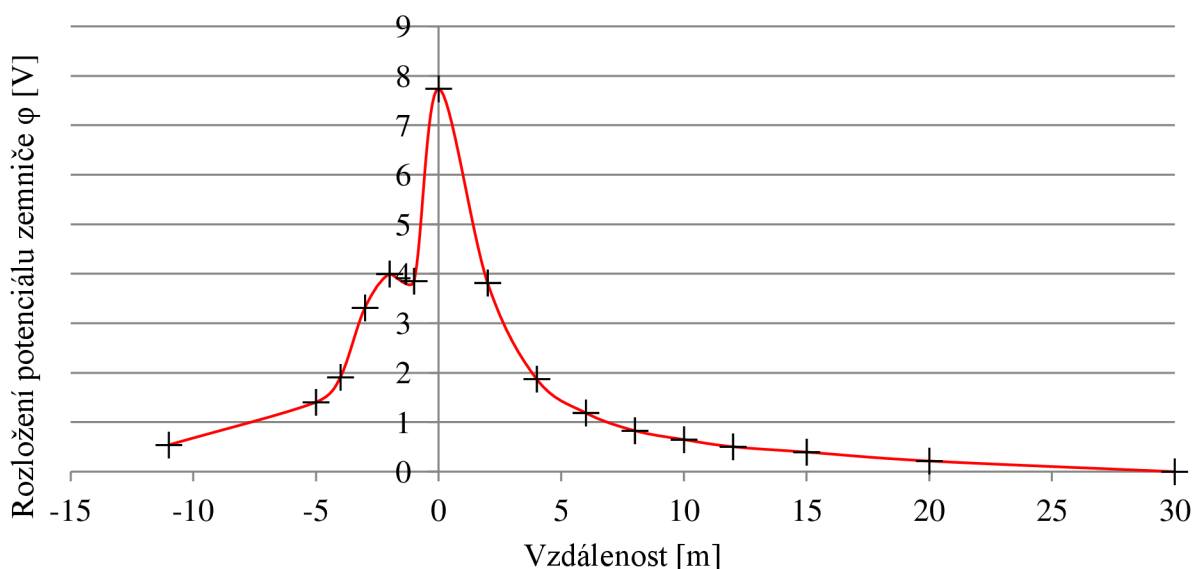
$$U_{dot} = 0,465 * \frac{1000}{100 * 1} = 4,65 V$$

Bod č. 1 a 2 – jedná se o přípojkové kabelové skříně, umístěné na okraji pozemku, měření bylo provedeno mezi PEN vodičem a zemí,

Bod č. 3 a 4 – jedná se HDS, umístěné přímo na domu, měření bylo provedeno mezi PEN vodičem a zemí,

Bod č. 5 – jedná se o sloup veřejného osvětlení, měření bylo provedeno mezi PEN vodičem uvnitř sloupu a zemí.

|  |       |
|--|-------|
| Zbytkový zemní proud I <sub>RES</sub> [A]    | 36    |
| Max. impedance Z <sub>MAX</sub> [Ω]          | 0,215 |
| Nárůst potenciálu zemniče U <sub>E</sub> [V] | 7,74  |

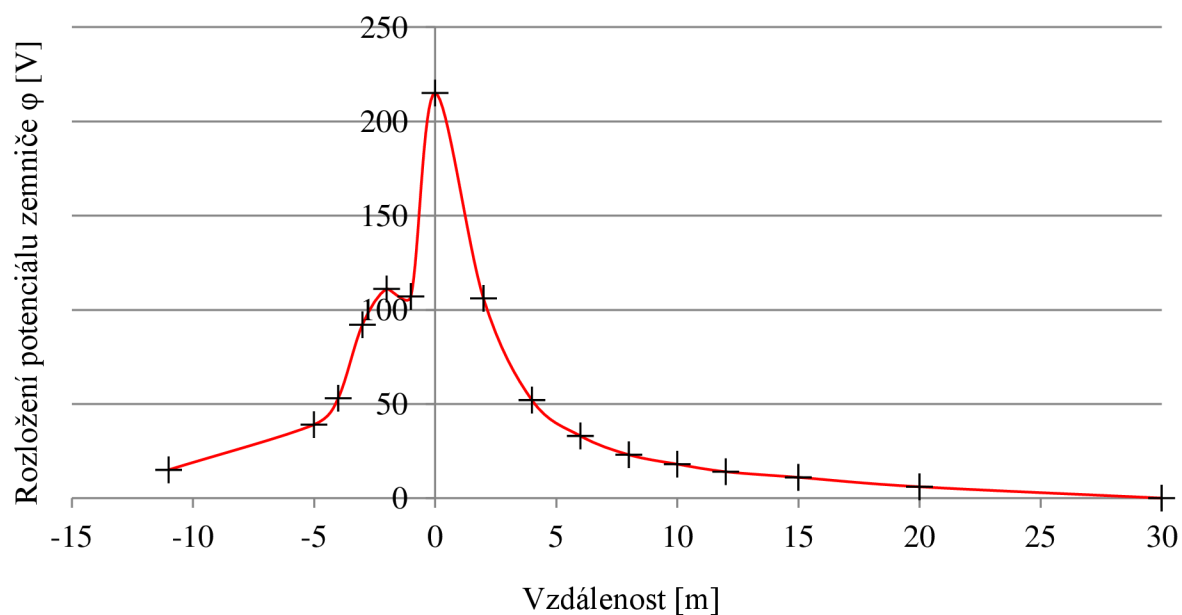


Obr. 11- 2 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 36 A

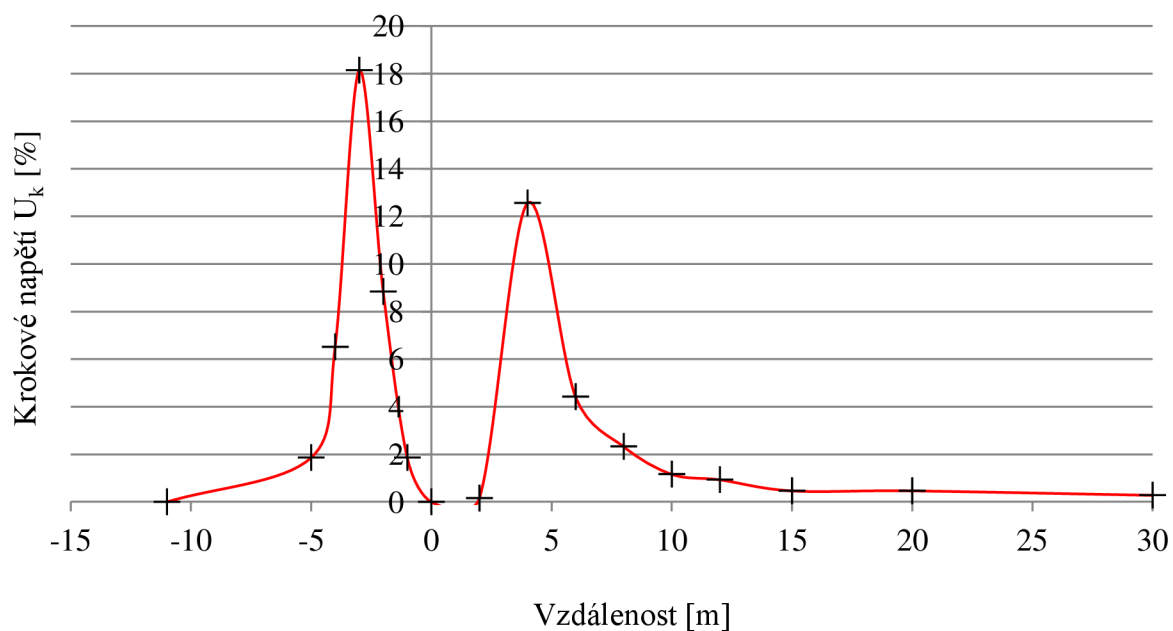
|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| Zbytkový zemní proud $I_{RES}$ [A]    | 1000  |
| Max. impedance $Z_{MAX}$ [ $\Omega$ ] | 0,215 |
| Nárůst potenciálu zemniče $U_E$ [V]   | 215   |

Výpočet rozložení potenciálu povrchu země ve vzdálenost 2 m od DTS:

$$\varphi = (Z_{MAX} - Z_{M,2m}) * I_{RES} = (0,215 - 0,104) * 1000 = 111 \text{ V}$$



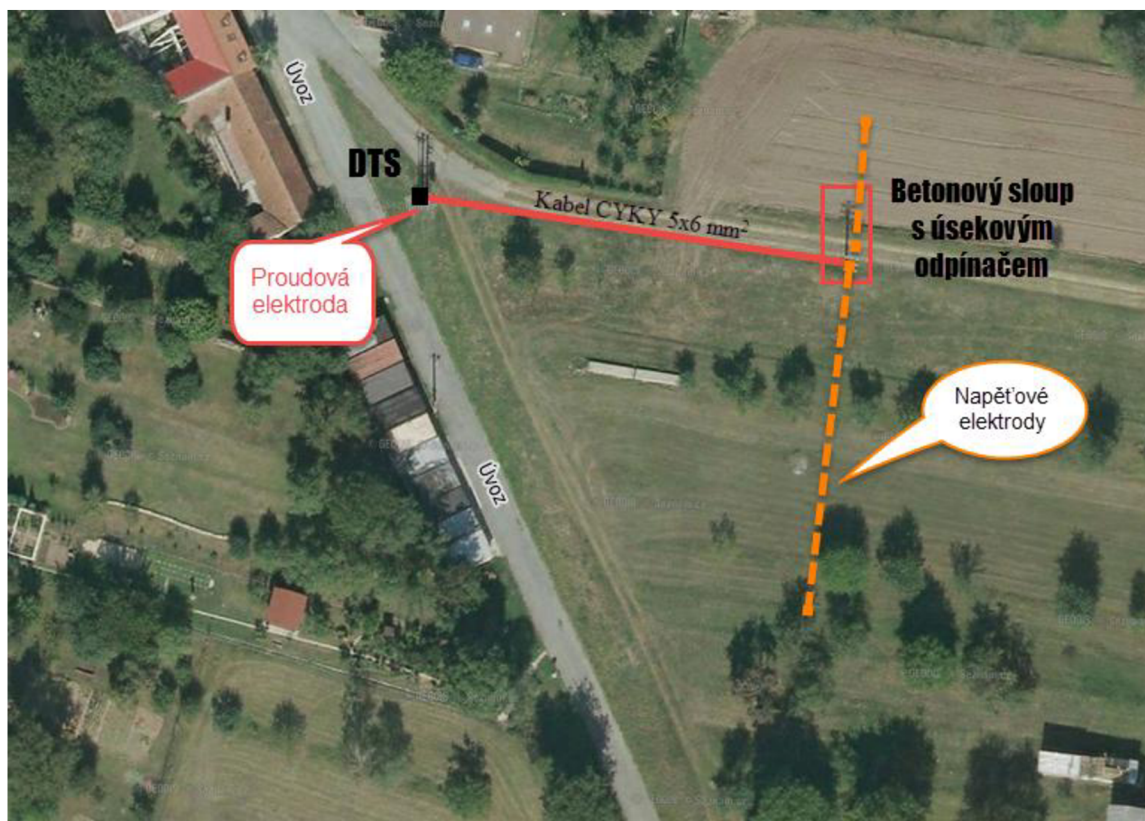
Obr. 11- 3 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 1000 A



Obr. 11- 4 - Úroveň krokového napětí vztahovaná k napětí navýšení potenciálu zemniče – Moravské Knínice, DTS

### Měření č. 1.2 – Moravské Knínice, betonový sloup s úsekovým odpínačem

K měření uzemňovací soustavy betonového sloupu s úsekovým odpínačem bylo pro injektáž proudu využito uzemnění DTS a pomocí kabelu byly tyto dva body propojeny. Vzdálenou proudovou elektrodu tedy tvořila uzemňovací soustava DTS, zemničem byl přiveden do země testovací proud. Pomocí napěťových elektrod (sond) byl měřen rozdíl potenciálů při 90° úhlu k průběhu proudu, jak je vidět z pačiči perspektivy na **Obr. 11-5**.

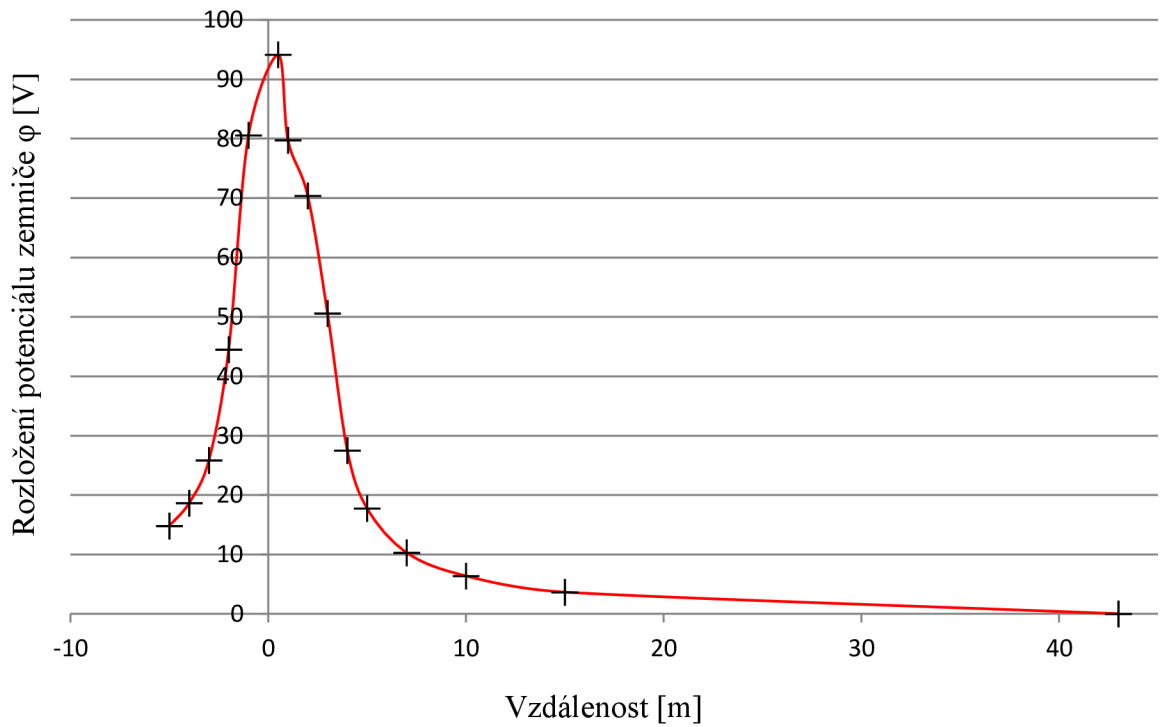


Obr. 11- 5 - Měření č. 1.2 – betonový sloup s úsekovým odpínačem, Moravské Knínice (zdroj: mapy.cz)

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| Zbytkový zemní proud $I_{RES}$ [A]    | 36    |
| Max. impedance $Z_{MAX}$ [ $\Omega$ ] | 3,789 |
| Nárůst potenciálu zemniče $U_E$ [V]   | 136,4 |

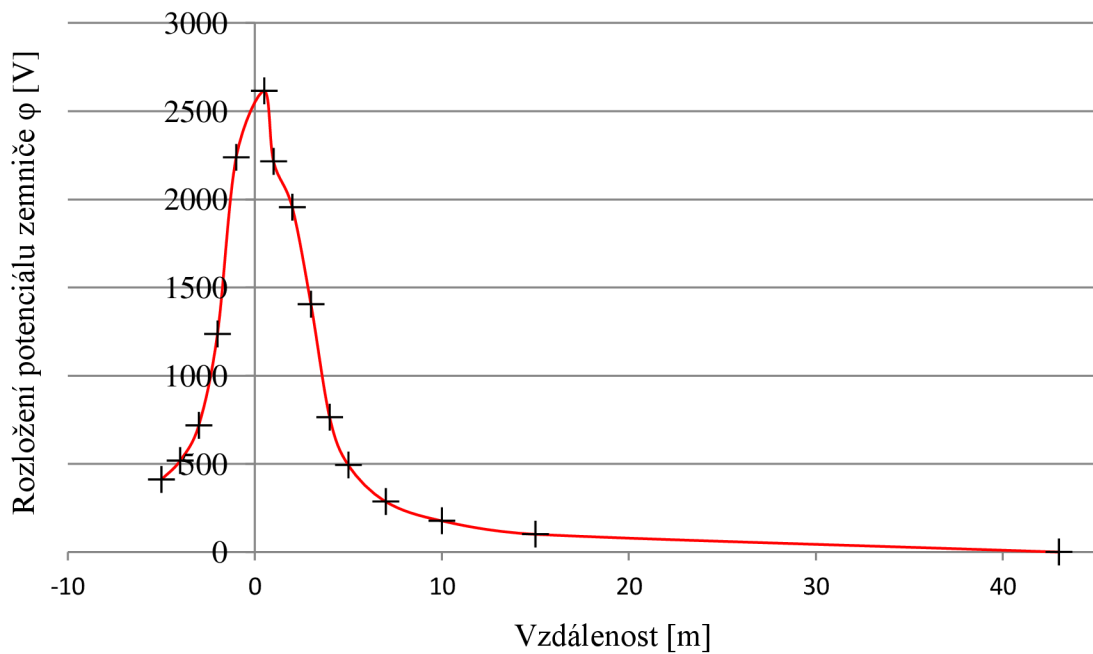
Výpočet rozložení potenciálu povrchu země ve vzdálenost 1 m od DTS:

$$\varphi = (Z_{MAX} - Z_{M_{1m}}) * I_{RES} = (3,789 - 1,551) * 36 = 111 \text{ V}$$



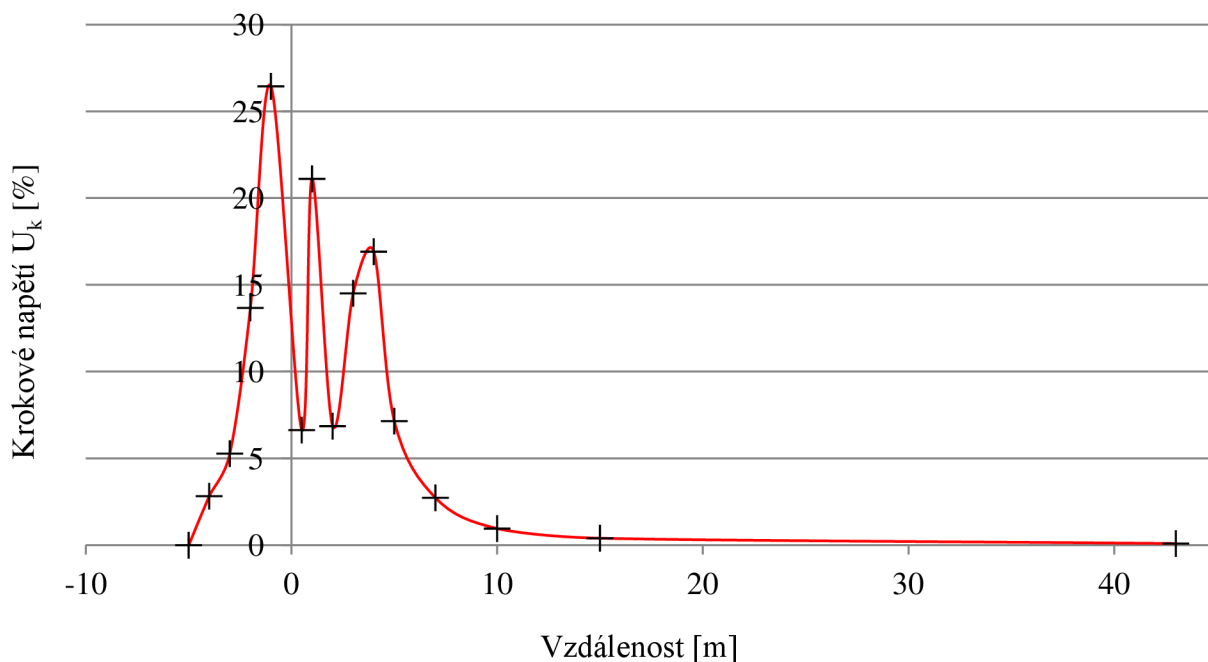
Obr. 11- 6 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 36 A

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| Zbytkový zemní proud $I_{RES}$ [A]:  | 1000   |
| Max. impedance $Z_{MAX}$ [Ω]:        | 3,789  |
| Nárůst potenciálu zemniče $U_E$ [V]: | 3789,0 |



Obr. 11- 7 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 1000 A





Obr. 11- 8 - Úroveň krokového napětí vztahovaná k napětí navýšení potenciálu zemniče – Moravské Knínice, betonový sloup s úsekovým odpínačem

### **Měření č.2 – Drásov, Vinohradská**

Měření probíhalo ve vesnici Drásov na stožárové distribuční trafostanici 22/0,4 kV, která se nachází na okraji vesnice (viz **Obr. 11-9**). K měření dotykového napětí byly využity přípojkové kabelové skříně umístěné na sloupech vedení nízkého napětí nebo HDS umístěné přímo na domech. Napětí bylo měřeno mezi PEN vodičem (nulovacím můstkem) a zemí.



Obr. 11- 9 - Měření č. 2 – DTS - Drásov, Vinohradská (zdroj: mapy.cz)

Tab. č. 13 – Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 21,6 A

| Frekvence, ve které probíhalo měření: |                          | 70,0Hz                 | 90,0Hz  |
|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|---|
| Proud nastavený měřicím systémem [A]: |                          | 100                    | 100   |
| Zbytkový zemní proud [A]:             |                          | <b>I<sub>RES</sub></b> |   |
|                                       |                          | 21,6                   |   |
| Umístění                              | U <sub>V-metr</sub> [V]: |                        | Skutečné dotykové napětí U <sub>dot</sub> [V] |
|                                       | 70,0Hz                   | 90,0Hz                 |   |
| Bod č. 1                              | 0,128                    | 0,149                  | 0,0299  |
| Bod č. 2                              | 0,092                    | 0,109                  | 0,0217  |
| Bod č. 3                              | 0,179                    | 0,2                    | 0,0409  |
| Bod č. 4                              | 0,052                    | 0,061                  | 0,0122  |
| Bod č. 5                              | 0,168                    | 0,19                   | 0,0387  |

$$U_{dot} = 0,1385 * \frac{21,6}{100 * 1} = 0,0299 \text{ V}$$

Tab. č. 14 - Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 1000 A

| Frekvence, ve které probíhalo měření: |                          | 70,0Hz                 | 90,0Hz  |
|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|---|
| Proud nastavený měřicím systémem [A]: |                          | 100                    | 100   |
| Zbytkový zemní proud [A]:             |                          | <b>I<sub>RES</sub></b> |   |
|                                       |                          | 1000                   |   |
| Umístění                              | U <sub>V-metr</sub> [V]: |                        | Skutečné dotykové napětí U <sub>dot</sub> [V] |
|                                       | 70,0Hz                   | 90,0Hz                 |   |
| Bod č. 1                              | 0,128                    | 0,149                  | 1,385   |
| Bod č. 2                              | 0,092                    | 0,109                  | 1,005   |
| Bod č. 3                              | 0,179                    | 0,2                    | 1,895   |
| Bod č. 4                              | 0,052                    | 0,061                  | 0,565   |
| Bod č. 5                              | 0,168                    | 0,19                   | 1,790   |

$$U_{dot} = 0,1385 * \frac{1000}{100 * 1} = 1,385 \text{ V}$$

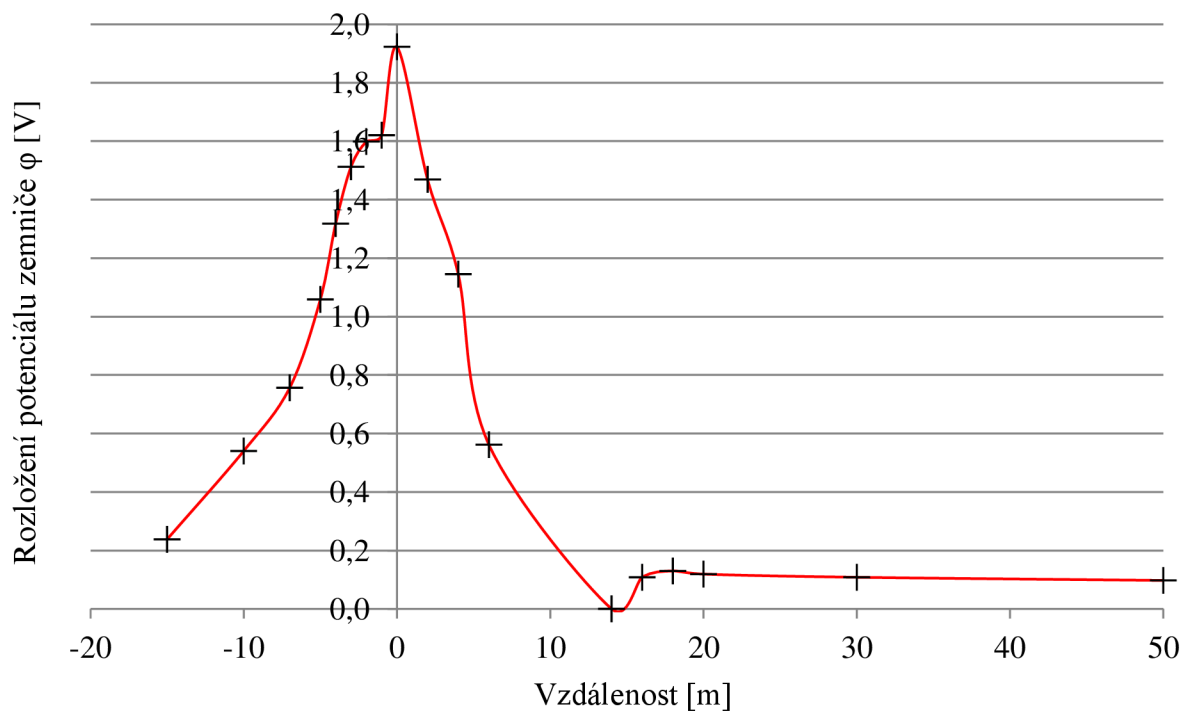
Bod č. 1 a 2 - jedná se přípojkové kabelové skříně, umístěné přímo na domu, měření bylo provedeno mezi PEN vodičem a zemí,

Bod č. 3, 4 a 5 – jedná se o přípojkové kabelové skříně typu SV, umístěné na sloupech vedení nízkého napětí, měření bylo provedeno mezi PEN vodičem a zemí.

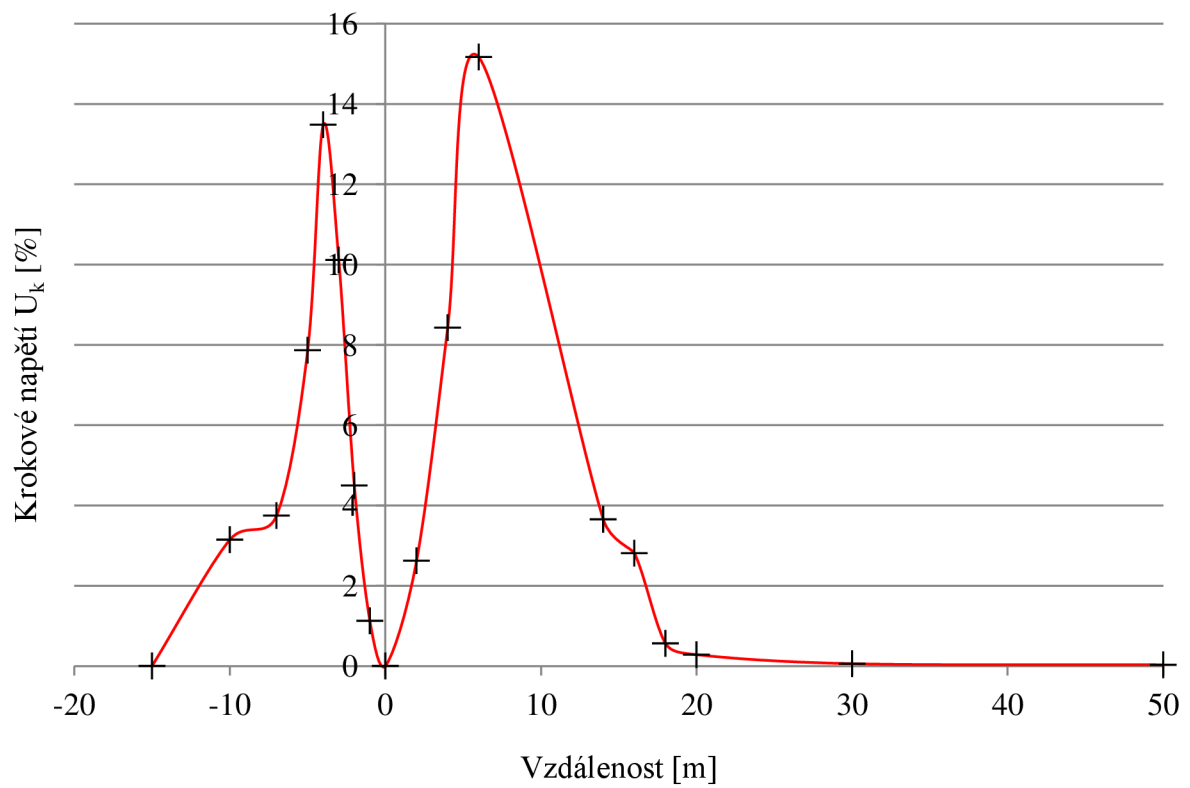
|   |       |
|---|-------|
| Zbytkový zemní proud I <sub>RES</sub> [A]:    | 21,6  |
| Max. impedance Z <sub>MAX</sub> [Ω]:          | 0,089 |
| Nárůst potenciálu zemniče U <sub>E</sub> [V]: | 1,825 |

Výpočet rozložení potenciálu povrchu země ve vzdálenost 1 m od DTS:

$$\varphi = (Z_{MAX} - Z_{M_{1m}}) * I_{RES} = (0,089 - 0,014) * 21,6 = 1,62 \text{ V}$$



Obr. 11- 10 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 21,6 A



Obr. 11- 11 - Úroveň krokového napětí vztahená k napětí navýšení potenciálu zemniče - Drásov, Vinohradská, DTS

**Měření č. 3 – DTS, Drásov, Malhostovická**

Měření probíhalo v místech, kde se nachází novostavby rodinných domů. K měření dotykového napětí byly využity přípojkové kabelové skříně, umístěné na okrajích pozemků. Napětí bylo měřeno mezi PEN vodičem (nulovacím můstkem) a zemí.



Obr. 11- 12 - Měření č. 3 – DTS - Drásov, Malhostovická (zdroj: mapy.cz)

Tab. č. 15 – Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 21,6 A

| Frekvence, ve které probíhalo měření: |                          | 70,0Hz                 | 90,0Hz  |
|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|---|
| Proud nastavený měřícím systémem [A]: |                          | 100                    | 100   |
| Zbytkový zemní proud [A]:             |                          | <b>I<sub>RES</sub></b> |   |
|                                       |                          | 21,6                   |   |
| Umístění                              | U <sub>V-metr</sub> [V]: |                        | Skutečné dotykové napětí U <sub>dot</sub> [V] |
|                                       | 70,0Hz                   | 90,0Hz                 |   |
| Bod č. 1                              | 0,014                    | 0,015                  | 0,0031  |
| Bod č. 2                              | 0,068                    | 0,072                  | 0,0151  |
| Bod č. 3                              | 0,05                     | 0,054                  | 0,0112  |
| Bod č. 4                              | 0,032                    | 0,034                  | 0,0071  |
| Bod č. 5                              | 0,049                    | 0,053                  | 0,0110  |

$$U_{dot} = 0,0145 * \frac{21,6}{100 * 1} = 0,00313 \text{ V}$$

Bod č. 1, 2 a 3 - jedná se o přípojkovou kabelovou skříň, umístěné na okraji pozemku, měření bylo provedeno mezi PEN vodičem a zemí,

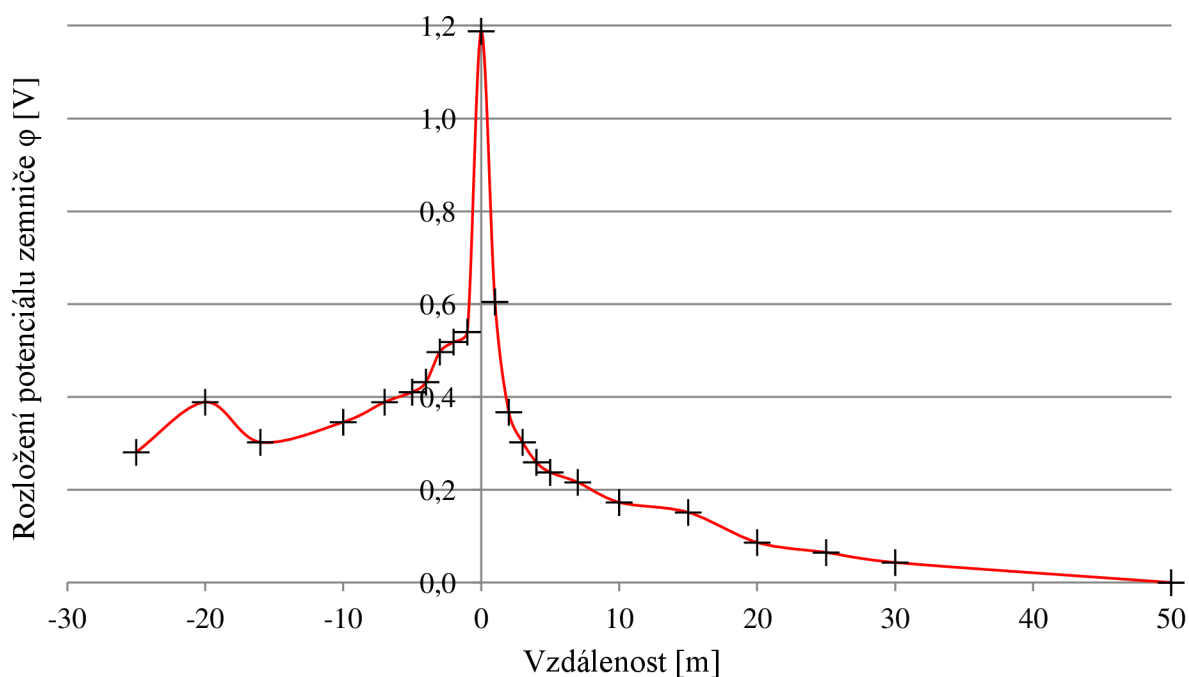
Bod č. 4 – jedná se o sloup veřejného osvětlení, měření bylo provedeno mezi PEN vodičem uvnitř sloupu a zemí,

Bod č. 5 – jedná se o smyčkovací skříň typu SS, umístěnou na okraji pozemku, měření bylo provedeno mezi PEN vodičem a zemí,

|  |       |
|--|-------|
| Zbytkový zemní proud $I_{RES}$ [A]:    | 21,6  |
| Max. impedance $Z_{MAX}$ [ $\Omega$ ]: | 0,055 |
| Nárůst potenciálu zemniče $U_E$ [V]:   | 1,188 |

Výpočet rozložení potenciálu povrchu země ve vzdálenost 5 m od DTS:

$$\varphi = (Z_{MAX} - Z_{M_{5m}}) * I_{RES} = (0,055 - 0,044) * 21,6 = 0,2376 \text{ V}$$

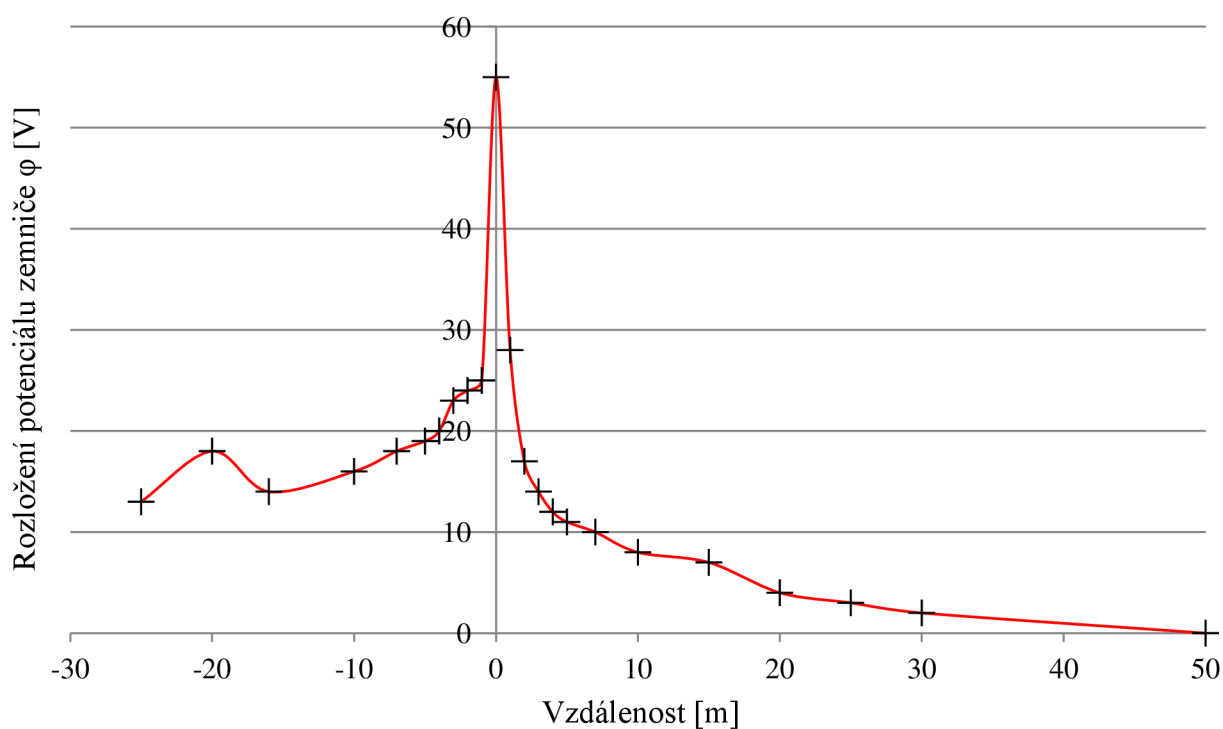


Obr. 11- 13 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 21,6 A

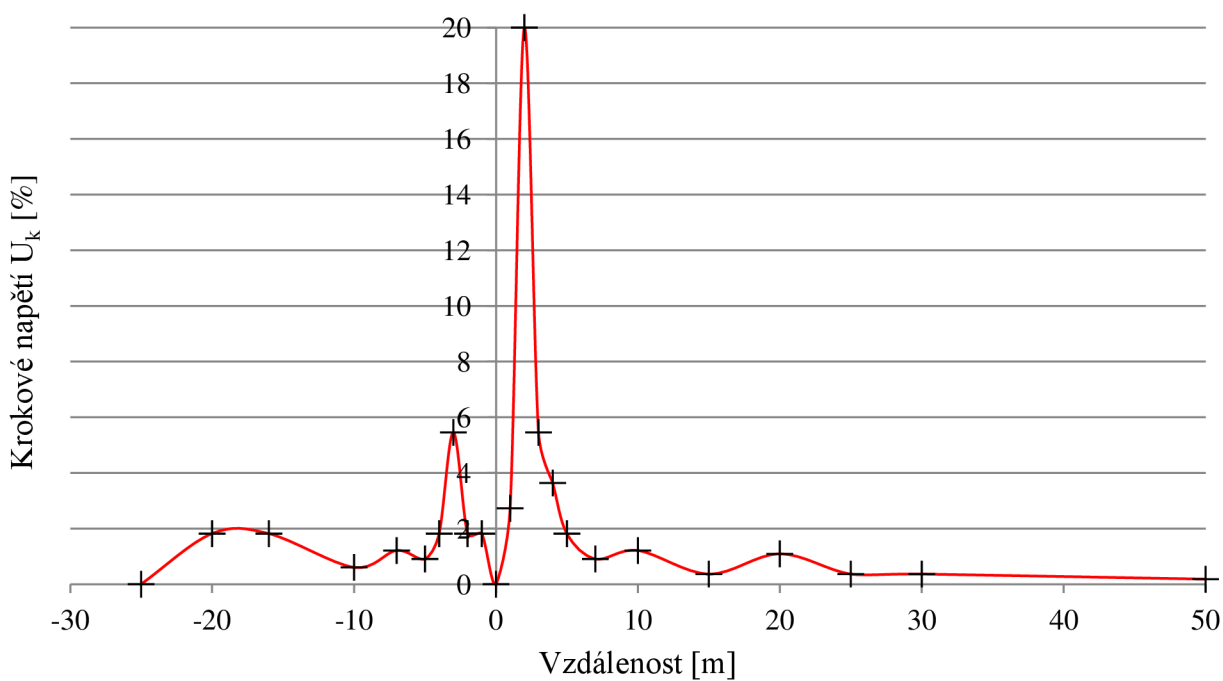
|  |       |
|--|-------|
| Zbytkový zemní proud $I_{RES}$ [A]:    | 1000  |
| Max. impedance $Z_{MAX}$ [ $\Omega$ ]: | 0,055 |
| Nárůst potenciálu zemniče $U_E$ [V]:   | 55    |

Výpočet rozložení potenciálu povrchu země ve vzdálenost 5 m od DTS:

$$\varphi = (Z_{MAX} - Z_{M_{5m}}) * I_{RES} = (0,055 - 0,044) * 1000 = 11 \text{ V}$$



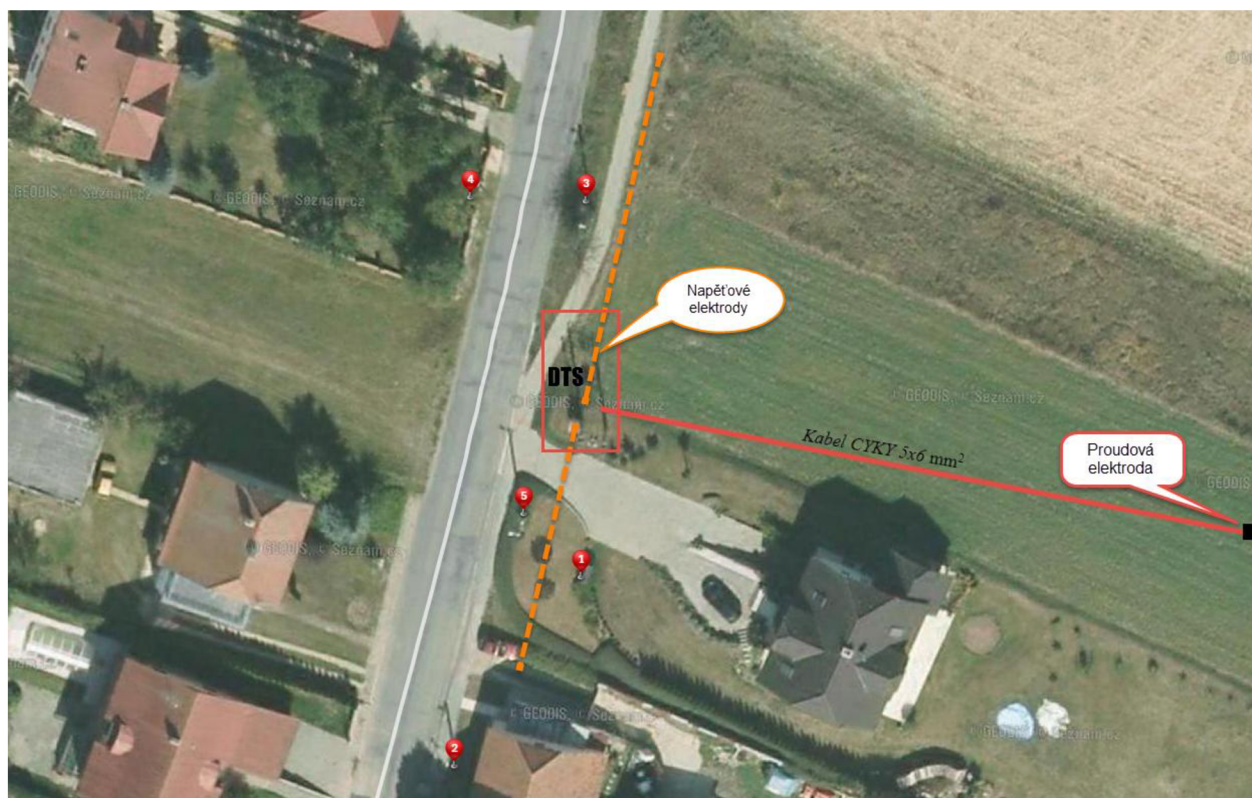
Obr. 11- 14 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 1000 A



Obr. 11- 15 - Úroveň krokového napětí vztahená k napětí navýšení potenciálu zemniče - Drásov, Malhostovická, DTS

### Měření č. 4.1 – Čebín, DTS

Měření probíhalo ve vesnici Čebín na stožárové distribuční trafostanici 22/0,4 kV, která se nachází na okraji vesnice (viz **Obr. 11-11**). K měření dotykového napětí byly využity přípojkové kabelové skříně umístěné na sloupech vedení nízkého napětí nebo HDS umístěné na okraji pozemků. Napětí bylo měřeno mezi PEN vodičem (nulovacím můstkem) a zemí. U bodu č. 3 jsme měřili napětí mezi zemnicí páskou betonového sloupu s úsekovým odpínačem a zemí.



Obr. 11- 16 - Měření č. 4.1 – DTS – Čebín (zdroj: mapy.cz)

Tab. č. 16 – Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 21,6 A

| Frekvence, ve které probíhalo měření: |                          | 70,0Hz                 | 90,0Hz  |
|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|---|
| Proud nastavený měřicím systémem [A]: |                          | 100                    | 100   |
| Zbytkový zemní proud [A]:             |                          | <b>I<sub>RES</sub></b> |   |
|                                       |                          | 21,6                   |   |
| Umístění                              | U <sub>V-metr</sub> [V]: |                        | Skutečné dotykové napětí U <sub>dot</sub> [V] |
|                                       | 70,0Hz                   | 90,0Hz                 |   |
| Bod č. 1                              | 0,049                    | 0,067                  | 0,0125  |
| Bod č. 2                              | 0,011                    | 0,012                  | 0,0025  |
| Bod č. 3                              | 0,044                    | 0,056                  | 0,0108  |
| Bod č. 4                              | 0,063                    | 0,072                  | 0,0146  |
| Bod č. 5                              | 0,042                    | 0,046                  | 0,0095  |

Tab. č. 17 - Měření dotykového napětí v okolí DTS pro zbytkový zemní proud 1000 A

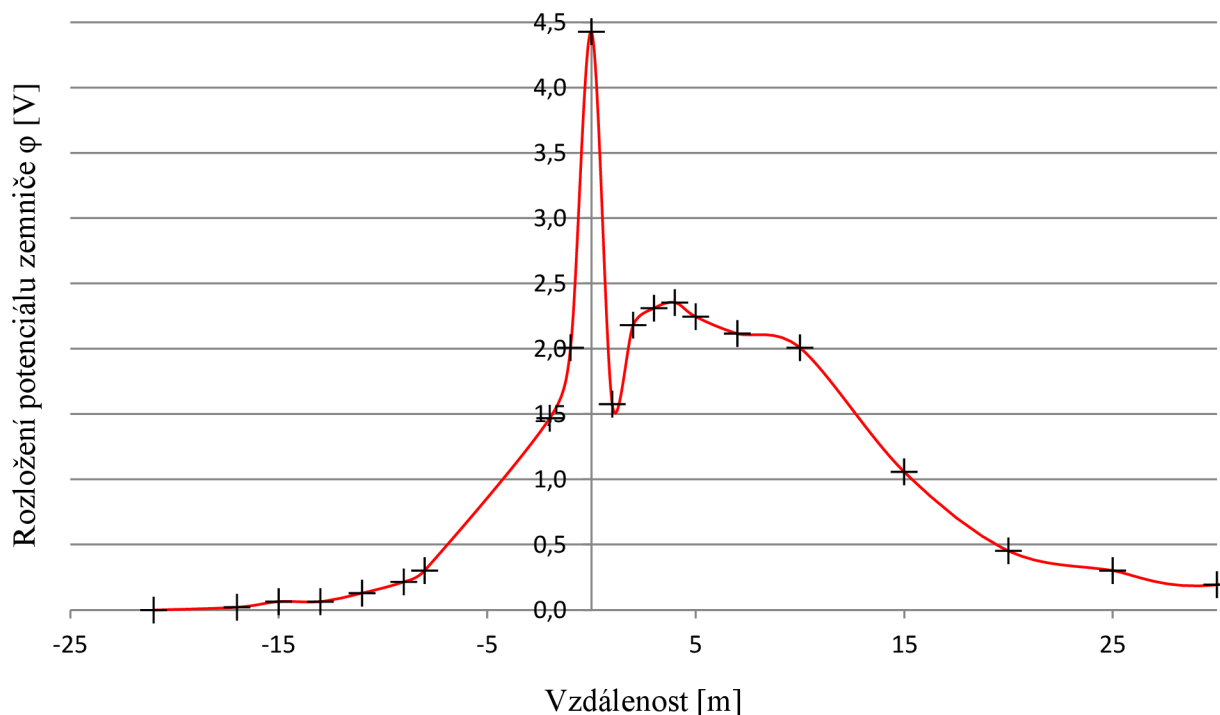
| Frekvence, ve které probíhalo měření: |                          | 70,0Hz    | 90,0Hz  |
|---------------------------------------|--------------------------|-----------|---|
| Proud nastavený měřícím systémem [A]: |                          | 100       | 100   |
| Zbytkový zemní proud [A]:             |                          | $I_{RES}$ |   |
|                                       |                          | 1000      |   |
| Umístění                              | U <sub>v-metr</sub> [V]: |           | Skutečné dotykové napětí U <sub>dot</sub> [V] |
|                                       | 70,0Hz                   | 90,0Hz    |   |
| Bod č. 1                              | 0,049                    | 0,067     | 0,580   |
| Bod č. 2                              | 0,011                    | 0,012     | 0,115   |
| Bod č. 3                              | 0,044                    | 0,056     | 0,500   |
| Bod č. 4                              | 0,063                    | 0,072     | 0,675   |
| Bod č. 5                              | 0,042                    | 0,046     | 0,440   |

$$U_{dot} = 0,058 * \frac{1000}{100 * 1} = 0,58 V$$

Bod č. 1 a 4 – jedná se o HDS, umístěné na okraji pozemku, měření bylo provedeno mezi PEN vodičem a zemí,

Bod č. 2, 3 a 5 - jedná se o přípojkové kabelové skříně typu SV, umístěné na sloupech vedení nízkého napětí, měření bylo provedeno mezi PEN vodičem a zemí.

|  |       |
|--|-------|
| Zbytkový zemní proud $I_{RES}$ [A]:    | 21,6  |
| Max. impedance $Z_{MAX}$ [ $\Omega$ ]: | 0,205 |
| Nárůst potenciálu zemniče $U_E$ [V]:   | 4,428 |

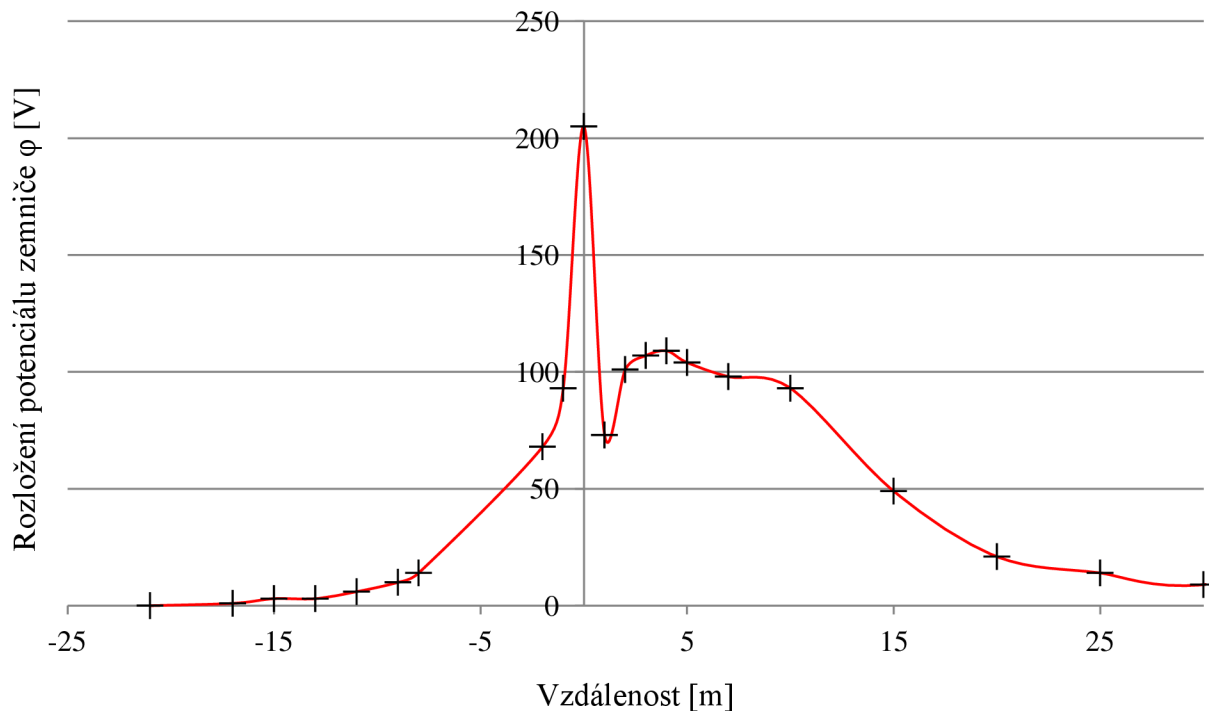


Obr. 11- 17 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 21,6 A

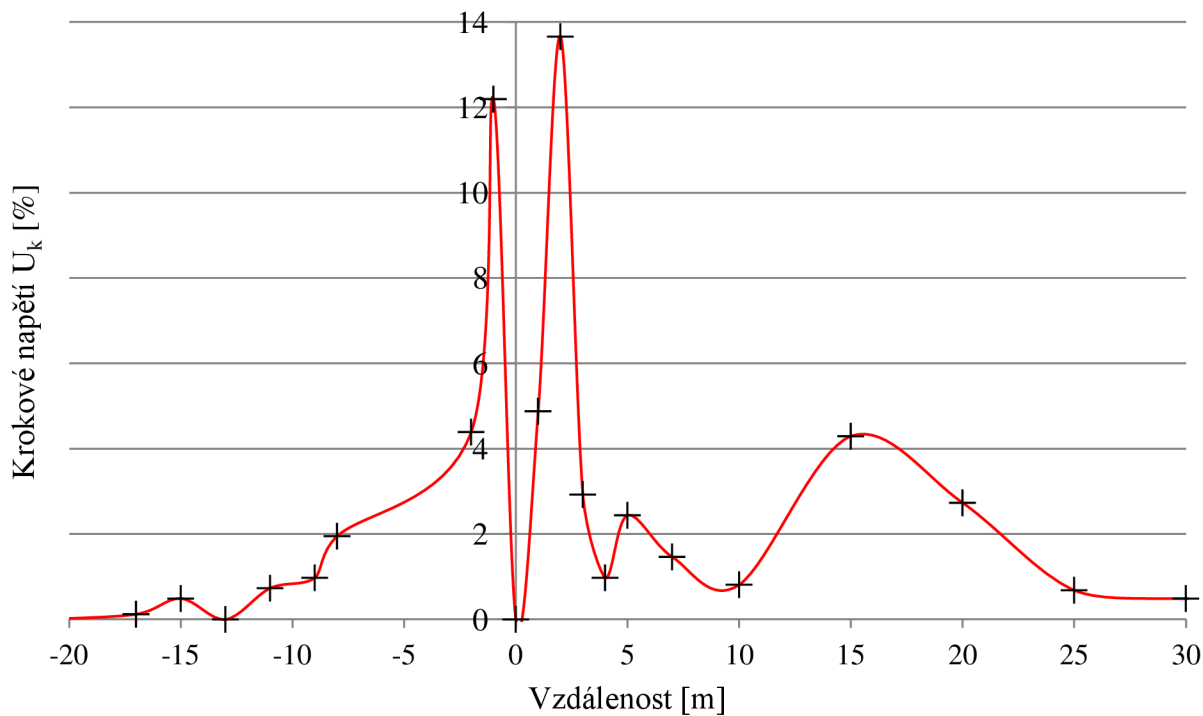


Výpočet rozložení potenciálu povrchu země ve vzdálenost 1 m od DTS:

$$\varphi = (Z_{MAX} - Z_{M_{1m}}) * I_{RES} = (0,205 - 0,132) * 21,6 = 1,577 \text{ V}$$



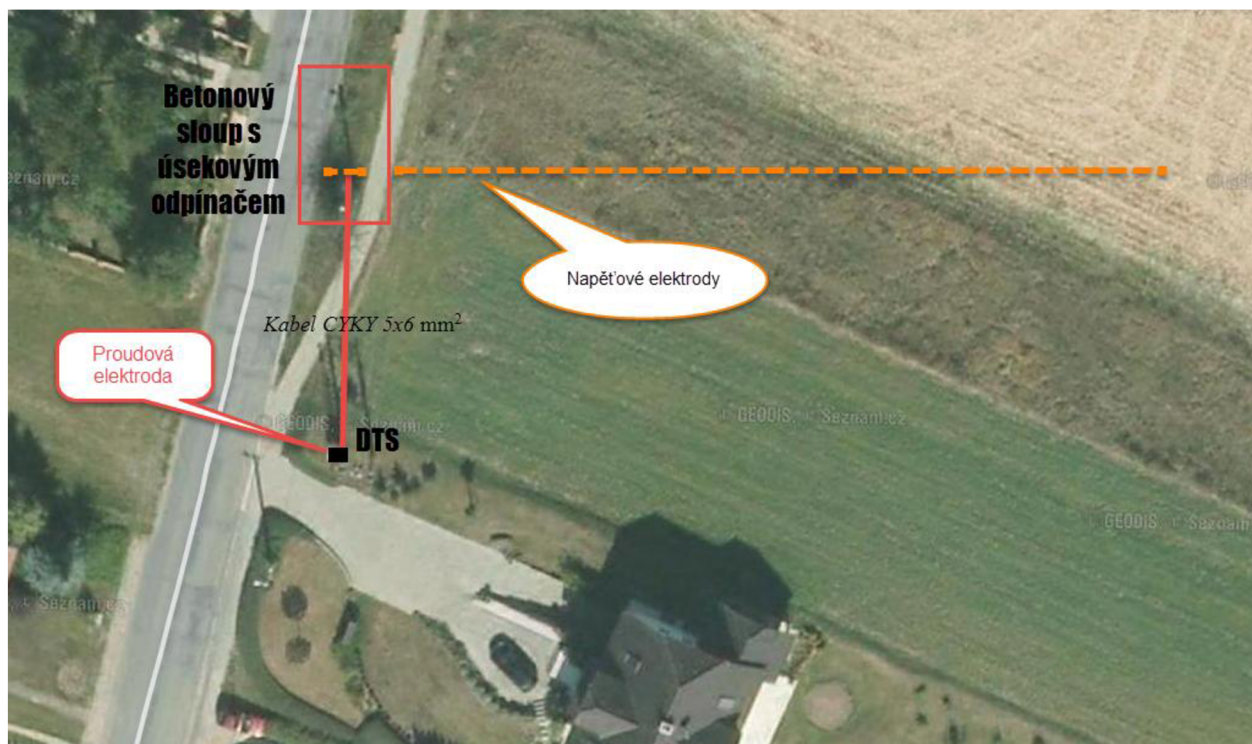
Obr. 11- 18 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 1000 A



Obr. 11- 19 - Úroveň krokového napětí vztahená k napětí navýšení potenciálu zemniče – Čebín, DTS

### **Měření č. 4.2 – Čebín, betonový sloup s úsekovým odpínačem**

K měření uzemňovací soustavy betonového sloupu s úsekovým odpínačem, jsme pro injektáž proudu využili uzemnění DTS a pomocí kabelu tak tyto dva body propojili. Vzdálenou proudovou elektrodu nám tedy tvořila uzemňovací soustava DTS a zemničem jsme tedy do země pouštěli testovací proud. Pomocí napěťových elektrod (sond) jsme poté měřili rozdíl potenciálů při 90° úhlu k průběhu proudu, jak je vidět z ptačí perspektivy na **Obr. 11-14**.

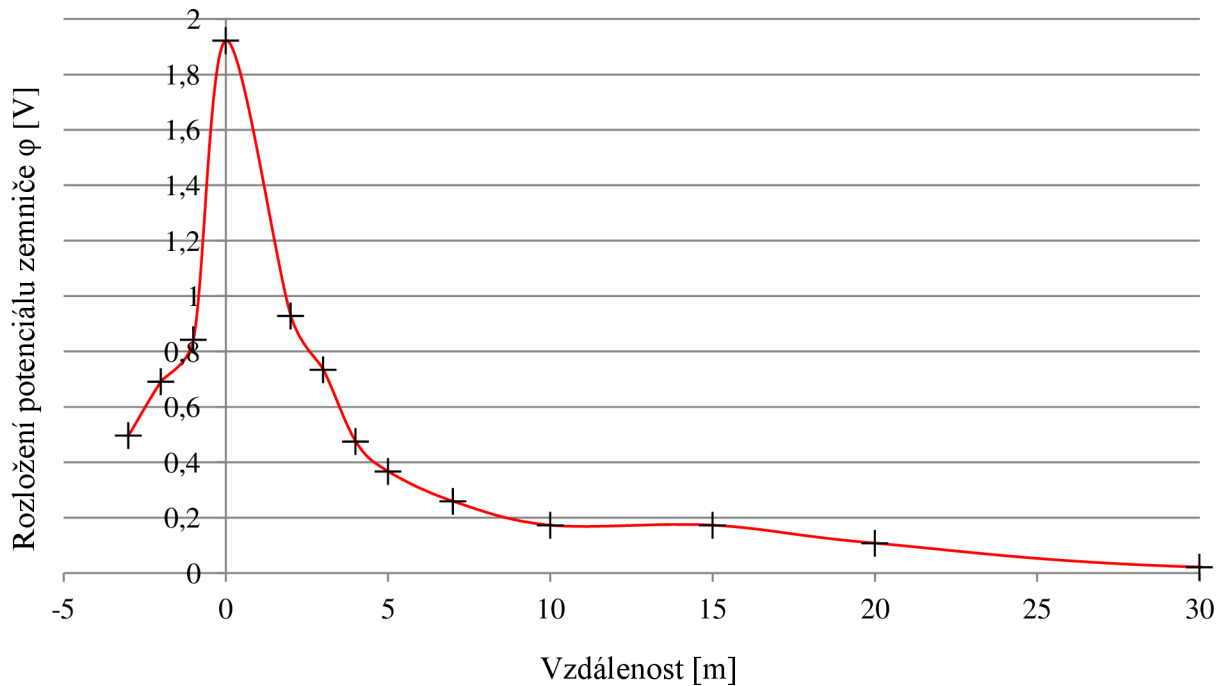


Obr. 11- 20 - Měření č. 4.2 – Čebín, betonový sloup s úsekovým odpínačem (zdroj: mapy.cz)

|  |       |
|--|-------|
| Zbytkový zemní proud $I_{RES}$ [A]:    | 21,6  |
| Max. impedance $Z_{MAX}$ [ $\Omega$ ]: | 0,089 |
| Nárůst potenciálu zemniče $U_E$ [V]:   | 1,922 |

Výpočet rozložení potenciálu povrchu země ve vzdálenost 5 m od DTS:

$$\varphi = (Z_{MAX} - Z_{M_{5m}}) * I_{RES} = (0,089 - 0,072) * 21,6 = 0,367V$$

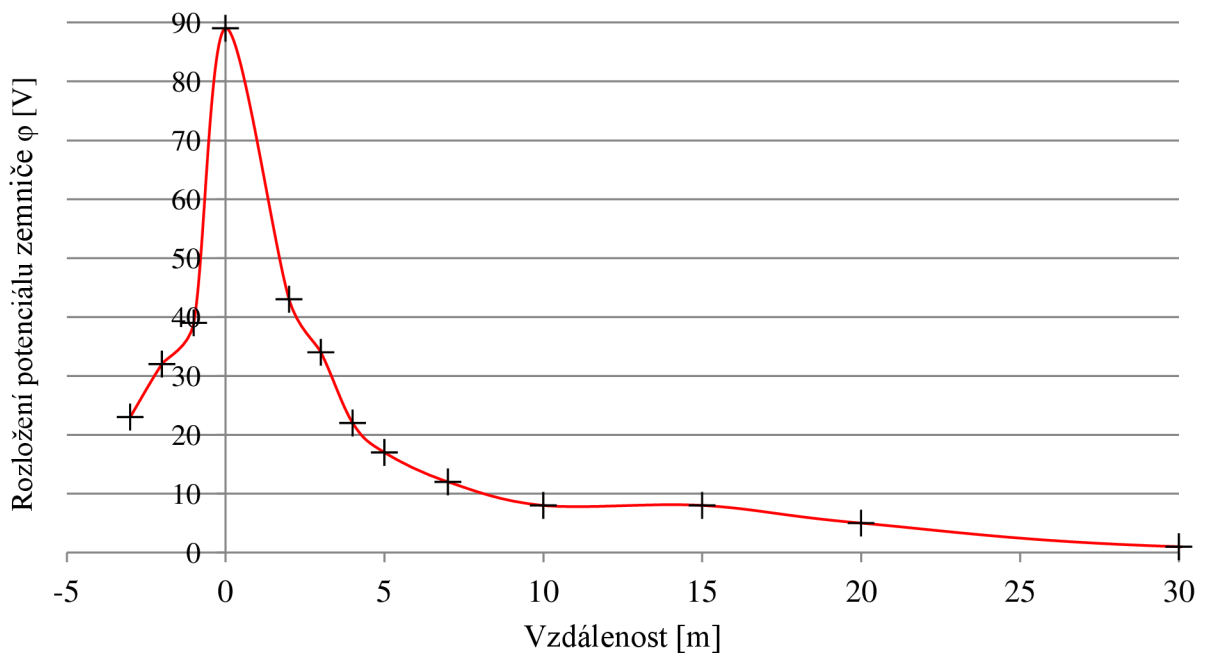


Obr. 11- 21 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 21,6 A

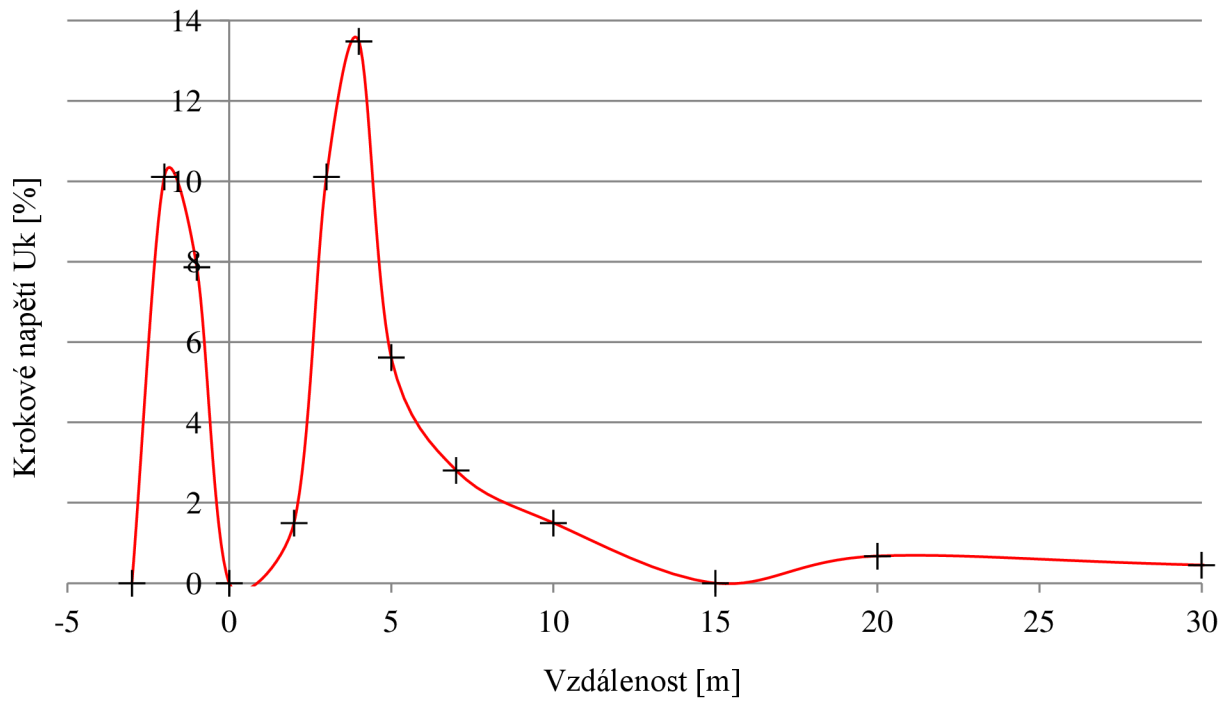
|  |       |
|--|-------|
| Zbytkový zemní proud $I_{RES}$ [A]:    | 1000  |
| Max. impedance $Z_{MAX}$ [ $\Omega$ ]: | 0,089 |
| Nárůst potenciálu zemniče $U_E$ [V]:   | 89    |

Výpočet rozložení potenciálu povrchu země ve vzdálenost 5 m od DTS:

$$\varphi = (Z_{MAX} - Z_{M_{5m}}) * I_{RES} = (0,089 - 0,072) * 1000 = 17 \text{ V}$$



Obr. 11- 22 - Graf rozložení potenciálu povrchu země v okolí zemniče pro zemní proud 1000A



Obr. 11- 23 - Úroveň krokového napětí vztahovaná k napětí navýšení potenciálu zemniče - Čebín, betonový sloup s úsekovým odpínačem

## 11.6 Zhodnocení měření

Měření bylo provedeno dle zpracovaného návodu (viz kapitola 10.3). V praxi se jednalo o měření zemních odporů a ověření dotkových a krokových napětí v okolí DTS a betonových sloupů s úsekovými odpínači ve vybraných lokalitách.

Jednalo se o kompenzované síť 22 kV v obcích Moravské Knínice, Drásov a Čebín. Pro tento typ sítě byl uvažován jako poruchový proud (dle normy ČSN EN 50 522) 10% kapacitního proudu zemního spojení. Jedná se o tzv. zbytkový (reziduální) zemní proud  $I_{RES}$ . Pro jednoduché zemní spojení byl pro oblast Moravské Knínice (napájení z rozvodny Medlánky) zjištěn od provozovatele této soustavy kapacitní proud distribuční sítě 22 kV, proud 360A. Pro oblast Drásov a Čebín (napájení z rozvodny Čebín) byl zjištěn kapacitní proud 216 A. Protože při vzniku zemního spojení by mohlo vzniknout značné přepětí na zdravých fázích a to může mít za následek dvojitě zemní spojení, byl pro tento stav uvažován poruchový proud 10 kA. Jako v předešlém případě byl zbytkový (reziduální) zemní proud uvažován jako 10 % kapacitního poruchového proudu. S ohledem na tyto zbytkové (reziduální) zemní proudy byly v technické zprávě pro každou oblast měření vypočteny a graficky znázorněny hodnoty nárůstu potenciálu zemniče, rozložení potenciálu zemniče, ověření skutečných dotkových napětí a ověření úrovně krokového napětí v okolí DTS a betonových sloupů VN. Skutečné naměřené hodnoty pomocí měřicího systému OMICRON jsou uvedeny v Příloze této práce.

Z grafických závislostí pro rozložení potenciálu zemniče je vidět, že největší hodnota nárůstu potenciálu zemniče je přímo u zemnicí pásky DTS či betonového sloupu s úsekovým odpínačem. Rozložení potenciálu poté s rostoucí vzdáleností klesá až k hodnotám blízcí se nule. V nejhorsím možném případě by mohlo nastat, že dotkové napětí  $U_{dot}$  se bude rovnat nárůstu potenciálu zemniče  $U_E$ , který však lze jednoduše vypočítat pomocí Ohmova zákona jako součin poruchového proudu a maximální naměřené impedance. Pomocí známého nárůstu potenciálu zemniče  $U_E$  lze také například určit hodnotu krokového napětí, která je v grafické závislosti jednotlivých měření vyjádřena právě k napětí navýšení potenciálu zemniče.

## 12 ZÁVĚR

Tato práce pojednává o problematice uzemňovacích soustav u distribučních trafostanic a stožárů vedení VN. V teoretické části práce byly popsány důležité poznatky k pochopení problematiky uzemnění, například rozbor účinků elektrického proudu, které při poruše mohou určitým způsobem poškodit lidský organismus, a výběr souvisejících technických předpisů a norem, které se problematikou uzemnění zabývají. Byl zde také popsán hlavní účel instalace uzemňovací soustavy a důležité parametry při návrhu uzemňovací soustavy a s tím spojená problematika dotykového a krokového napětí. V další teoretické části se práce zabývá uzemněním v distribuční soustavě, kdy je kvalita uzemnění zejména u příměstských, městských, ale i odlehlých distribučních transformoven velice důležitá, především pro bezpečnost pracovníků uvnitř stanice, ale také i osob, které se pohybují v jejich okolí, kam mohou být nebezpečná napětí zavlečena (oplocení, osvětlení, zábradlí). Důležitý je však i význam správně provedeného uzemnění pro technické účely, jako například měření, ovládání, či správná funkce přístrojů. Na tyto požadavky musí dbát provozovatelé zřetel a zajistit tak i periodické revize uzemnění dle normy, díky kterému lze odhalit i narušení sítě vlivem koroze.

Poslední teoretická část této práce se zabývá seznámením s měřícím systémem CPC 100 + CP CU1 od firmy OMICRON a popisem těchto měřících přístrojů a jejich příslušenství, které je pro použití v praxi nezbytné. Poté byl vypracován přesný návod pro měření uzemňovací soustavy bez využití existujícího vedení, který byl následně využit pro praktickou část bakalářské práce. Tento návod včetně celkového schématu zapojení měřícího systému je uveden v kapitole 10.3.

V praktické části práce byly provedeny čtyři měření ve vybraných lokalitách. Jednalo se o měření zemních odporů a ověření dotykových a krokových napětí v okolí DTS a betonových sloupů s úsekovými odpínači v distribuční síti 22 kV v obcích Moravské Knínice, Drásov a Čebín. Jednalo se o kompenzovanou síť a pro tento typ sítě byl dle normy ČSN EN 50 522 uvažován jako poruchový proud zbytkový (reziduální) zemní proud, který dosahuje 10% kapacitního proudu zemního spojení. Tento kapacitní proud byl pro vybrané oblasti zjištěn provozovatelem dané soustavy. S ohledem na tyto zbytkové (reziduální) zemní proudy byly v technické zprávě pro každou oblast měření vypočteny a graficky znázorněny hodnoty nárůstu potenciálu zemniče, rozložení potenciálu zemniče, ověření skutečných dotykových napětí a ověření úrovně krokového napětí v okolí DTS a betonových sloupů VN. Všechny naměřené hodnoty a grafické závislosti pomocí měřícího systému OMICRON jsou uvedeny v Příloze této práce.

Hodnoty zemního odporu u DTS dosahovaly ve všech lokalitách měření velice malých hodnot, řádově v  $m\Omega$ . To je způsobeno rozsáhlou zemnicí soustavou a také všemi vývody, které jsou pomocí DTS napájeny. Následné hodnoty skutečného dotykového napětí jsou tak pro uvažované hodnoty zbytkových zemních proudů velmi malé a nehrozí tak překročení normou udávané maximální ustálené hodnoty dotykového napětí 80 V pro čas trvání poruchy větší než 5s. Hodnoty zemního odporu u betonového sloupu s úsekovým odpínačem v obci Moravské Knínice však dosahovaly mnohem větších hodnot, řádově několik jednotek  $\Omega$ . Po předešlém uvažování poruchových stavů může tedy dojít k vysokému nárůstu potenciálu a následně dotykového a krokového napětí na velmi vysoké hodnoty. Pravděpodobnost výskytu a nebezpečí dotyku osoby u tohoto sloupu je však vzhledem k jeho poloze v daném okamžiku poruchy velmi malá.

## 13 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] - ČSN IEC 479-1. *Účinky proudu na člověka a domácí zvířectvo - Část 1: Obecná hlediska*. Český normalizační institut, Listopad 1998.
- [2] - MAŠEK, Jakub. *Výpočet a technické řešení uzemňovací soustavy transformovny 110/22 kV*. Brno, 2012. Diplomová práce. VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [3] - ČSN IEC 479-1. *Účinky proudu na člověka a domácí zvířectvo: Část 1: Obecná hlediska*. [s.l.] : Český normalizační institut, Listopad 1998. 36 s.
- [4] - KOČVARA, Antonín. *Uzemňování elektrických zařízení*. Knižnice elektro, svazek 26. Praha: STROM, 1995.
- [5] - ČSN EN 50 522. *Uzemňování elektrických instalací nad 1 kV*. Český normalizační institut, Prosinec 2011.
- [6] - ČSN 33 3201. *Elektrické instalace nad AC 1 kV*. Český normalizační institut, Listopad 2002, 162 s.
- [7] - PNE 33 0000-4. *Příklady výpočtů uzemňovacích soustav v distribuční a přenosové soustavě dodavatele elektřiny*. 3. vyd. Český normalizační institut, 2011.
- [8] - TOMAN, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jaroslava ORSÁGOVÁ a David TOPOLÁNEK. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011.
- [9] - ČSN 33 2000-1 ed.2. *Elektrické instalace nízkého napětí: Část 1: Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice*. [s.l.] : [s.n.], 2009.
- [10] - ČSN EN 50341-1 ed.2. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1kV – Část1: Obecné požadavky*. Český normalizační institut, 2013
- [11] - OMICRON ELECTRONICS GMBH. *Omicron* [online]. 2014 [cit. 2014-11-18]. Dostupné z: <http://www.omicron.at/>
- [12] - OMICRON ELECTRONICS GmbH. *CPC 100 Reference Manual*. 2007, 368 s.
- [13] - *Siemens Energetika* [online]. 2014 [cit. 2014-10-30]. Dostupné z: [https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty\\_a\\_sluzby/sektor\\_energ\\_y/automatizace\\_pro\\_energetiku/zkusebni\\_zarizeni\\_OMICRON/zarizeni\\_pro\\_primarni\\_zkousky\\_r\\_ada\\_CP/Pages/Vazebni\\_jednotka\\_CP\\_1.aspx](https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/sektor_energ_y/automatizace_pro_energetiku/zkusebni_zarizeni_OMICRON/zarizeni_pro_primarni_zkousky_r_ada_CP/Pages/Vazebni_jednotka_CP_1.aspx)
- [14] - OMICRON ELECTRONICS GmbH. *CP CUI Reference Manual*. 2005, 58 s.

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Moravské Knínice, DTS

Příloha B: Moravské Knínice, betonový sloup s úsekovým odpínačem

Příloha C: Drásov, Vinohradská, DTS

Příloha D: Drásov, Malhostovická, DTS

Příloha E: Čebín, DTS

Příloha F: Čebín, betonový sloup s úsekovým odpínačem



**PŘÍLOHA A: MORAVSKÉ KNÍNICE, DTS**

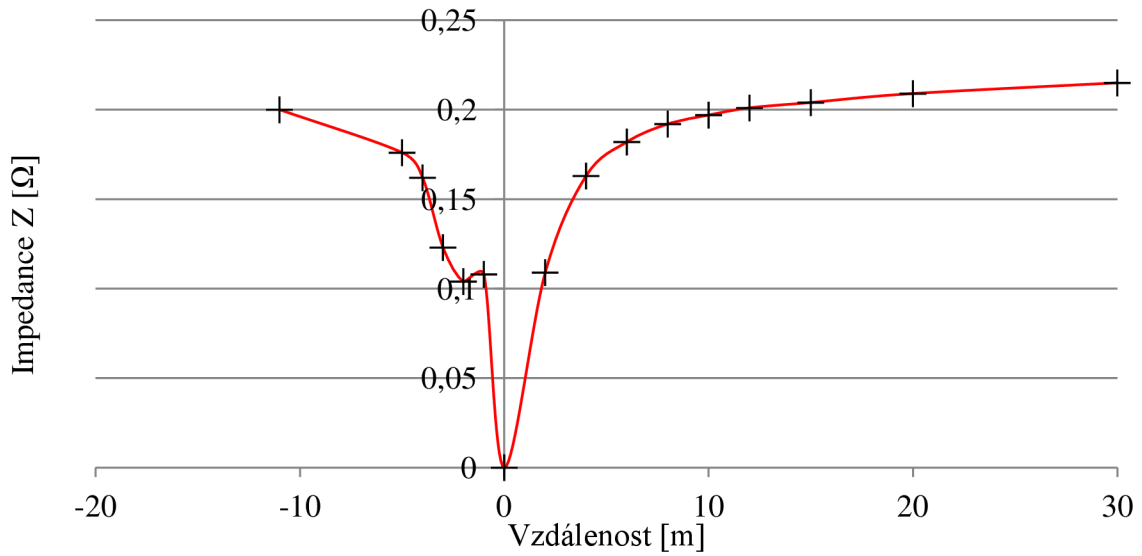
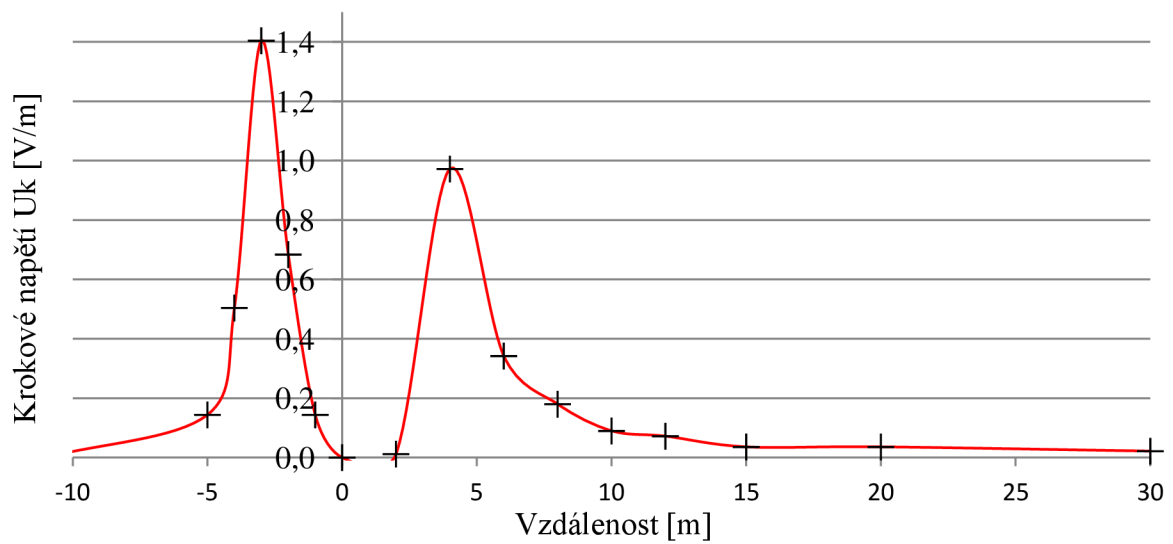
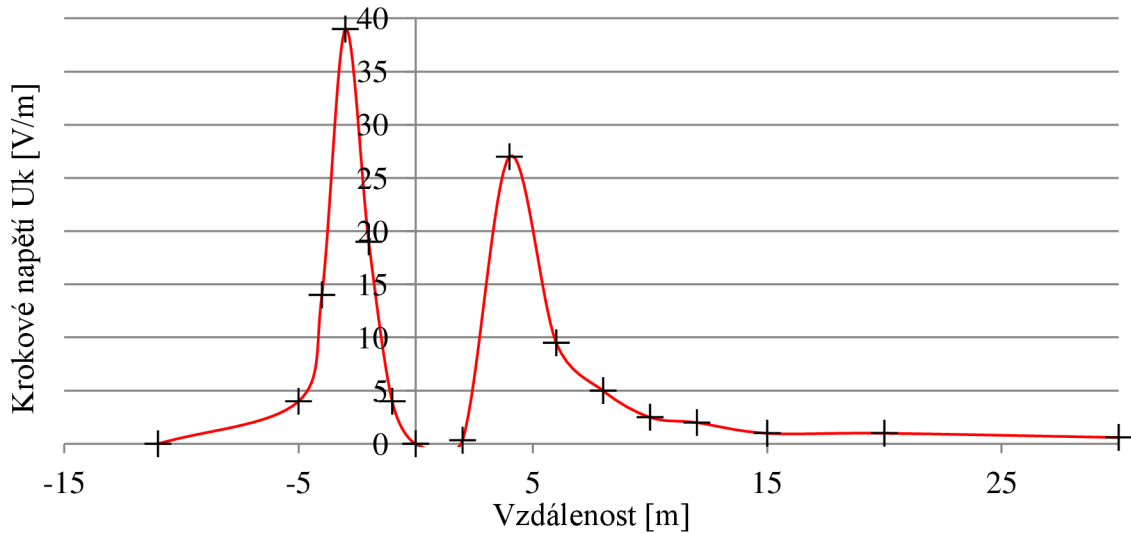
Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud 36 A:

| Vzdálenost [m] | Pozn. | R [Ω] | X [Ω] | Z [Ω] | $\varphi_{el}$ [°] | $\underline{U}_k$ [V/m] | $\varphi$ [V] | $U_E$ [%] | $\underline{U}_{k\%} * U_E$ [%] |
|----------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------------------------|---------------|-----------|---------------------------------|
| -11            |       | 0,185 | 0,074 | 0,2   | 21,77°             | -                       | 0,54          | 100       | -                               |
| -5             |       | 0,164 | 0,063 | 0,176 | 21,05°             | 0,144                   | 1,40          | 100       | 1,86                            |
| -4             |       | 0,152 | 0,057 | 0,162 | 20,57°             | 0,504                   | 1,91          | 100       | 6,51                            |
| -3             |       | 0,117 | 0,039 | 0,123 | 18,39°             | 1,404                   | 3,31          | 100       | 18,14                           |
| -2             |       | 0,099 | 0,03  | 0,104 | 16,81°             | 0,684                   | 4,00          | 100       | 8,84                            |
| -1             |       | 0,103 | 0,032 | 0,108 | 17,45°             | 0,144                   | 3,85          | 100       | 1,86                            |
| 0              |       | 0     | 0     | 0     | 0                  | 0                       | 7,74          | 0         | 0                               |
| 2              |       | 0,105 | 0,032 | 0,109 | 17,04°             | 0,012                   | 3,82          | 100       | 0,16                            |
| 4              |       | 0,152 | 0,058 | 0,163 | 20,77°             | 0,972                   | 1,87          | 100       | 12,56                           |
| 6              |       | 0,170 | 0,067 | 0,182 | 21,55°             | 0,342                   | 1,19          | 100       | 4,42                            |
| 8              |       | 0,178 | 0,072 | 0,192 | 22,11°             | 0,180                   | 0,83          | 100       | 2,33                            |
| 10             |       | 0,182 | 0,074 | 0,197 | 22,23°             | 0,090                   | 0,65          | 100       | 1,16                            |
| 12             |       | 0,186 | 0,075 | 0,201 | 21,88°             | 0,072                   | 0,50          | 100       | 0,93                            |
| 15             |       | 0,189 | 0,076 | 0,204 | 21,93°             | 0,036                   | 0,40          | 100       | 0,47                            |
| 20             |       | 0,194 | 0,078 | 0,209 | 22,07°             | 0,036                   | 0,22          | 100       | 0,47                            |
| 30             |       | 0,199 | 0,081 | 0,215 | 22,22°             | 0,022                   | 0,00          | 100       | 0,28                            |

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud 1000 A:

| Vzdálenost [m] | Pozn. | R [Ω] | X [Ω] | Z [Ω] | $\varphi_{el}$ [°] | $\underline{U}_k$ [V/m] | $\varphi$ [V] | $U_E$ [%] | $\underline{U}_{k\%} * U_E$ [%] |
|----------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------------------------|---------------|-----------|---------------------------------|
| -11            |       | 0,185 | 0,074 | 0,2   | 21,77°             | -                       | 15            | 100       | -                               |
| -5             |       | 0,164 | 0,063 | 0,176 | 21,05°             | 4,0                     | 39            | 100       | 1,86                            |
| -4             |       | 0,152 | 0,057 | 0,162 | 20,57°             | 14,0                    | 53            | 100       | 6,51                            |
| -3             |       | 0,117 | 0,039 | 0,123 | 18,39°             | 39,0                    | 92            | 100       | 18,14                           |
| -2             |       | 0,099 | 0,03  | 0,104 | 16,81°             | 19,0                    | 111           | 100       | 8,84                            |
| -1             |       | 0,103 | 0,032 | 0,108 | 17,45°             | 4,0                     | 107           | 100       | 1,86                            |
| 0              |       | 0     | 0     | 0     | 0                  | 0,0                     | 215           | 100       | 0,00                            |
| 2              |       | 0,105 | 0,032 | 0,109 | 17,04°             | 0,3                     | 106           | 100       | 0,16                            |
| 4              |       | 0,152 | 0,058 | 0,163 | 20,77°             | 27,0                    | 52            | 100       | 12,56                           |
| 6              |       | 0,170 | 0,067 | 0,182 | 21,55°             | 9,5                     | 33            | 100       | 4,42                            |
| 8              |       | 0,178 | 0,072 | 0,192 | 22,11°             | 5,0                     | 23            | 100       | 2,33                            |
| 10             |       | 0,182 | 0,074 | 0,197 | 22,23°             | 2,5                     | 18            | 100       | 1,16                            |
| 12             |       | 0,186 | 0,075 | 0,201 | 21,88°             | 2,0                     | 14            | 100       | 0,93                            |
| 15             |       | 0,189 | 0,076 | 0,204 | 21,93°             | 1,0                     | 11            | 100       | 0,47                            |
| 20             |       | 0,194 | 0,078 | 0,209 | 22,07°             | 1,0                     | 6             | 100       | 0,47                            |
| 30             |       | 0,199 | 0,081 | 0,215 | 22,22°             | 0,6                     | 0             | 100       | 0,28                            |

Grafická závislost zemní impedance na vzdálenosti od DTS

Graf závislosti krokového napětí na vzdálenosti od DTS -  $I_{RES} = 21,6$  AGraf závislosti krokového napětí na vzdálenosti od DTS -  $I_{RES} = 1000$  A

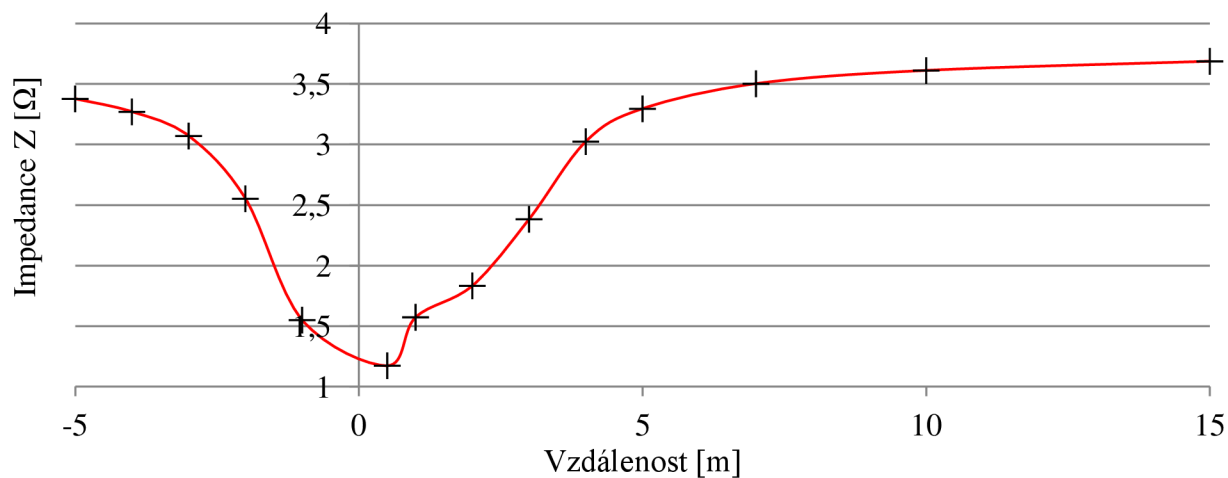
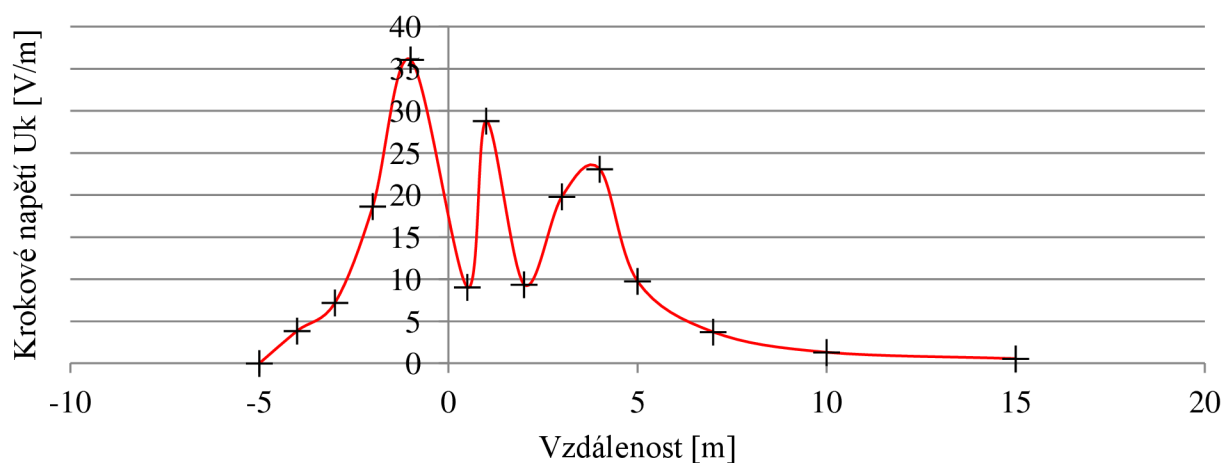
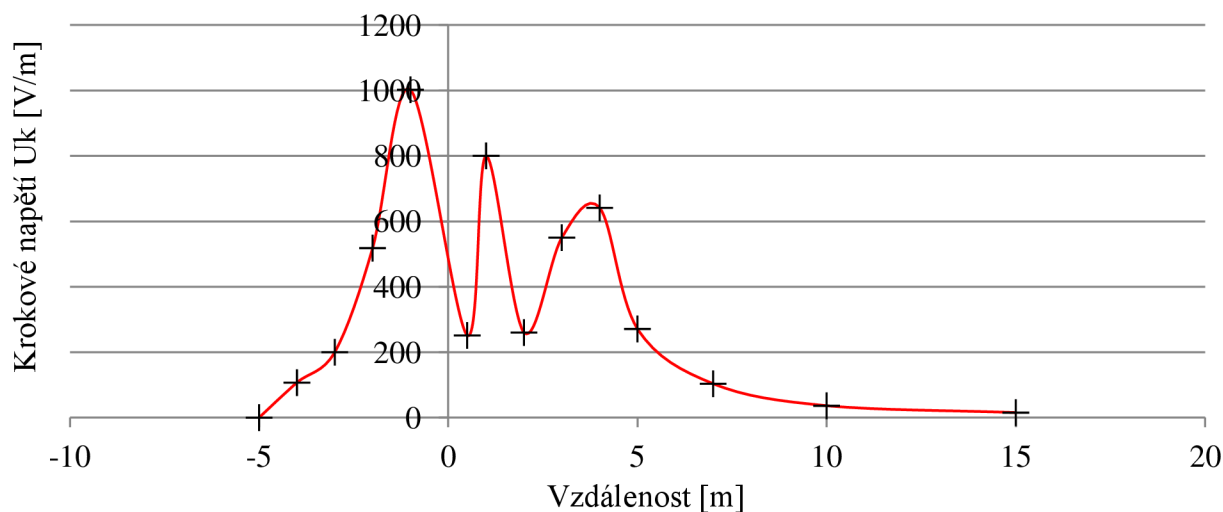
**PŘÍLOHA B: MORAVSKÉ KNÍNICE, BETONOVÝ SLOUP S ÚSEKOVÝM ODPÍNAČEM**

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud 36 A:

| Vzdálenost [m] | Pozn. | R [ $\Omega$ ] | X [ $\Omega$ ] | Z [ $\Omega$ ] | $\varphi_{el}$ [ $^\circ$ ] | $\underline{U}_k$ [V/m] | $\varphi$ [V] | $U_E$ [%] | $\underline{U}_{k\%} * U_E$ [%] |
|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|-------------------------|---------------|-----------|---------------------------------|
| -5             |       | 3,378          | -0,051         | 3,378          | -0,87°                      | -                       | 14,80         | 100       | -                               |
| -4             |       | 3,271          | -0,051         | 3,271          | -0,90°                      | 3,85                    | 18,65         | 100       | 2,82                            |
| -3             |       | 3,07           | -0,048         | 3,071          | -0,90°                      | 7,20                    | 25,85         | 100       | 5,28                            |
| -2             |       | 2,552          | -0,046         | 2,553          | -1,04°                      | 18,65                   | 44,50         | 100       | 13,67                           |
| -1             |       | 1,551          | -0,033         | 1,551          | -1,22°                      | 36,07                   | 80,57         | 100       | 26,44                           |
| 0,5            |       | 1,174          | -0,012         | 1,174          | -0,59°                      | 9,05                    | 94,14         | 100       | 6,63                            |
| 1              |       | 1,574          | -0,013         | 1,574          | -0,47°                      | 28,80                   | 79,74         | 100       | 21,11                           |
| 2              |       | 1,833          | -0,021         | 1,834          | -0,67°                      | 9,36                    | 70,38         | 100       | 6,86                            |
| 3              |       | 2,384          | -0,03          | 2,384          | -0,73°                      | 19,80                   | 50,58         | 100       | 14,52                           |
| 4              |       | 3,024          | -0,041         | 3,025          | -0,78°                      | 23,08                   | 27,50         | 100       | 16,92                           |
| 5              |       | 3,296          | -0,044         | 3,296          | -0,76°                      | 9,76                    | 17,75         | 100       | 7,15                            |
| 7              |       | 3,502          | -0,047         | 3,503          | -0,77°                      | 3,73                    | 10,30         | 100       | 2,73                            |
| 10             |       | 3,611          | -0,048         | 3,612          | -0,76°                      | 1,31                    | 6,37          | 100       | 0,96                            |
| 15             |       | 3,688          | -0,048         | 3,688          | -0,75°                      | 0,55                    | 3,64          | 100       | 0,40                            |
| 43             |       | 3,789          | -0,031         | 3,789          | -0,46°                      | 0,13                    | 0,00          | 100       | 0,10                            |

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud 1000 A:

| Vzdálenost [m] | Pozn. | R [ $\Omega$ ] | X [ $\Omega$ ] | Z [ $\Omega$ ] | $\varphi_{el}$ [ $^\circ$ ] | $\underline{U}_k$ [V/m] | $\varphi$ [V] | $U_E$ [%] | $\underline{U}_{k\%} * U_E$ [%] |
|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|-------------------------|---------------|-----------|---------------------------------|
| -5             |       | 3,378          | -0,051         | 3,378          | -0,87°                      | -                       | 411           | 100       | -                               |
| -4             |       | 3,271          | -0,051         | 3,271          | -0,90°                      | 107,0                   | 518           | 100       | 2,82                            |
| -3             |       | 3,07           | -0,048         | 3,071          | -0,90°                      | 200,0                   | 718           | 100       | 5,28                            |
| -2             |       | 2,552          | -0,046         | 2,553          | -1,04°                      | 518,0                   | 1236          | 100       | 13,67                           |
| -1             |       | 1,551          | -0,033         | 1,551          | -1,22°                      | 1002,0                  | 2238          | 100       | 26,44                           |
| 0,5            |       | 1,174          | -0,012         | 1,174          | -0,59°                      | 251,3                   | 2615          | 100       | 6,63                            |
| 1              |       | 1,574          | -0,013         | 1,574          | -0,47°                      | 800,0                   | 2215          | 100       | 21,11                           |
| 2              |       | 1,833          | -0,021         | 1,834          | -0,67°                      | 260,0                   | 1955          | 100       | 6,86                            |
| 3              |       | 2,384          | -0,03          | 2,384          | -0,73°                      | 550,0                   | 1405          | 100       | 14,52                           |
| 4              |       | 3,024          | -0,041         | 3,025          | -0,78°                      | 641,0                   | 764           | 100       | 16,92                           |
| 5              |       | 3,296          | -0,044         | 3,296          | -0,76°                      | 271,0                   | 493           | 100       | 7,15                            |
| 7              |       | 3,502          | -0,047         | 3,503          | -0,77°                      | 103,5                   | 286           | 100       | 2,73                            |
| 10             |       | 3,611          | -0,048         | 3,612          | -0,76°                      | 36,3                    | 177           | 100       | 0,96                            |
| 15             |       | 3,688          | -0,048         | 3,688          | -0,75°                      | 15,2                    | 101           | 100       | 0,40                            |
| 43             |       | 3,789          | -0,031         | 3,789          | -0,46°                      | 3,6                     | 0             | 100       | 0,10                            |

Grafická závislost zemní impedance na vzdálenosti od betonového sloupu  
vedení VNGraf závislosti krokového napětí na vzdálenosti od betonového sloupu  
vedení VN -  $I_{RES} = 36$  AGraf závislosti krokového napětí na vzdálenosti od betonového sloupu  
vedení VN -  $I_{RES} = 1000$  A

**PŘÍLOHA C: DRÁSOV, VINOHRADSKÁ, DTS**

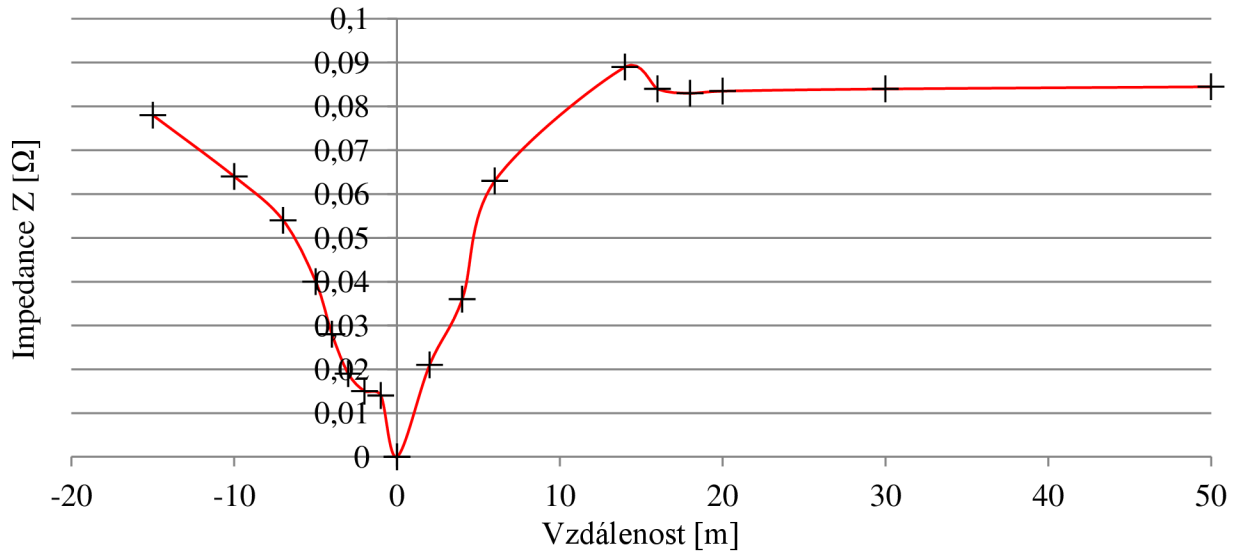
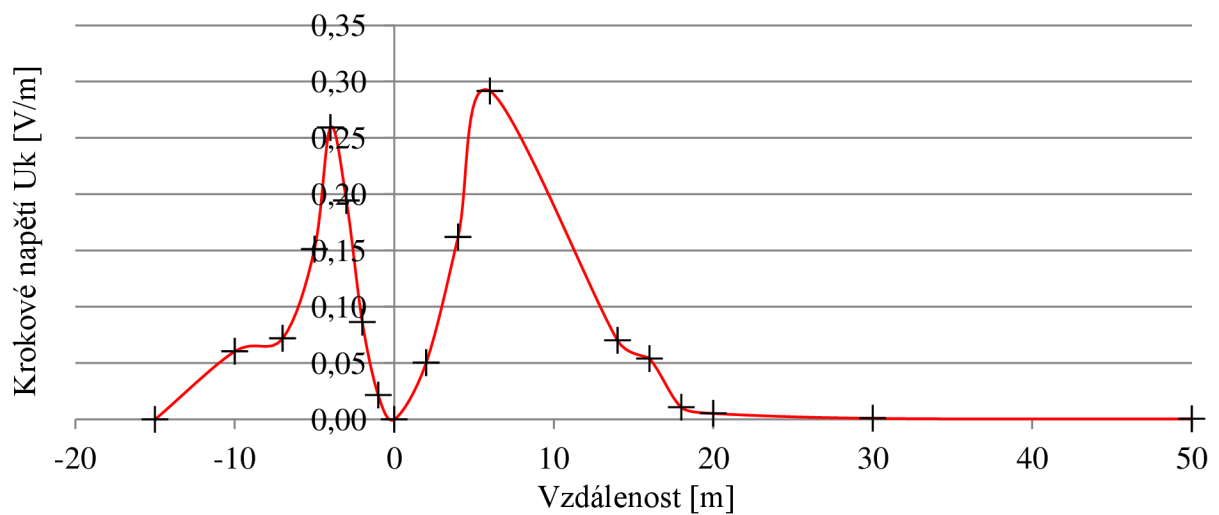
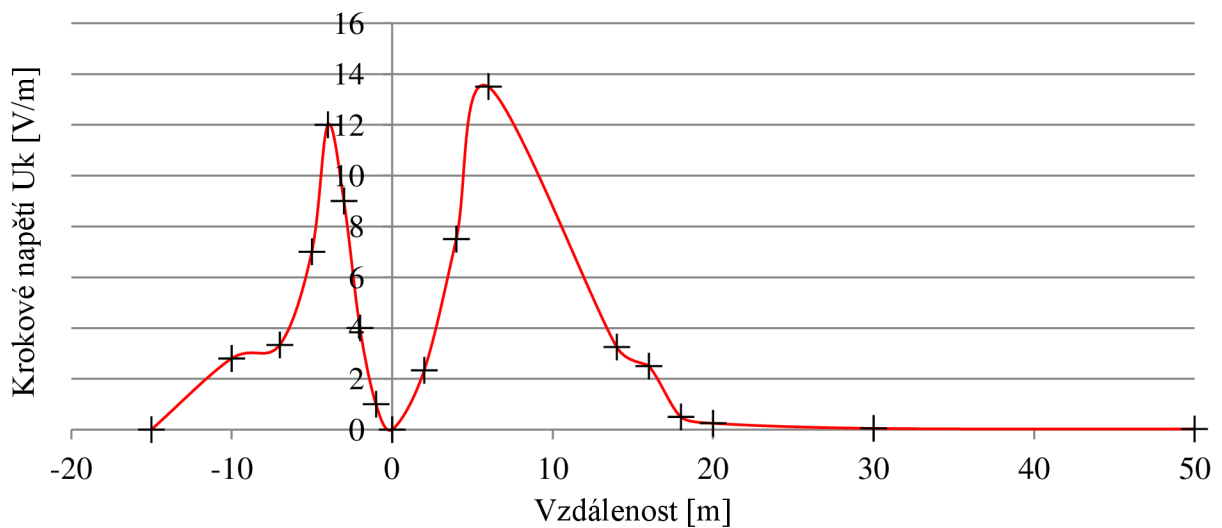
Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud 21,6 A:

| Vzdálenost [m] | Pozn. | R [ $\Omega$ ] | X [ $\Omega$ ] | Z [ $\Omega$ ] | $\varphi_{el}$ [°] | $\underline{U}_k$ [V/m] | $\varphi$ [V] | $U_E$ [%] | $\underline{U}_{k\%} * U_E$ [%] |
|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------------|---------------|-----------|---------------------------------|
| -15            |       | 0,067          | 0,039          | 0,078          | 30,05°             | -                       | 0,238         | 100       | -                               |
| -10            |       | 0,055          | 0,031          | 0,064          | 29,43°             | 0,060                   | 0,540         | 100       | 3,15                            |
| -7             |       | 0,037          | 0,017          | 0,054          | 24,32°             | 0,072                   | 0,756         | 100       | 3,75                            |
| -5             |       | 0,036          | 0,018          | 0,04           | 26,11°             | 0,151                   | 1,058         | 100       | 7,87                            |
| -4             |       | 0,025          | 0,013          | 0,028          | 26,58°             | 0,259                   | 1,318         | 100       | 13,48                           |
| -3             |       | 0,017          | 0,008          | 0,019          | 26,03°             | 0,194                   | 1,512         | 100       | 10,11                           |
| -2             |       | 0,013          | 0,006          | 0,015          | 24,91°             | 0,086                   | 1,598         | 100       | 4,49                            |
| -1             |       | 0,012          | 0,006          | 0,014          | 25,70°             | 0,022                   | 1,620         | 100       | 1,12                            |
| 0              |       | 0              | 0              | 0              | 0                  | 0                       | 1,922         | 100       | 0,00                            |
| 2              |       | 0,019          | 0,008          | 0,021          | 23,12°             | 0,050                   | 1,469         | 100       | 2,62                            |
| 4              |       | 0,031          | 0,017          | 0,036          | 28,59°             | 0,162                   | 1,145         | 100       | 8,43                            |
| 6              |       | 0,054          | 0,032          | 0,063          | 30,91°             | 0,292                   | 0,562         | 100       | 15,17                           |
| 14             |       | 0,078          | 0,043          | 0,089          | 28,96°             | 0,070                   | 0,000         | 100       | 3,65                            |
| 16             |       | 0,073          | 0,041          | 0,084          | 29,39°             | 0,054                   | 0,108         | 100       | 2,81                            |
| 18             |       | 0,072          | 0,042          | 0,083          | 30,00°             | 0,011                   | 0,130         | 100       | 0,56                            |
| 20             |       | 0,073          | 0,04           | 0,0835         | 28,52°             | 0,005                   | 0,119         | 100       | 0,28                            |
| 30             |       | 0,072          | 0,044          | 0,084          | 31,68°             | 0,001                   | 0,108         | 100       | 0,06                            |
| 50             |       | 0,07           | 0,046          | 0,0845         | 32,96°             | 0,001                   | 0,097         | 100       | 0,03                            |

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud 1000 A:

| Vzdálenost [m] | Pozn. | R [ $\Omega$ ] | X [ $\Omega$ ] | Z [ $\Omega$ ] | $\varphi_{el}$ [°] | $\underline{U}_k$ [V/m] | $\varphi$ [V] | $U_E$ [%] | $\underline{U}_{k\%} * U_E$ [%] |
|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------------|---------------|-----------|---------------------------------|
| -15            |       | 0,067          | 0,039          | 0,078          | 30,05°             | -                       | 11,0          | 100       | -                               |
| -10            |       | 0,055          | 0,031          | 0,064          | 29,43°             | 2,80                    | 25,0          | 100       | 3,15                            |
| -7             |       | 0,037          | 0,017          | 0,054          | 24,32°             | 3,33                    | 35,0          | 100       | 3,75                            |
| -5             |       | 0,036          | 0,018          | 0,04           | 26,11°             | 7,00                    | 49,0          | 100       | 7,87                            |
| -4             |       | 0,025          | 0,013          | 0,028          | 26,58°             | 12,00                   | 61,0          | 100       | 13,48                           |
| -3             |       | 0,017          | 0,008          | 0,019          | 26,03°             | 9,00                    | 70,0          | 100       | 10,11                           |
| -2             |       | 0,013          | 0,006          | 0,015          | 24,91°             | 4,00                    | 74,0          | 100       | 4,49                            |
| -1             |       | 0,012          | 0,006          | 0,014          | 25,70°             | 1,00                    | 75,0          | 100       | 1,12                            |
| 0              |       | 0              | 0              | 0              | 0                  | 0                       | 89,0          | 100       | 0,00                            |
| 2              |       | 0,019          | 0,008          | 0,021          | 23,12°             | 2,33                    | 68,0          | 100       | 2,62                            |
| 4              |       | 0,031          | 0,017          | 0,036          | 28,59°             | 7,50                    | 53,0          | 100       | 8,43                            |
| 6              |       | 0,054          | 0,032          | 0,063          | 30,91°             | 13,50                   | 26,0          | 100       | 15,17                           |
| 14             |       | 0,078          | 0,043          | 0,089          | 28,96°             | 3,25                    | 0,0           | 100       | 3,65                            |
| 16             |       | 0,073          | 0,041          | 0,084          | 29,39°             | 2,50                    | 5,0           | 100       | 2,81                            |
| 18             |       | 0,072          | 0,042          | 0,083          | 30,00°             | 0,50                    | 6,0           | 100       | 0,56                            |
| 20             |       | 0,073          | 0,04           | 0,0835         | 28,52°             | 0,25                    | 5,5           | 100       | 0,28                            |
| 30             |       | 0,072          | 0,044          | 0,084          | 31,68°             | 0,05                    | 5,0           | 100       | 0,06                            |
| 50             |       | 0,07           | 0,046          | 0,0845         | 32,96°             | 0,03                    | 4,5           | 100       | 0,03                            |

Grafická závislost zemní impedance na vzdálenosti od DTS

Graf závislosti krokového napětí na vzdálenosti od DTS -  $I_{RES} = 21,6$  AGraf závislosti krokového napětí na vzdálenosti od DTS -  $I_{RES} = 1000$  A

**PŘÍLOHA D: DRÁSOV, MALHOSTOVICKÁ, DTS**

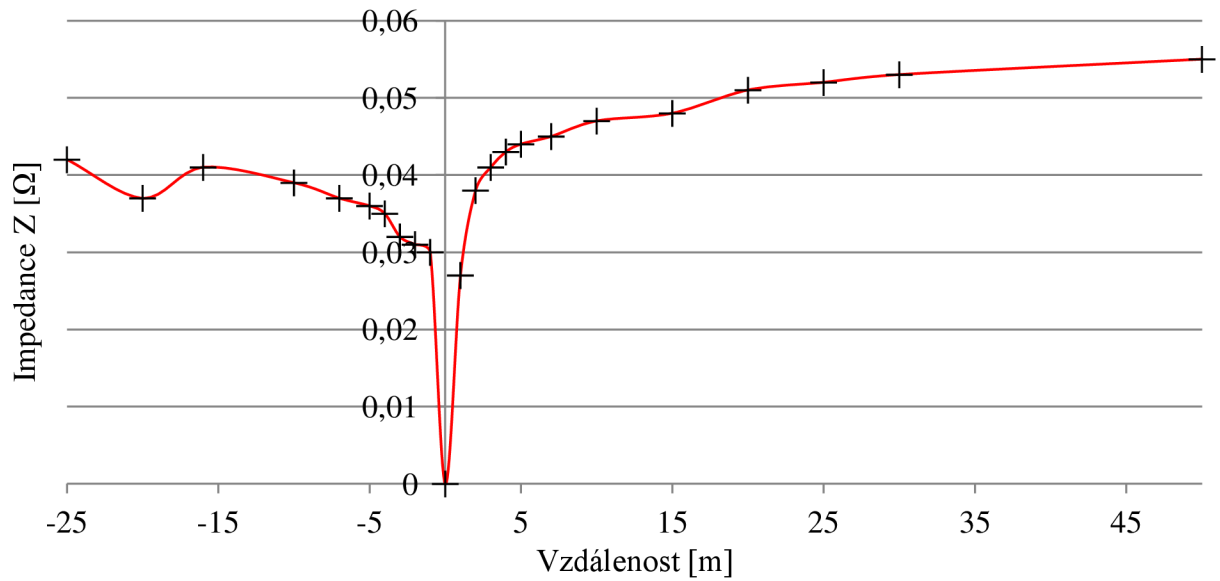
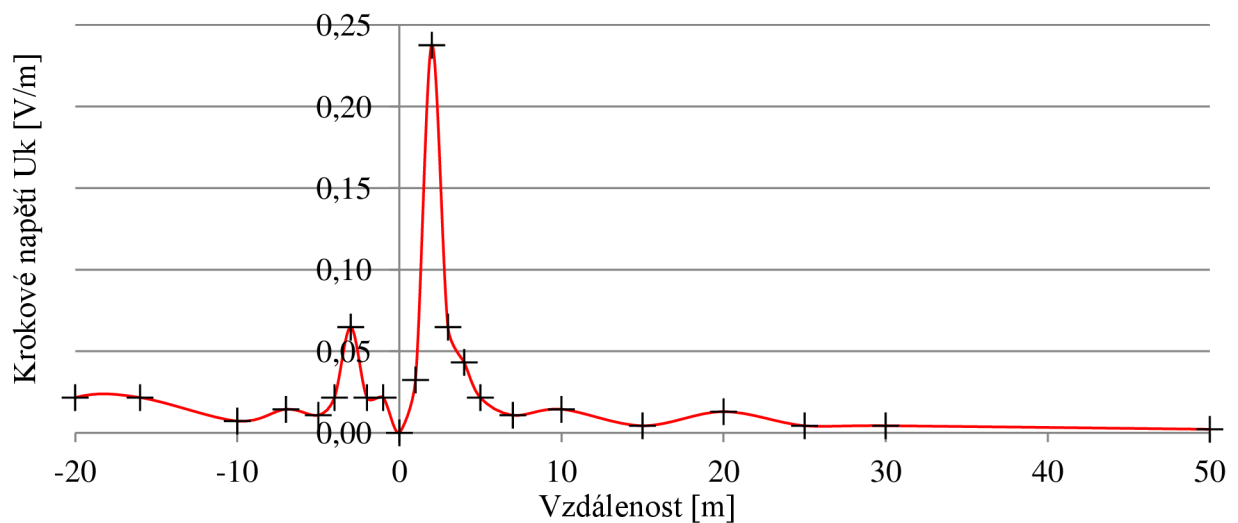
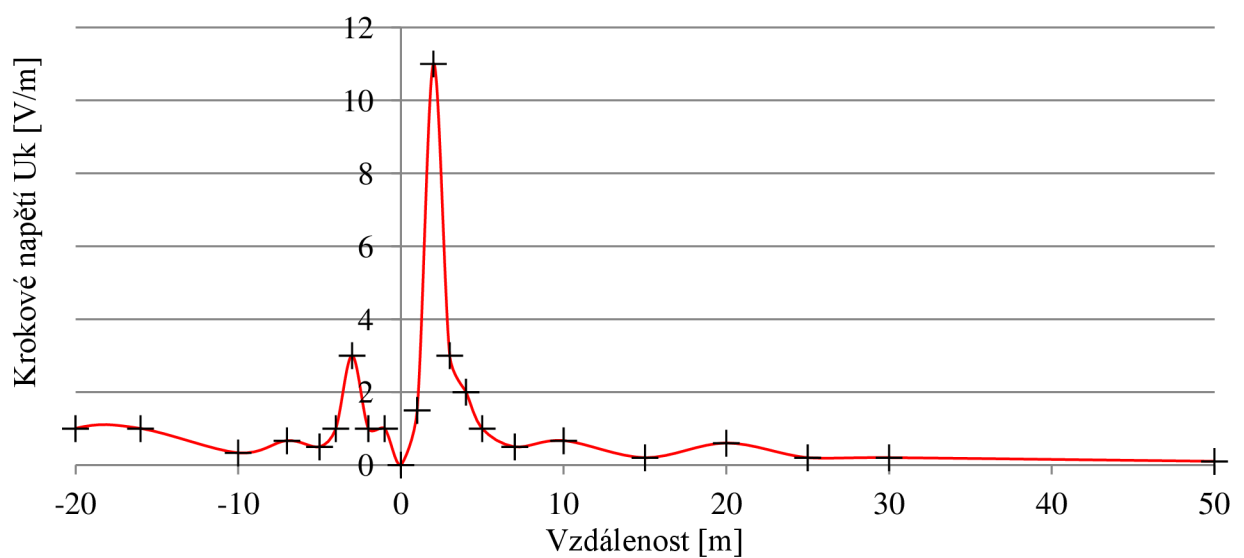
Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud 21,6 A:

| Vzdálenost [m] | Pozn.                     | R [Ω] | X [Ω] | Z [Ω] | $\varphi_{el}$ [°] | $\underline{U}_k$ [V/m] | $\varphi$ [V] | $U_E$ [%] | $\underline{U}_{k\%} * U_E$ [%] |
|----------------|---------------------------|-------|-------|-------|--------------------|-------------------------|---------------|-----------|---------------------------------|
| -25            |                           | 0,041 | 0,01  | 0,042 | 13,93°             | -                       | 0,281         | 100       | -                               |
| -20            |                           | 0,036 | 0,008 | 0,037 | 13,11°             | 0,0216                  | 0,389         | 100       | 1,82                            |
| -16            |                           | 0,039 | 0,01  | 0,041 | 14,07°             | 0,0216                  | 0,302         | 100       | 1,82                            |
| -10            |                           | 0,038 | 0,009 | 0,039 | 13,52°             | 0,0072                  | 0,346         | 100       | 0,61                            |
| -7             |                           | 0,036 | 0,008 | 0,037 | 12,99°             | 0,0144                  | 0,389         | 100       | 1,21                            |
| -5             |                           | 0,036 | 0,008 | 0,036 | 12,88°             | 0,0108                  | 0,410         | 100       | 0,91                            |
| -4             |                           | 0,034 | 0,008 | 0,035 | 12,61°             | 0,0216                  | 0,432         | 100       | 1,82                            |
| -3             |                           | 0,030 | 0,006 | 0,032 | 11,74°             | 0,0648                  | 0,497         | 100       | 5,45                            |
| -2             | okolí DTS<br>vyštěrkováno | 0,030 | 0,006 | 0,031 | 12,02°             | 0,0216                  | 0,518         | 100       | 1,82                            |
| -1             | okolí DTS<br>vyštěrkováno | 0,030 | 0,006 | 0,03  | 11,53°             | 0,0216                  | 0,540         | 100       | 1,82                            |
| 0              |                           | 0     | 0     | 0     | 0                  | 0                       | 1,188         | 100       | 0,00                            |
| 1              | okolí DTS<br>vyštěrkováno | 0,027 | 0,006 | 0,027 | 13,12°             | 0,0324                  | 0,605         | 100       | 2,73                            |
| 2              | okolí DTS<br>vyštěrkováno | 0,037 | 0,009 | 0,038 | 13,79°             | 0,2376                  | 0,367         | 100       | 20,00                           |
| 3              |                           | 0,040 | 0,01  | 0,041 | 13,73°             | 0,0648                  | 0,302         | 100       | 5,45                            |
| 4              |                           | 0,041 | 0,01  | 0,043 | 14,16°             | 0,0432                  | 0,259         | 100       | 3,64                            |
| 5              |                           | 0,042 | 0,011 | 0,044 | 14,45°             | 0,0216                  | 0,238         | 100       | 1,82                            |
| 7              |                           | 0,044 | 0,011 | 0,045 | 14,52°             | 0,0108                  | 0,216         | 100       | 0,91                            |
| 10             |                           | 0,045 | 0,012 | 0,047 | 15,02°             | 0,0144                  | 0,173         | 100       | 1,21                            |
| 15             |                           | 0,047 | 0,012 | 0,048 | 14,94°             | 0,0043                  | 0,151         | 100       | 0,36                            |
| 20             |                           | 0,048 | 0,013 | 0,051 | 15,24°             | 0,0130                  | 0,086         | 100       | 1,09                            |
| 25             |                           | 0,049 | 0,013 | 0,052 | 15,23°             | 0,0043                  | 0,065         | 100       | 0,36                            |
| 30             |                           | 0,049 | 0,014 | 0,053 | 15,42°             | 0,0043                  | 0,043         | 100       | 0,36                            |
| 50             |                           | 0,050 | 0,014 | 0,055 | 15,67°             | 0,0022                  | 0,000         | 100       | 0,18                            |

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud 1000 A:

| Vzdálenost [m] | Pozn.                     | R [Ω] | X [Ω] | Z [Ω] | $\varphi_{el}$ [°] | $\underline{U}_k$ [V/m] | $\varphi$ [V] | $U_E$ [%] | $\underline{U}_{k\%} * U_E$ [%] |
|----------------|---------------------------|-------|-------|-------|--------------------|-------------------------|---------------|-----------|---------------------------------|
| -25            |                           | 0,041 | 0,01  | 0,042 | 13,93°             | -                       | 13,00         | 100       | -                               |
| -20            |                           | 0,036 | 0,008 | 0,037 | 13,11°             | 1,00                    | 18,00         | 100       | 1,82                            |
| -16            |                           | 0,039 | 0,01  | 0,041 | 14,07°             | 1,00                    | 14,00         | 100       | 1,82                            |
| -10            |                           | 0,038 | 0,009 | 0,039 | 13,52°             | 0,33                    | 16,00         | 100       | 0,61                            |
| -7             |                           | 0,036 | 0,008 | 0,037 | 12,99°             | 0,67                    | 18,00         | 100       | 1,21                            |
| -5             |                           | 0,036 | 0,008 | 0,036 | 12,88°             | 0,50                    | 19,00         | 100       | 0,91                            |
| -4             |                           | 0,034 | 0,008 | 0,035 | 12,61°             | 1,00                    | 20,00         | 100       | 1,82                            |
| -3             |                           | 0,030 | 0,006 | 0,032 | 11,74°             | 3,00                    | 23,00         | 100       | 5,45                            |
| -2             | okolí DTS<br>vyštěrkováno | 0,030 | 0,006 | 0,031 | 12,02°             | 1,00                    | 24,00         | 100       | 1,82                            |
| -1             | okolí DTS<br>vyštěrkováno | 0,030 | 0,006 | 0,03  | 11,53°             | 1,00                    | 25,00         | 100       | 1,82                            |
| 0              |                           | 0     | 0     | 0     | 0                  | 0,00                    | 55,00         | 100       | 0,00                            |
| 1              | okolí DTS<br>vyštěrkováno | 0,027 | 0,006 | 0,027 | 13,12°             | 1,50                    | 28,00         | 100       | 2,73                            |
| 2              | okolí DTS<br>vyštěrkováno | 0,037 | 0,009 | 0,038 | 13,79°             | 11,00                   | 17,00         | 100       | 20,00                           |
| 3              |                           | 0,040 | 0,01  | 0,041 | 13,73°             | 3,00                    | 14,00         | 100       | 5,45                            |
| 4              |                           | 0,041 | 0,01  | 0,043 | 14,16°             | 2,00                    | 12,00         | 100       | 3,64                            |
| 5              |                           | 0,042 | 0,011 | 0,044 | 14,45°             | 1,00                    | 11,00         | 100       | 1,82                            |
| 7              |                           | 0,044 | 0,011 | 0,045 | 14,52°             | 0,50                    | 10,00         | 100       | 0,91                            |
| 10             |                           | 0,045 | 0,012 | 0,047 | 15,02°             | 0,67                    | 8,00          | 100       | 1,21                            |
| 15             |                           | 0,047 | 0,012 | 0,048 | 14,94°             | 0,20                    | 7,00          | 100       | 0,36                            |
| 20             |                           | 0,048 | 0,013 | 0,051 | 15,24°             | 0,60                    | 4,00          | 100       | 1,09                            |
| 25             |                           | 0,049 | 0,013 | 0,052 | 15,23°             | 0,20                    | 3,00          | 100       | 0,36                            |
| 30             |                           | 0,049 | 0,014 | 0,053 | 15,42°             | 0,20                    | 2,00          | 100       | 0,36                            |
| 50             |                           | 0,050 | 0,014 | 0,055 | 15,67°             | 0,10                    | 0,00          | 100       | 0,18                            |

Grafická závislost zemní impedance na vzdálenosti od DTS

Graf závislosti krokového napětí na vzdálenosti od DTS -  $I_{RES} = 21,6$  AGraf závislosti krokového napětí na vzdálenosti od DTS -  $I_{RES} = 1000$  A



**PŘÍLOHA E: ČEBÍN, DTS**

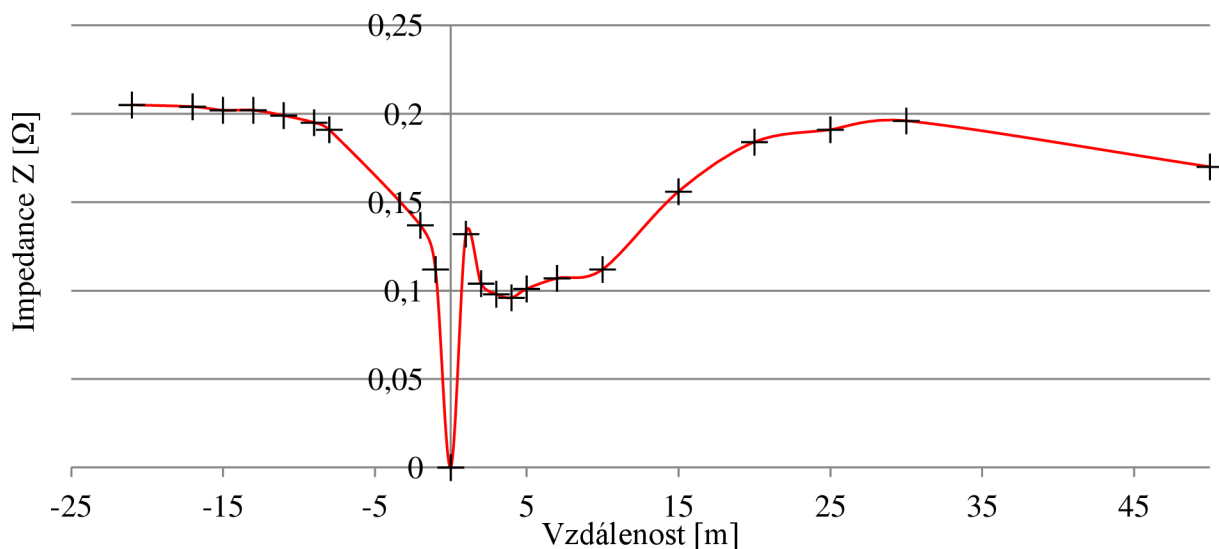
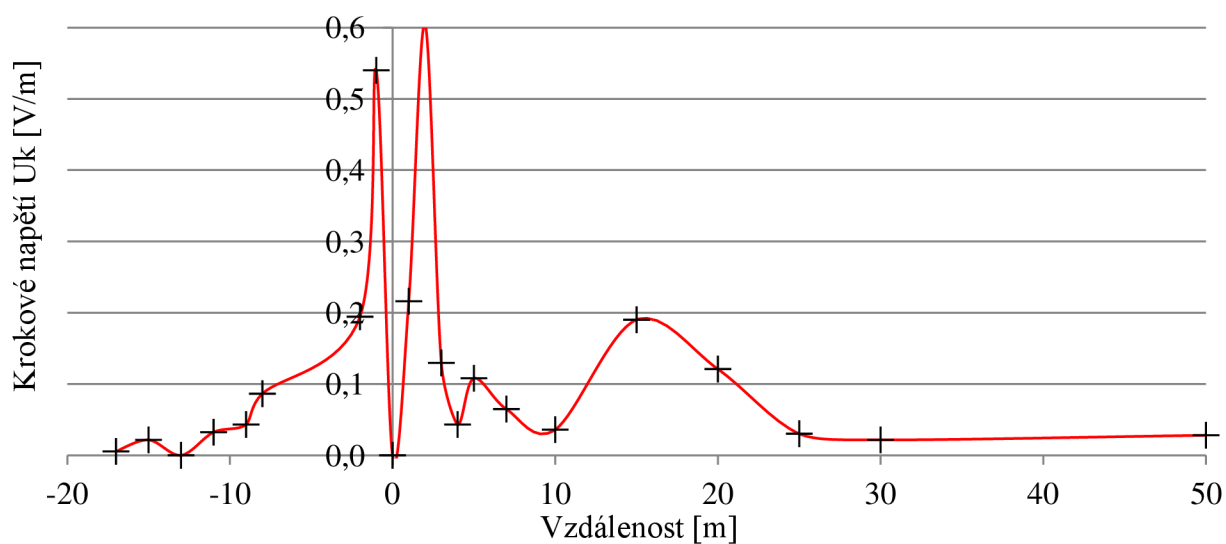
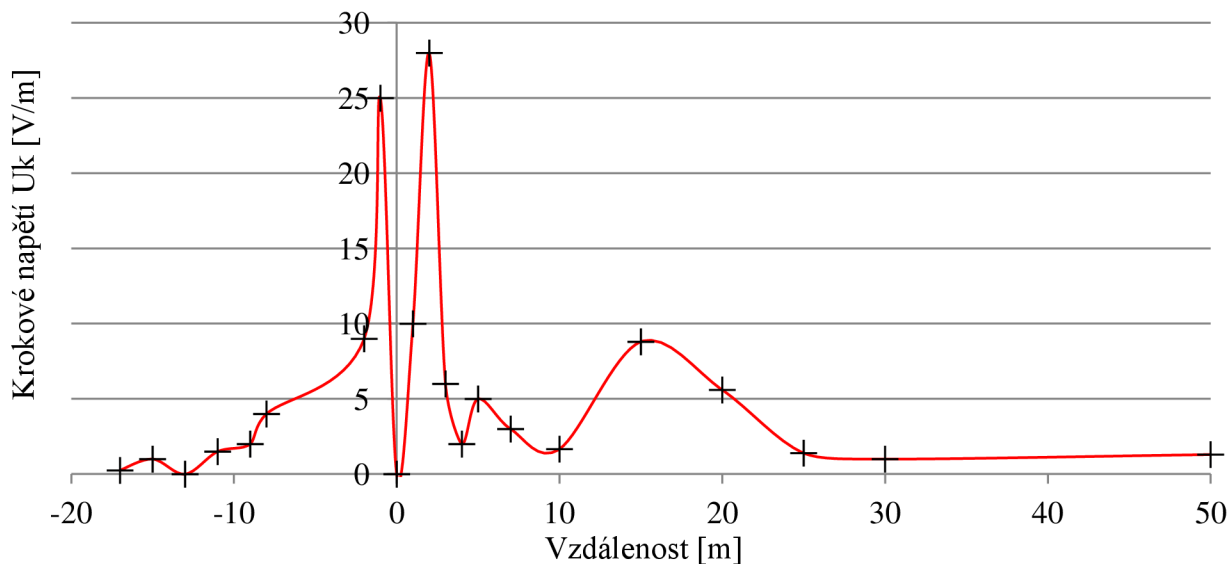
Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud 21,6 A:

| Vzdálenost [m] | Pozn. | R [Ω] | X [Ω] | Z [Ω] | $\phi_{sl}$ [°] | $\underline{U}_k$ [V/m] | $\phi$ [V] | $U_E$ [%] | $\underline{U}_{k\%} * U_E$ [%] |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------------------------|------------|-----------|---------------------------------|
| -21            |       | 0,193 | 0,068 | 0,205 | 19,52°          |                         | 0,00       | 100       | -                               |
| -17            |       | 0,192 | 0,069 | 0,204 | 19,68°          | 0,005                   | 0,02       | 100       | 0,12                            |
| -15            |       | 0,19  | 0,069 | 0,202 | 19,84°          | 0,022                   | 0,06       | 100       | 0,49                            |
| -13            |       | 0,19  | 0,069 | 0,202 | 20,03°          | 0,000                   | 0,06       | 100       | 0,00                            |
| -11            |       | 0,188 | 0,065 | 0,199 | 19,10°          | 0,032                   | 0,13       | 100       | 0,73                            |
| -9             |       | 0,184 | 0,067 | 0,195 | 19,94°          | 0,043                   | 0,22       | 100       | 0,98                            |
| -8             |       | 0,181 | 0,06  | 0,191 | 18,40°          | 0,086                   | 0,30       | 100       | 1,95                            |
| -2             |       | 0,13  | 0,042 | 0,137 | 17,75°          | 0,194                   | 1,47       | 100       | 4,39                            |
| -1             |       | 0,108 | 0,031 | 0,112 | 16,03°          | 0,540                   | 2,01       | 100       | 12,20                           |
| 0              |       | 0     | 0     | 0     | 0               | 0,000                   | 4,43       | 100       | 0                               |
| 1              |       | 0,131 | 0,018 | 0,132 | 7,67°           | 0,216                   | 1,58       | 100       | 4,88                            |
| 2              |       | 0,1   | 0,028 | 0,104 | 15,43°          | 0,605                   | 2,18       | 100       | 13,66                           |
| 3              |       | 0,095 | 0,025 | 0,098 | 14,66°          | 0,130                   | 2,31       | 100       | 2,93                            |
| 4              |       | 0,093 | 0,026 | 0,096 | 15,35°          | 0,043                   | 2,35       | 100       | 0,98                            |
| 5              |       | 0,097 | 0,026 | 0,101 | 14,70°          | 0,108                   | 2,25       | 100       | 2,44                            |
| 7              |       | 0,103 | 0,03  | 0,107 | 16,04°          | 0,065                   | 2,12       | 100       | 1,46                            |
| 10             |       | 0,107 | 0,032 | 0,112 | 16,56°          | 0,036                   | 2,01       | 100       | 0,81                            |
| 15             |       | 0,145 | 0,058 | 0,156 | 21,71°          | 0,190                   | 1,06       | 100       | 4,29                            |
| 20             |       | 0,172 | 0,066 | 0,184 | 21,11°          | 0,121                   | 0,45       | 100       | 2,73                            |
| 25             |       | 0,179 | 0,067 | 0,191 | 20,49°          | 0,030                   | 0,30       | 100       | 0,68                            |
| 30             |       | 0,183 | 0,069 | 0,196 | 20,77°          | 0,022                   | 0,19       | 100       | 0,49                            |
| 50             |       | 0,159 | 0,06  | 0,17  | 20,62°          | 0,028                   | 0,76       | 100       | 0,63                            |

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud 1000 A:

| Vzdálenost [m] | Pozn. | R [Ω] | X [Ω] | Z [Ω] | $\phi_{sl}$ [°] | $\underline{U}_k$ [V/m] | $\phi$ [V] | $U_E$ [%] | $\underline{U}_{k\%} * U_E$ [%] |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------------------------|------------|-----------|---------------------------------|
| -21            |       | 0,193 | 0,068 | 0,205 | 19,52°          |                         | 0          | 100       | -                               |
| -17            |       | 0,192 | 0,069 | 0,204 | 19,68°          | 0,3                     | 1          | 100       | 0,12                            |
| -15            |       | 0,19  | 0,069 | 0,202 | 19,84°          | 1,0                     | 3          | 100       | 0,49                            |
| -13            |       | 0,19  | 0,069 | 0,202 | 20,03°          | 0,0                     | 3          | 100       | 0,00                            |
| -11            |       | 0,188 | 0,065 | 0,199 | 19,10°          | 1,5                     | 6          | 100       | 0,73                            |
| -9             |       | 0,184 | 0,067 | 0,195 | 19,94°          | 2,0                     | 10         | 100       | 0,98                            |
| -8             |       | 0,181 | 0,06  | 0,191 | 18,40°          | 4,0                     | 14         | 100       | 1,95                            |
| -2             |       | 0,13  | 0,042 | 0,137 | 17,75°          | 9,0                     | 68         | 100       | 4,39                            |
| -1             |       | 0,108 | 0,031 | 0,112 | 16,03°          | 25,0                    | 93         | 100       | 12,20                           |
| 0              |       | 0     | 0     | 0     | 0               | 0,0                     | 205        | 100       | 0                               |
| 1              |       | 0,131 | 0,018 | 0,132 | 7,67°           | 10,0                    | 73         | 100       | 4,88                            |
| 2              |       | 0,1   | 0,028 | 0,104 | 15,43°          | 28,0                    | 101        | 100       | 13,66                           |
| 3              |       | 0,095 | 0,025 | 0,098 | 14,66°          | 6,0                     | 107        | 100       | 2,93                            |
| 4              |       | 0,093 | 0,026 | 0,096 | 15,35°          | 2,0                     | 109        | 100       | 0,98                            |
| 5              |       | 0,097 | 0,026 | 0,101 | 14,70°          | 5,0                     | 104        | 100       | 2,44                            |
| 7              |       | 0,103 | 0,03  | 0,107 | 16,04°          | 3,0                     | 98         | 100       | 1,46                            |
| 10             |       | 0,107 | 0,032 | 0,112 | 16,56°          | 1,7                     | 93         | 100       | 0,81                            |
| 15             |       | 0,145 | 0,058 | 0,156 | 21,71°          | 8,8                     | 49         | 100       | 4,29                            |
| 20             |       | 0,172 | 0,066 | 0,184 | 21,11°          | 5,6                     | 21         | 100       | 2,73                            |
| 25             |       | 0,179 | 0,067 | 0,191 | 20,49°          | 1,4                     | 14         | 100       | 0,68                            |
| 30             |       | 0,183 | 0,069 | 0,196 | 20,77°          | 1,0                     | 9          | 100       | 0,49                            |
| 50             |       | 0,159 | 0,06  | 0,17  | 20,62°          | 1,3                     | 35         | 100       | 0,63                            |

Grafická závislost zemní impedance na vzdálenosti od DTS

Graf závislosti krokového napětí na vzdálenosti od DTS -  $I_{RES} = 21,6$  AGraf závislosti krokového napětí na vzdálenosti od DTS -  $I_{RES} = 1000$  A

**PŘÍLOHA F: ČEBÍN, BETONOVÝ SLOUP S ÚSEKOVÝM ODPÍNAČEM**

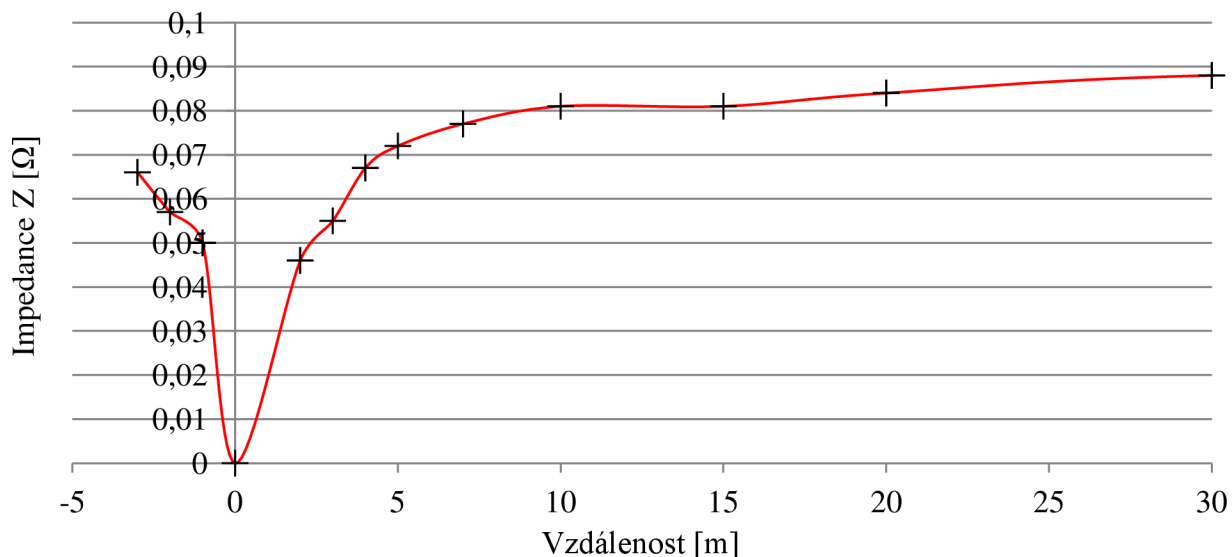
Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud 21,6 A:

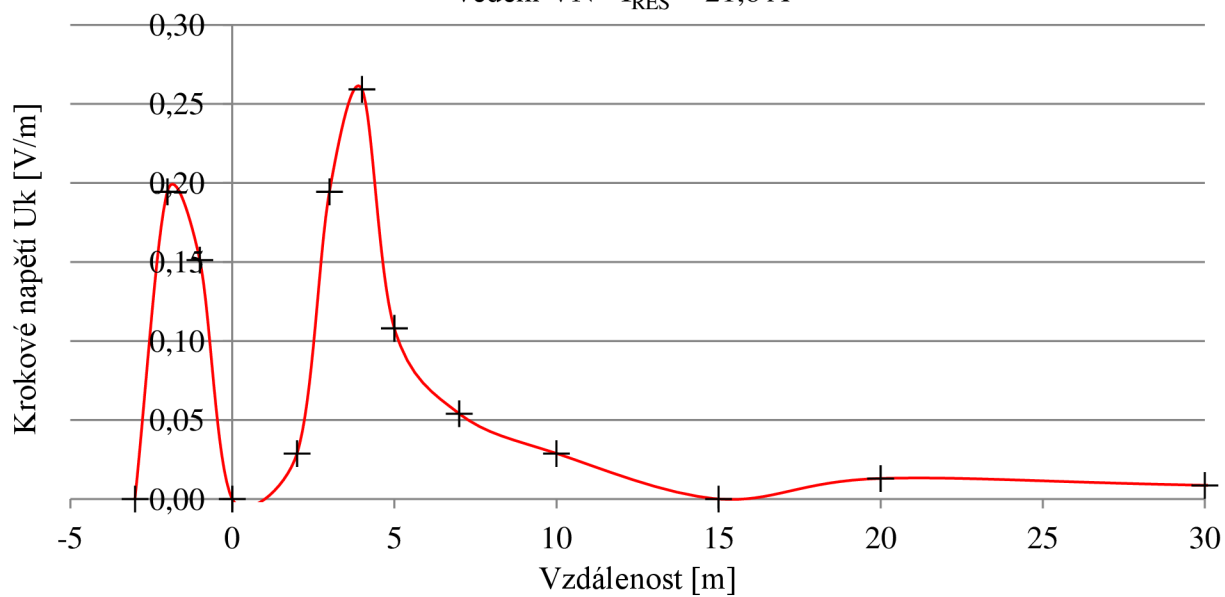
| Vzdálenost [m] | Pozn. | R [ $\Omega$ ] | X [ $\Omega$ ] | Z [ $\Omega$ ] | $\varphi_{el}$ [°] | $\underline{U}_k$ [V/m] | $\varphi$ [V] | $U_E$ [%] | $\underline{U}_{k\%} * U_E$ [%] |
|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------------|---------------|-----------|---------------------------------|
| -3             |       | 0,053          | 0,038          | 0,066          | 35,76°             | -                       | 0,4968        | 100       | -                               |
| -2             |       | 0,047          | 0,032          | 0,057          | 34,46°             | 0,194                   | 0,6912        | 100       | 10,11                           |
| -1             |       | 0,042          | 0,028          | 0,05           | 33,85°             | 0,151                   | 0,8424        | 100       | 7,87                            |
| 0              |       | 0              | 0              | 0              | 0                  | 0,000                   | 1,9224        | 100       | 0,00                            |
| 2              |       | 0,038          | 0,026          | 0,046          | 34,38°             | 0,029                   | 0,9288        | 100       | 1,50                            |
| 3              |       | 0,045          | 0,031          | 0,055          | 35,11°             | 0,194                   | 0,7344        | 100       | 10,11                           |
| 4              |       | 0,054          | 0,04           | 0,067          | 36,35°             | 0,259                   | 0,4752        | 100       | 13,48                           |
| 5              |       | 0,058          | 0,043          | 0,072          | 36,74°             | 0,108                   | 0,3672        | 100       | 5,62                            |
| 7              |       | 0,061          | 0,046          | 0,077          | 37,16°             | 0,054                   | 0,2592        | 100       | 2,81                            |
| 10             |       | 0,063          | 0,05           | 0,081          | 38,36°             | 0,029                   | 0,1728        | 100       | 1,50                            |
| 15             |       | 0,063          | 0,05           | 0,081          | 38,35°             | 0,000                   | 0,1728        | 100       | 0,00                            |
| 20             |       | 0,065          | 0,052          | 0,084          | 38,81°             | 0,013                   | 0,108         | 100       | 0,67                            |
| 30             |       | 0,067          | 0,057          | 0,088          | 40,66°             | 0,009                   | 0,0216        | 100       | 0,45                            |
| 50             |       | 0,067          | 0,058          | 0,089          | 40,76°             | 0,001                   | 0             | 100       | 0,06                            |

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zbytkový zemní proud 1000 A:

| Vzdálenost [m] | Pozn. | R [ $\Omega$ ] | X [ $\Omega$ ] | Z [ $\Omega$ ] | $\varphi_{el}$ [°] | $\underline{U}_k$ [V/m] | $\varphi$ [V] | $U_E$ [%] | $\underline{U}_{k\%} * U_E$ [%] |
|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------------|---------------|-----------|---------------------------------|
| -3             |       | 0,053          | 0,038          | 0,066          | 35,76°             | -                       | 23            | 100       | -                               |
| -2             |       | 0,047          | 0,032          | 0,057          | 34,46°             | 9,00                    | 32            | 100       | 10,11                           |
| -1             |       | 0,042          | 0,028          | 0,05           | 33,85°             | 7,00                    | 39            | 100       | 7,87                            |
| 0              |       | 0              | 0              | 0              | 0                  | 0,00                    | 89            | 100       | 0,00                            |
| 2              |       | 0,038          | 0,026          | 0,046          | 34,38°             | 1,33                    | 43            | 100       | 1,50                            |
| 3              |       | 0,045          | 0,031          | 0,055          | 35,11°             | 9,00                    | 34            | 100       | 10,11                           |
| 4              |       | 0,054          | 0,04           | 0,067          | 36,35°             | 12,00                   | 22            | 100       | 13,48                           |
| 5              |       | 0,058          | 0,043          | 0,072          | 36,74°             | 5,00                    | 17            | 100       | 5,62                            |
| 7              |       | 0,061          | 0,046          | 0,077          | 37,16°             | 2,50                    | 12            | 100       | 2,81                            |
| 10             |       | 0,063          | 0,05           | 0,081          | 38,36°             | 1,33                    | 8             | 100       | 1,50                            |
| 15             |       | 0,063          | 0,05           | 0,081          | 38,35°             | 0,00                    | 8             | 100       | 0,00                            |
| 20             |       | 0,065          | 0,052          | 0,084          | 38,81°             | 0,60                    | 5             | 100       | 0,67                            |
| 30             |       | 0,067          | 0,057          | 0,088          | 40,66°             | 0,40                    | 1             | 100       | 0,45                            |
| 50             |       | 0,067          | 0,058          | 0,089          | 40,76°             | 0,05                    | 0             | 100       | 0,06                            |

Grafická závislost zemní impedance na vzdálenosti od betonového sloupu vedení VN



Graf závislosti krokového napětí na vzdálenosti od betonového sloupu  
vedení VN -  $I_{RES} = 21,6$  AGraf závislosti krokového napětí na vzdálenosti od betonového sloupu  
vedení VN -  $I_{RES} = 1000$  A