



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍCH STAVEB**

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

**VYHODNOCENÍ ŽIVOTNOSTI SOND METODY EIS  
INSTALOVANÝCH V ZEMNÍCH HRÁZÍCH**

EVALUATIONS OF THE DURABILITY EIS PROBES INSTALLED IN AN EARTH DAMS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Eva Koudelková**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. JANA PAŘÍLKOVÁ, CSc.**

**BRNO 2017**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Studijní program        | B3607 Stavební inženýrství                            |
| Typ studijního programu | Bakalářský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor           | 3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby            |
| Pracoviště              | Ústav vodních staveb                                  |

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Student                 | Eva Koudelková   |
| Název                   | Vyhodnocení životnosti sond metody EIS instalovaných v zemních hrázích |
| Vedoucí práce           | doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.   |
| Datum zadání            | 30. 11. 2016   |
| Datum odevzdání         | 26. 5. 2017  |
| V Brně dne 30. 11. 2016 |  |

---

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,  
MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **PODKLADY A LITERATURA**

ČSN 75 2410. (2011). Malé vodní nádrže. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví.

LUKÁČ, M., BEDNÁROVÁ, E. (2006). Navrhovanie a prevádzka vodných staveb. Sypané priehrady a hrádze. Jaga 2006, ISBN80-8076-031-4, 183 s.

MACHÁČEK, J. (2001). Aplikace geofyzikálních metod v geotechnickém inženýrství a souvisejících oborech. In: Geotechnické inženýrství. Praha ČVUT, Fak. stavební, s. 32-44. ISBN 80-01-02354-0.

MAREŠ, S. (1979). Úvod do užité geofyziky. 1. vyd. Praha: SNTL, 1979, 590 s.

PAŘÍLKOVÁ, J., GARDAVSKÁ, Z., FEJFAROVÁ, M., ZACHOVAL, Z., VESELÝ, J.,

PAVLÍK, I. (2011). Využití metody EIS při monitorování vybraných procesů v půdě. Příspěvek na konferenci Influence of Anthropogenic Activities on Water Regime of Lowland Territory Physics of Soil Water. ISBN 978-80-89139-23-1. VHZ ÚH SAV. Michalovce. 2011.

SMITH, N. (1971). A History of Dams. Richard Clay Ltd.

ŠÁLEK, J. (2001). Rybníky a účelové nádrže. Vyd. 1. Brno: VUTIUM. 2001. 125 s. ISBN 80-214-1806-0.

ŠIMEK, J., JESENÁK, J., EICHLER, J., VANÍČEK, I. (1990). Mechanika zemin. SNTL Praha.

TAKAHASI, Y. (2003). Water Storage, Transport and Distribution. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).

VOGEL, A., COURIVAUD, J. R., JARECKA, K. (2011). Internal Erosion Data Base IEDB – An international web based data base on dam failure cases. Konference Internal Erosion in Embankment Dams and their Foundations 2011. CERM. Brno, 2011. ISBN 978-80-7204-736-9.

ŽATECKÝ, S. (2013). Poruchy hrází malých vodních nádrží. Příspěvek na konferenci Vodní nádrže 2013. Brno.

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

Rešerše podkladů k problematice monitorování zemních přehradních hrází se zaměřením na vodní dílo Bezedník III nacházející se v katastru obce Kobeřice.

Rešerše podkladů o geofyzikálních metodách se zaměřením na metodu elektrické impedanční spektrometrie.

Koncepce a realizace měření na lokalitě za účelem porovnání charakteristického průběh přenášeného elektrického signálu (jedná se o nejdéle monitorovaný objekt metodou elektrické impedanční spektrometrie).

Dokumentace a vyhodnocení měření.

Předpokládaný rozsah práce 50 až 80 stran textu včetně grafů, tabulek a obrázků.

## **STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.

Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá zhodnocením životnosti sond metody elektrické impedanční spektrometrie (EIS) z hlediska přenosu elektrického signálu pro vybranou zemní hráz malé vodní nádrže. Byla vybrána hráz nádrže Bezedník III, která je metodou EIS monitorována nejdéle. Měření probíhalo přístroji Z-metr II v letech 2006–2012 a Z-metr IV v roce 2016. Naměřená data jsou zpracována a posouzena v této bakalářské práci.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Vodní nádrž, zemní hráz, voda, elektrická impedanční spektrometrie, rezistance, sonda

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the assesment of the durability of electrical impedance spectrometry method (EIS) probes installed in earth dam. The chosen earth dam is called Bezedník III and the main reason for choosing this particular dam was the longest period of monitoring this dam. The measuring was carried out by the Z-meter II device during the years 2006–2012 and Z-meter IV device in the year 2016. The recorded data are processed and assessed in this bachelor's thesis.

## **KEYWORDS**

Water reservoir, earth dam, water, electrical impedance spectrometry, resistance, probe

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Eva Koudelková *Vyhodnocení životnosti sond metody EIS instalovaných v zemních hrázích*. Brno, 2017. 65 s., 8 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2017

---

Eva Koudelková  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji své vedoucí bakalářské práce paní doc. Ing. Janě Pařílkové za odborné vedení, cenné rady při zpracování bakalářské práce a poskytnutí potřebných podkladů k jejímu vypracování. Dále děkuji panu Luboši Pařílkovi za pomoc při realizaci propojovací kabeláže, která mi umožnila provést měření nejnovější generací přístroje Z-metr IV.

Děkuji také své rodině a nejbližším za podporu a stabilní zázemí jak při studiu tak během psaní bakalářské práce.

# OBSAH

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD .....</b>   | <b>9</b>  |
| 1.1      | Cíl práce.....  | 10        |
| 1.2      | Metoda řešení.....  | 10        |
| <b>2</b> | <b>MALÉ VODNÍ NÁDRŽE .....</b>                                | <b>12</b> |
| 2.1      | Rozdělení malých vodních nádrží.....                          | 12        |
| 2.1.1    | Rozdělení malých vodních nádrží podle vzniku a umístění ..... | 12        |
| 2.1.2    | Rozdělení dle půdorysného tvaru osy hráze .....               | 14        |
| 2.1.3    | Rozdělení dle účelu .....                                     | 14        |
| 2.2      | Zemní hráze malých vodních nádrží.....                        | 15        |
| 2.2.1    | Zemní hráze homogenní .....                                   | 16        |
| 2.2.2    | Zemní hráze nehomogenní .....                                 | 17        |
| 2.3      | Ztráty vody v nádržích.....                                   | 17        |
| 2.3.1    | Ztráta výparem.....   | 17        |
| 2.3.2    | Ztráta infiltrací.....  | 18        |
| 2.3.3    | Ztráta průsakem hrází .....                                   | 18        |
| 2.3.4    | Ztráty provozní .....   | 18        |
| 2.4      | Bezpečnost vodního díla .....                                 | 18        |
| 2.5      | Poruchy zemních hrází malých vodních nádrží.....              | 19        |
| <b>3</b> | <b>MONITOROVÁNÍ ZEMNÍCH HRÁZÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ .....</b> | <b>20</b> |
| 3.1      | Geofyzikální metody .....                                     | 20        |
| <b>4</b> | <b>METODA ELEKTRICKÉ IMPEDANČNÍ SPEKTROMETRIE .....</b>       | <b>22</b> |
| 4.1      | Princip metody .....  | 22        |
| 4.2      | Princip měření.....   | 23        |
| 4.3      | Měřicí aparatura.....   | 24        |
| 4.3.1    | Z-metr IV.....  | 24        |
| 4.3.2    | Z-metr II .....   | 27        |
| 4.3.3    | Konstrukční řešení měřicích sond .....                        | 27        |
| <b>5</b> | <b>POPIS ŘEŠENÉ LOKALITY .....</b>                            | <b>32</b> |
| 5.1      | Situace zájmového území .....                                 | 32        |
| 5.2      | Popis nádrže Bezedník III.....                                | 34        |



|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>5.3</b> | <b>Monitorování hráze metodou EIS .....</b> | <b>39</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Situace měřicích sond .....</b>          | <b>40</b> |
| <b>5.5</b> | <b>Průběh a zpracování měření.....</b>      | <b>42</b> |
| <b>6</b>   | <b>VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....</b>                 | <b>45</b> |
| <b>7</b>   | <b>ZÁVĚR.....</b>                           | <b>55</b> |
|            | <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>         | <b>56</b> |
|            | <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>       | <b>59</b> |
|            | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ .....</b>       | <b>60</b> |
|            | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                 | <b>61</b> |
|            | <b>SEZNAM TABULEK.....</b>                  | <b>63</b> |
|            | <b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>                  | <b>64</b> |

# 1 ÚVOD

Voda je jedním z životodárných elementů, bez kterého bychom tu jako lidstvo zřejmě nebyli. Už od počátku existence lidstva zasahuje prakticky do všech činností, které jsme se učili a stále se učíme vykonávat. Jednou z nejnáročnějších a současně nejdůležitějších činností je umění s vodou zacházet. Znat její chování a výskyt, uchovávat ji a umět si jí vážit.

Snahy osvojit si způsoby a možnosti nakládání s vodou sahají hluboko do minulosti. Výstavba vodních nádrží (VN) za účelem zadržení a uchování vody pro zavlažování je známa už od starověku (Říha, 2006). Později se účel VN rozšířil o funkce vodárenské, chovné či estetické.

Do období středověku lze datovat počátek uvedeného oboru na území současné České republiky. První písemné záznamy o zakládání rybníků jsou z 11. a 12. století [2]. Od té doby došlo k velkému rozvoji rybníkářství a ve 13. století už byly rybníky běžným příslušenstvím feudálních panství [3]. Ve 14. století se hospodářské kroky Karla IV. významně podílely na zdokonalování stavební techniky. I přesto ale ve 14. století rybníkářská činnost stále ještě nezasáhla do oblastí dnes nejnámějších svými rybníky – Třeboňsko, Budějovicko. Zde došlo k největšímu rozvoji ve druhé polovině 15. století, a to především zásluhou Štěpánka Netolického a poté Jakuba Krčina z Jelčan a Sedlčan.

Ke stagnaci výstavby rybníků došlo koncem 17. století (Šálek, 2001). Výstavba byla obnovena až na konci 19. století, a to za účelem organizovaného vědeckého chovu ryb. Počátkem 20. století byla rekonstruována řada významných třeboňských rybníků. V současnosti se budují malé vodní nádrže (MVN) plnicí účelové funkce, působí jako krajinnotvorné prvky nebo biocentra (Vrána, Beran, 2008).

V České republice existuje přibližně 20 000 MVN, z nichž velkou část tvoří historické rybníky [11]. Nejvíce jich lze nalézt v jižních Čechách, ale také ve středních a východních Čechách nebo v některých částech Moravy.

Vzhledem k malé hloubce, která je optimální pro chov ryb a také většímu převýšení koruny hráze nad provozní hladinu, hrají rybníky často velkou roli při zachycování velkých objemů vody při povodňových událostech. Retenční prostory, které mohou dokonce několikrát převýšit množství vody při provozní hladině, se tak výrazně projeví zejména při povodních v červenci 1997 a v srpnu 2002. Při tom v roce 1997 došlo k protržení hrází MVN jen ojedinele, v roce 2002 však došlo k protržení 23 rybníčních hrází a dalších 83 bylo výrazně poškozeno. U MVN vybudovaných ve druhé polovině 20. století, které jsou ve vlastnictví či správě podniků povodí, k významným poškozením nedošlo (Hladný, 2005). Lze tedy tvrdit, že i přes nastalé problémy jsou MVN důležitými vodohospodářskými objekty.

Běžně dochází k protržení jedné až pěti zemních hrází ročně, a to následkem lokálních povodní způsobených krátkodobými přivalovými dešti. Je tedy nutné, aby zemní hráze MVN byly z technicko–bezpečnostního hlediska v dobrém stavu. Při sledování stavu plní kromě vizuální kontroly důležitou funkci také nepřímé monitorovací metody, umožňující včasnou identifikaci nežádoucích jevů, a tím i získání času pro případné odstranění problémů. Jednou z těchto metod je také elektrická impedanční spektrometrie (EIS).

## 1.1 CÍL PRÁCE

Předmětem bakalářské práce s názvem „Vyhodnocení životnosti sond metody EIS instalovaných v zemních hrázích“ je provedení zhodnocení životnosti sond metody EIS z hlediska přenosu elektrického signálu pro vybranou zemní hráz malé vodní nádrže. V rámci řešení mezinárodních projektů v programu EUREKA byly sondy metody EIS instalovány do zemní hráze MVN Kobeřice (monitorování probíhalo v letech 2006 – 2012), Jevíčko (monitorování probíhalo v letech 2008 – 2012) a Hornice (monitorování probíhá od roku 2014). Vodní dílo (VD) v lokalitě Kobeřice je ve správě státního podniku Lesy České republiky, s. p., závod Bučovice, VD Jevíčko je ve správě podnikatelského subjektu Český rybářský svaz, z. s., místní organizace Jevíčko a VD Hornice je ve správě státního podniku Povodí Moravy.

Cílem mojí bakalářské práce je na základě měřených dat posoudit životnost měřicích sond EIS. Pro posouzení a splnění cíle bakalářské práce jsem si zvolila lokalitu Kobeřice, kde se nachází MVN Bezedník III. Důvodem pro volbu této MVN byla skutečnost, že se jedná o nejdéle sledovanou zemní hráz MVN metodou EIS.

Vlastníkem nádrže jsou Lesy České republiky, s. p. Do jednání jsem vstoupila s Ing. Otakarem Pavlíkem z Lesní správy Bučovice. Nádrž slouží především k zadržení vody v krajině z důvodů estetických a pro lesní zvěř. Z hlediska vodohospodářského není významnou.

## 1.2 METODA ŘEŠENÍ

Pro měření jsem využila měřicí přístroj Z-metr IV, který byl realizovaný řešením mezinárodního projektu E!7614 v programu aplikovaného výzkumu EUREKA a využívá měřicí metodu EIS. Jedná se o nový přístroj, který byl navržen, realizován a testován v Laboratoři vodohospodářského výzkumu (LVV) Ústavu vodních staveb (ÚVST) Fakulty stavební jak při měřeních na fyzikálních modelech, tak i v reálných podmínkách. Přístroj tvoří základní článek měřicí aparatury sestávající dále z měřicích sond, vodičů, řídicí konzoly a uživatelského programu.

Pro splnění vytyčeného cíle jsem si vymezila provedení následujících činností

- v rámci rešeršní činnosti prostudovat problematiku zemních hrází MVN,
- provést rešerši aplikace geofyzikálních metod, speciálně metod geoelektrických při sledování vlastností zemin,
- seznámit se s principy měření stejnosměrnými a střídavými elektrickými měřicími metodami s ohledem na určení elektrické impedance,
- seznámit se s dosavadními poznatky a znalostmi v oborech, kde se s uvedenou nepřímou měřicí metodou pracuje vzhledem k aplikaci ve vodním hospodářství,
- na základě provedené rešerše v práci řešit problematiku měření a monitorování elektrických charakteristik zemních hrází MVN Bezedník III v režimu provozu vodního díla,

- z metrologického hlediska definovat zásady pro využití měřicí aparatury a doložit je provedenými experimenty,
- specifikovat zemní hráz sledované lokality, realizovat monitorování aparaturou s přístrojem Z-metr IV a prostřednictvím měřených elektrických veličin vyhodnotit zjištění z roku 2016 v návaznosti na datovou řadu monitorovanou v letech 2006 až 2012,
- s ohledem na požadavky aplikovatelnosti a citlivosti realizované měřicí aparatury, přesnosti, reprodukovatelnosti a opakovatelnosti měření doporučit pravidla základní koncepce sledování zemních hrází malých vodních nádrží nepřímou měřicí metodou EIS,
- posoudit vhodnost použití speciální měřicí aparatury s přístrojem Z-metr IV, vzhledem k jeho dalšímu vývoji.

## 2 MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

Vodní nádrž lze obecně definovat jako omezený prostor k hromadění vody. VN jsou stavěny za účelem plnění jedné nebo více funkcí. Slouží např. k zadržení vody pro její pozdější využití, k zachycení povodňových průtoků, pro ochranu ploch pod nádrží, při protipožární prevenci atd.

Malá vodní nádrž je typ vodní nádrže, který je popsán normou ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže jako objekt, u kterého jsou splněny následující podmínky (Doležal, 2007):

- Maximální objem nádrže po úroveň ovladatelného prostoru nepřekračuje 2 mil. m<sup>3</sup>.
- Při maximální hladině nepřesahuje hloubka vody v nejnižším místě dna nádrže 9 m. Při tom se neuvažují lokální větší hloubky v místě původního koryta toku.
- Stoletý průtok v profilu hráze je nejvýše 60 m<sup>3</sup>/s.

### 2.1 ROZDĚLENÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Na MVN lze pohlížet z různých hledisek, jimž zpravidla odpovídají různé způsoby jejich dělení. V následujících kapitolách jsou stručně zmíněny jen 3 základní.

#### 2.1.1 Rozdělení malých vodních nádrží podle vzniku a umístění

Nádrž může být vytvořena přehrazením údolí, ohrázováním části území nebo ji může tvořit přírodní nebo umělá prohlubeň v zemském povrchu (Starý, 2006). Nádrže se podle vzniku a umístění dělí na přírodní a umělé:

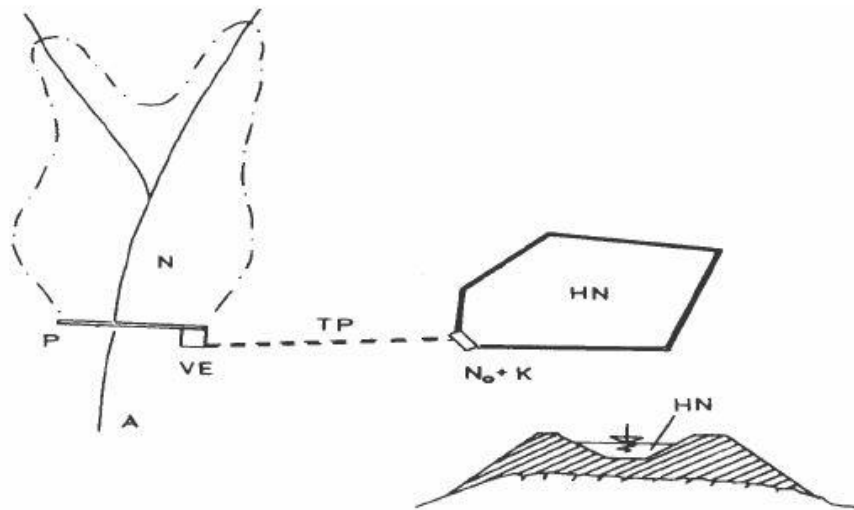
- Přírodní nádrž je prohlubeň nebo dutina vzniklá v přírodě bez zásahu člověka. Původ takto vzniklé nádrže může být tektonický, vulkanický, ledovcový apod.
- Umělá nádrž vznikla zásahem člověka do přírodního prostředí.

#### *Rozdělení umělých nádrží*

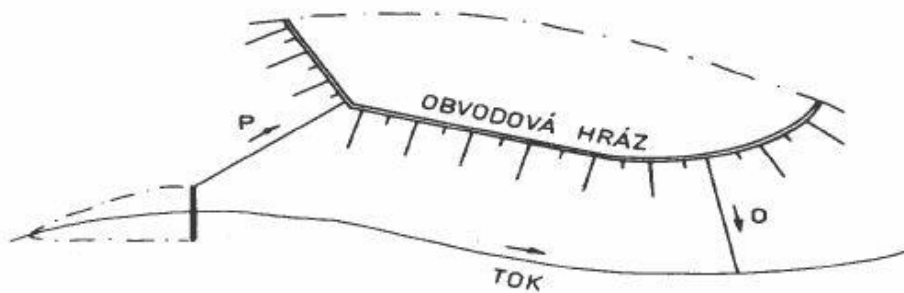
Umělé vodní nádrže jsou neprotékané a protékané.

a) Neprotékané nádrže se budují vyhloubením prostoru nádrže v zemi, obehnáním části území hrází nebo kombinací obou způsobů.

- Nádrže vyhloubené vznikají vyhloubením části terénu a často také navýšením materiálu z výkopu. Uvedený proces je velmi nákladný a postupuje se takto jen v terénu, kde není možnost zbudovat nádrž jednodušším způsobem. Často je tento typ nádrží realizován v případě horních nádrží u přečerpávacích vodních elektráren (Obr. 2.1).
- Boční nádrž vzniká uzavřením části údolí vedle toku obvodovou hrází (Obr. 2.2). Protože hráz nepřekračuje údolí, není přehradou. Z důvodu větší délky hráze je ekonomicky výhodná pouze tehdy, zabraňuje-li zatopení důležitých objektů. V bočních nádržích je možné udržovat kvalitu vody na velmi dobré úrovni. Jako boční nádrže se realizují neprotékané rybníky či rekreační nádrže. Zvláštním případem je suchá nádrž – poldr.



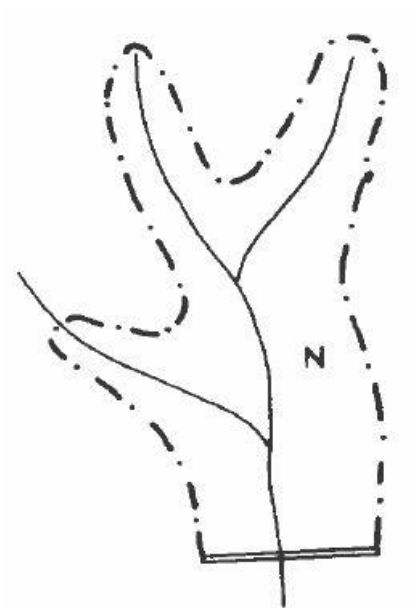
Obr. 2.1 Vrcholová nádrž (Starý, 2006)



Obr. 2.2 Boční nádrž (Starý, 2006)

b) Protékané nádrže jsou údolní nádrže, které byly vytvořeny přehradou.

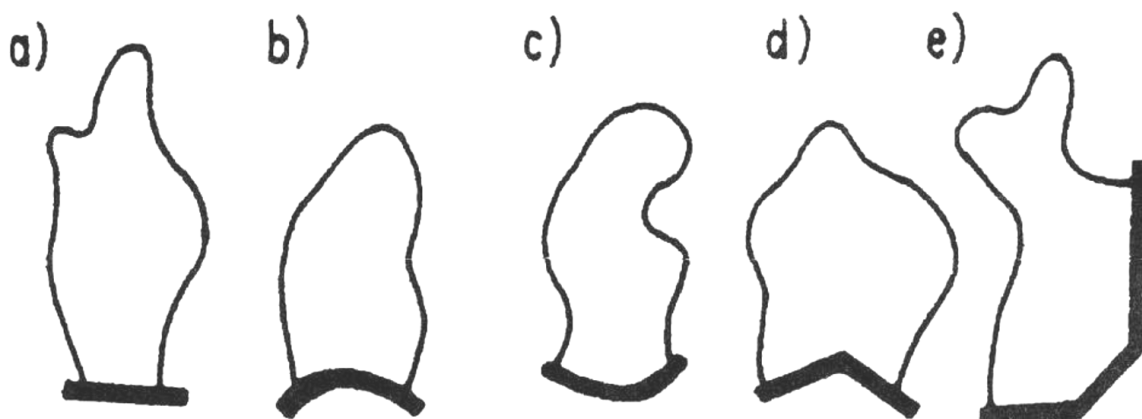
- Údolní nádrž na toku vznikne přehrazením hlavního toku protékajícího údolím (Obr. 2.3). Nádrž je tvořena dnem a boky údolí s návodním lícem přehrady až po kótu vzduť. Přítok do nádrže je určen odtokem z povodí až k přehradnímu profilu.
- Postranní nádrž je nádrž vzniklá na přítoku hlavního toku. Její konstrukce je vhodná, jsou-li na hlavním toku nepříznivé podmínky pro realizaci nádrže (morfologie údolí, důležité objekty apod.) a na přítoku podmínky vhodné. Přítok vody do nádrže, reprezentovaný přirozeným hydrologickým potenciálem odtoku vody z povodí, většinou nestačí pokrýt požadavky na přítok vody a zbývající část přítoku je pokryta převedením vody z hlavního toku. V tom případě se rozlišuje převod vody samospádem a čerpáním.



Obr. 2.3 Údolní nádrž (Starý, 2006)

### 2.1.2 Rozdělení dle půdorysného tvaru osy hráze

Podle normy ČSN 75 2410 se hráze dělí dle půdorysného tvaru osy hráze na přímé, zakřivené a lomené (Obr. 2.4).



Obr. 2.4 Rozdělení podle půdorysného tvaru osy hráze (ČSN 75 2410)

a) přímá, b) a c) zakřivené, d) a e) lomené

### 2.1.3 Rozdělení dle účelu

Podle účelu norma ČSN 75 2410 dělí MVN na

- zásobní nádrže (vodárenské, závlahové, energetické) – slouží k akumulaci podílu vody v době jejího nadbytku s možností využívání v době nedostatku;
- ochranné (retenční) nádrže (poldry, protierozní, vsakovací) – slouží k zachycení povodňových odtoků, transformaci povodňové vlny;

- nádrže upravující vlastnosti vody (usazovací, chladičí) – jsou určené k řízené úpravě vody nebo ke změně jejích fyzikálních, chemických a biologických vlastností. Využívají především přírodní způsoby úpravy vody a samočistící procesy;
- rybochovné nádrže (třecí rybníky, hlavní rybníky) – jsou určené pro chov ryb;
- hospodářské nádrže (požární, pro chov drůbeže) – jsou speciální nádrže sloužící k plnění konkrétních hospodářských funkcí;
- speciální účelové nádrže (vyrovnávací, přečerpávací) – jsou určené pro konkrétní provozní potřeby a účely;
- asanační nádrže (záchytné, rekultivační, vyhnívací) – slouží k asanaci území narušeného lidskou činností, k zachycení a uskladnění látek poškozujících životní prostředí;
- rekreační nádrže (přírodní koupaliště) – jsou určené k odpočinku, plavání a provozování vodních sportů;
- nádrže krajinytvorné a v obytné zástavbě (hydromeliorační, okrasné) – zlepšují ekologické funkce a estetický účinek krajiny, sídliště, architektury, parků.

## 2.2 ZEMNÍ HRÁZE MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Hráze MVN jsou ve většině případů zemní (Jůva a kol., 1980). Velká výhodnost zemních hrází spočívá v možnosti využití místního zemního materiálu pro jejich konstrukci, ve snadném přizpůsobení se základovým podmínkám a v možnosti využití vysoké mechanizace při provádění.

Vhodný materiál pro stavbu hráze je určen na základě výsledků inženýrsko-geologického průzkumu (IGP), jehož cílem je určit v blízkosti plánované nádrže naleziště zemin vhodných pro její konstrukci. Dalšími důležitými výstupy jsou fyzikálně-mechanické vlastnosti, stanovení objemů zeminy potřebné pro budování hráze, těžitelnost zeminy a způsob jejího zpracování a další parametry specifické pro konkrétní lokalitu a navrhovanou zemní hráz.

Zemní hráze mají zpravidla v příčném profilu tvar nepravidelného lichoběžníku se sklony návodního líce 1:x a vzdušního líce 1:y. Sklony svahů se volí podle druhu násypové zeminy a podle výšky hráze (Tab. 2.1). Výška hráze je určena výškou požadovaného vzduť vody v nádrži, zvětšená o 0,6 m – 1,1 m nad nejvyšší hladinu vody v nádrži.

Opevnění návodního líce hráze se provádí po celé délce svahu nebo alespoň 0,8 m od koruny hráze po hladinu stálého nadržení. Opevnění chrání svah před účinky kolísající úrovně hladiny, vlnobití a účinky ledu. Opevnění je třeba zavázat do svahů údolí. Většinou je tvořeno kamennou nebo betonovou dlažbou nebo pohozelem z lomového kamene, v méně namáhaných úsecích stačí opevnění štěrkovým pohozelem nebo travním porostem. Je nutné, aby bylo opevnění u paty hráze opřeno o patku, která se buduje z kamenné rovnaniny nebo betonového zdiva.

Opevnění vzdušního líce se navrhuje za účelem ochrany svahu hráze před povětrnostními vlivy. Opevnění se zpravidla provádí drnem nebo travním porostem, který je poté třeba pravidelně udržovat sečením.

Zemní hráze lze podle použitého materiálu navrhnout jako homogenní nebo nehomogenní.



Tab. 2.1 Orientační sklony svahů zemních hrází (ČSN 75 2410)

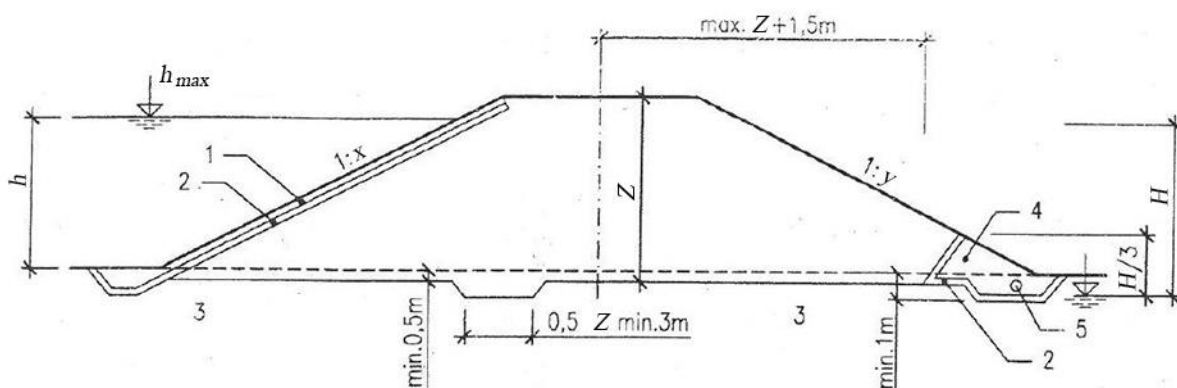
| Těsnicí část hráze (jádro) leží v zóně (obrázek 5) | Stabilizační část hráze leží v zóně (obrázek 5) | Zařazení zemín                 |                         | Svahy                           |                                  |
|--|---|--------------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|  |   | Těsnicí část hráze (jádro)     | Stabilizační část hráze | návodní 1 : x <sup>4)</sup>     | vzdušný 1 : y                    |
| A  | DB, CE  | GM, GC, SM                     | lom. kámen              | 1 : 1,75                        | 1 : 1,5                          |
|  |   | SC, CG, MG                     | GW, SW                  | 1 : 2,8 <sup>1)</sup>           | 1 : 1,75                         |
|  |   | ML-MI, CL-CI                   | GP, SP                  | 1 : 3 <sup>1)</sup>             | 1 : 1,75                         |
| AB   | D, CE   | GM, SM                         | lom. kámen              | 1 : 3                           | 1 : 1,5                          |
|  |   | GC, SC, MG, CG, MS, CS         | GW, SW                  | 1 : 3,2                         | 1 : 1,75                         |
|  |   | ML-MI, CL-CI                   | GP, SP                  | 1 : 3,4                         | 1 : 1,75                         |
| CAB  | D, E  | GM, GC, SM, SC, MG, CG, MS, CS | lom. kámen, GW, GP      | jako při poloze jádra v zóně AB | 1 : 2,0 <sup>2)</sup>            |
|  |   | ML-MI, CL-CI                   | SW, SP                  |                                 | 1 : 2,2 <sup>3)</sup>            |
| CABD   | E   |                                |                         | jako u homogenních hrází        | jako při poloze jádra v zóně CAB |
| Homogenní hráze <sup>5)</sup>                      |   | GM, SM                         |                         | 1 : 3                           | 1 : 2                            |
|  |   | GC, SC                         |                         | 1 : 3,4                         | 1 : 2                            |
|  |   | MG, CG, MS, CS                 |                         | 1 : 3,3                         | 1 : 2                            |
|  |   | ML-MI, CL-CI                   |                         | 1 : 3,7                         | 1 : 2,2                          |

1) U velmi propustného materiálu, popř. se zřetelem k rychlosti poklesu hladiny, je možné zvětšit až na 1 : 2,25.  
 2) Je-li v podloží hráze materiál o smykové pevnosti min.  $\varphi_{br} = 37^\circ$ , je možné zvětšit na 1 : 1,8.  
 3) Je-li v podloží hráze materiál o smykové pevnosti min.  $\varphi_{br} = 37^\circ$ , je možné zvětšit na 1 : 2.  
 4) Uvedený sklon pro návodní svah se použije pod nejvyšší dlouhodobě udržovanou hladinou, nad touto hladinou se může svah provést se sklonem 1 : (x - 0,5).  
 5) U hrází do výšky 4 m se může sklon návodního svahu zvětšit na 1 : (x - 0,5).

## 2.2.1 Zemní hráze homogenní

Těleso zemní hráze MVN je celé tvořeno jedním materiálem, dostatečně nepropustným a konstrukčně stálým (Obr. 2.5). Nejvhodnějším materiálem jsou písčité hlíny až hlinitojílovité písky. Nevhodné jsou jílovité zeminy, které jsou namrzavé a objemově nestálé.

Homogenní hráze jsou konstrukčně jednoduché a výhodné, pokud je v blízkosti lokality naleziště vhodné zeminy. Podle normy ČSN 75 2410 je vhodné je navrhovat při výšce do 6,0 m.



Obr. 2.5 Schéma homogenní hráze (ČSN 75 2410)

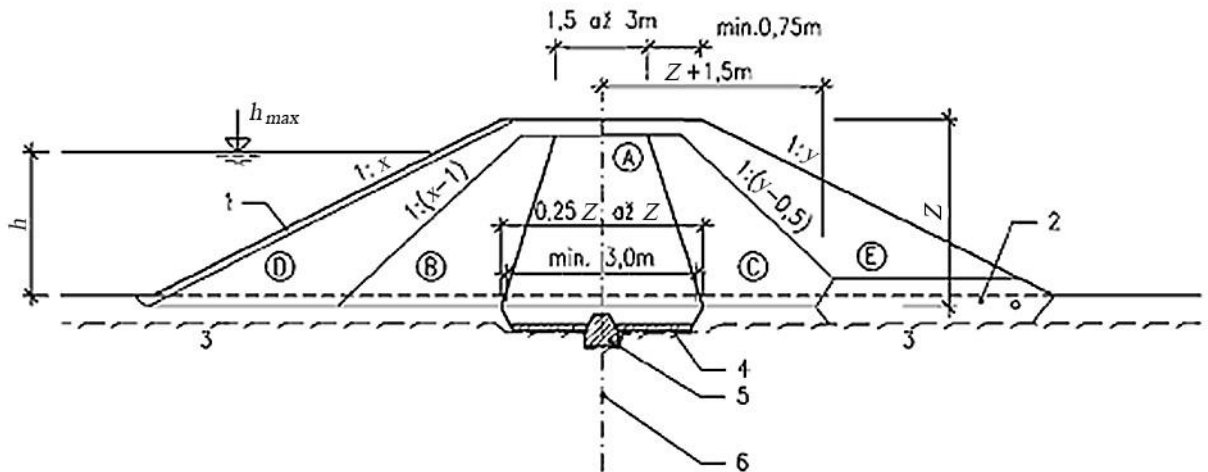
1 – opevnění, 2 – filtr, 3 – nepropustné podloží, 4 – patní dren, 5 – drenážní potrubí

## 2.2.2 Zemní hráze nehomogenní

Nehomogenní zemní hráz MVN je tvořena těsnicím jádrem (materiál s nízkou propustností), přechodovými stabilizačními částmi a propustnou stabilizační částí (Obr. 2.6) (ČSN 75 2410). Podle druhu použitého materiálu a jeho dostupnosti je možné některé zóny vypustit.

Podle druhu a polohy těsnicího prvku v tělese hráze jsou hráze s těsněním

- středním (jádrovým) a
- návodním.



Obr. 2.6 Schéma nehomogenní hráze se středním těsněním (ČSN 75 2410)

1 – opevnění; 2 – drenážní prvek; 3 – skalní podloží; 4 – betonová vyrovnávací vrstva; 5 – betonová vazující ostruha; 6 – těsnicí prvek v podloží

A – těsnicí jádro; B, C – přechodové stabilizační části; D, E – propustná stabilizační část

## 2.3 ZTRÁTY VODY V NÁDRŽÍCH

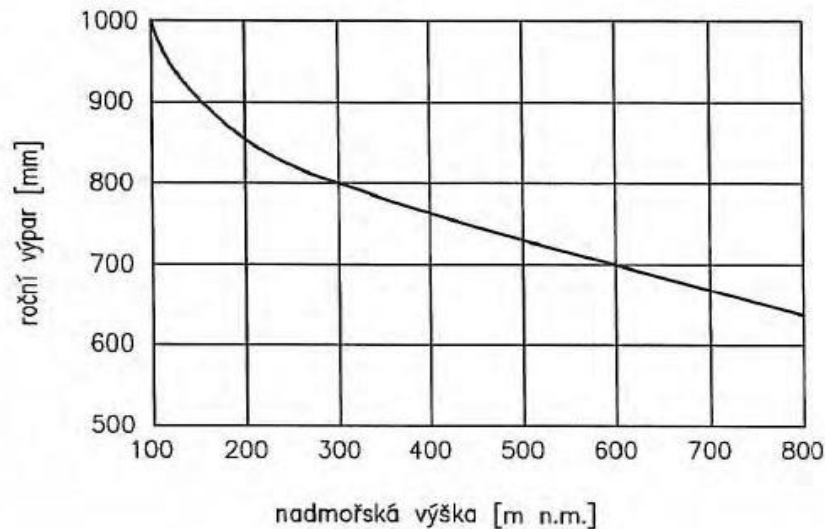
V případě MVN jsou ztráty vody tvořeny především výparem z vodní hladiny a vodních rostlin, infiltrací do dna nádrže, průsakem zemní hrází a podloží hráze, netěsností funkčních objektů. Mezi další ztráty patří dočasné ztráty vody zamrznutím a také ztráty provozní.

### 2.3.1 Ztráta výparem

Ztráta výparem z volné hladiny nádrže se stanovuje podle nomogramu (Obr. 2.7), kde je denní výpar v určitém období funkcí průměrné teploty vzduchu a průměrného tlaku vodních par (Doležal, 2007). Celková ztráta za delší období se poté určí jako součet ztrát za dílčí období (Tab. 2.2). Ztráta výparem se neuvažuje, je-li teplota vzduchu záporná.

Tab. 2.2 Přibližné rozdělení výparu na jednotlivé měsíce v roce (ČSN 75 2410)

| Měsíc                       | 1 | 2 | 3 | 4 | 5  | 6    | 7  | 8  | 9    | 10 | 11 | 12 |
|-----------------------------|---|---|---|---|----|------|----|----|------|----|----|----|
| Procento ročního výparu [%] | 2 | 2 | 4 | 8 | 11 | 14,5 | 18 | 17 | 11,5 | 7  | 4  | 3  |



Obr. 2.7 Graf pro určení orientačních hodnot výparu z volné hladiny (ČSN 75 2410)

### 2.3.2 Ztráta infiltrací

Ztráta vody infiltrací do dna je uvažována při prvním napouštění nádrže a při opětovném napouštění, kdy byla nádrž delší dobu vyprázdněná. Pokud dojde po vypuštění ihned k opětovnému napuštění, ztráta infiltrací se neuvažuje. Numerická hodnota ztráty vody infiltrací do dna závisí na ploše dna, morfologii zatopené plochy, hloubce vysušení půdního profilu dna, materiálu dna a na geologických poměrech podloží.

### 2.3.3 Ztráta průsakem hrází

Pro určení ztráty průsakem hrází a jejím podložím se obvykle používají moderní metody výpočtu. Pro jednodušší případy lze využít zjednodušené postupy stanovení specifického průsaku. V tomto případě je nutné rozlišit čtyři základní typy úloh:

- Homogenní hráz na nepropustném podloží.
- Nehomogenní hráz na nepropustném podloží.
- Homogenní hráz na propustném podloží.
- Nehomogenní hráz na propustném podloží.

### 2.3.4 Ztráty provozní

Mezi provozní ztráty patří například ztráta způsobená proplachováním u rybochovných nádrží. Pro tyto nádrže je třeba zajistit stálý přítok vody 0,5 l/s/ha – 1,0 l/s/ha, pro intenzivní chov ryb se hodnoty zvyšují až na 5,0 l/s/ha.

Jako další provozní ztráty je možné uvažovat ztráty způsobené netěsností provozních uzávěrů, které udává výrobce zařízení.

## 2.4 BEZPEČNOST VODNÍHO DÍLA

Vodní díla zadržující vodu představují vždy bezpečnostní riziko pro území a osoby nacházející se pod ním. Případná povodeň vzniklá protržením hráze se nazývá povodeň zvláštní. Její trvání je sice kratší, než trvání přirozených povodní, ale její následky mohou být

mnohem ničivější. Z toho důvodu je nutné zabezpečit vodní dílo alespoň do určité úrovně. Velká vodní díla, kterých je v České republice jen několik, jsou řazena do I. kategorie. Naopak MVN se řadí do kategorie IV.

Pro zařazení konkrétního vodního díla do příslušné kategorie je vypočtena velikost průlomové vlny, která by vznikla protržením hráze za předpokladu jejího přelítí, a postupuje se po trase jejího průtoku údolím až do okamžiku, kdy poklesne na hodnotu průtoku  $Q_{100}$  v toku.

Posuzovaná kritéria jsou

- ohrožení lidských životů,
- přímé škody na vodním díle,
- přímé škody na dolním toku,
- nepřímé škody v území pod hrází,
- ztráty z užitku vzniklé vyřazením vodního díla z provozu.

O zařazení vodního díla do odpovídající kategorie rozhoduje příslušný vodoprávní úřad (Doležal, 2007). Na základě toho je poté prováděn technicko-bezpečnostní dohled od doby projektování, přes výstavbu a také v trvalém provozu. Kontroly jsou prováděny a hodnoceny v periodě dané pro konkrétní kategorii.

## **2.5 PORUCHY ZEMNÍCH HRÁZÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ**

K poruchám sypaných hrází dochází následkem jedné nebo více příčin (Říha, 2010), (Jandora, Říha, 2002).

Hydraulické poruchy tělesa hráze způsobené erozivní činností proudu vody se vyskytují při

- přelítí, kdy dojde k porušení povrchovou erozí při překročení odolnosti hráze,
- působení vln, kdy dochází k porušení nedostatečně opevněného návodního líce,
- působení vodního proudu, kdy dojde k podemletí vzdušní paty jako důsledek nedostatečné kapacity skluzu pod přelivem,
- povrchové erozi, ke které dojde na svazích hráze při intenzivních srážkách.

Ztráta stability může mít podobu sesuvu části vzdušního nebo návodního líce hráze.

Důvodem poruch může být vzrostlá vegetace zasahující svými kořeny do tělesa hráze. Kořeny stromů mohou způsobit filtrační deformaci, vývraty stromů mohou způsobit nátrže svahu.

Poruchy způsobené filtračními deformacemi mohou nastat v případě průsaku tělesem hráze, popř. jejím podložím. Filtrační deformace způsobují přibližně 40 % všech poruch sypaných hrází. Mechanismem způsobujícím filtrační poruchu může být

- sufoze, tedy vyplavování jemnozrnných částeczek materiálu hráze nebo jejího podloží a tím zvýšení propustnosti materiálu a narušení jeho struktury,
- prolomení těsnicího prvku v důsledku zvýšených hydraulických gradientů,
- ztráta stability vzdušního nebo návodního líce následkem zvýšených proudových tlaků.

### 3 MONITOROVÁNÍ ZEMNÍCH HRÁZÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Monitorování MVN je vhodné provádět, zejména pokud byla při IGP stanovena riziková místa, nebo se tato objevila při provozování vodního díla. Monitorování je možné provádět různými metodami, jejichž základní dělení podle způsobu zjišťování měřené veličiny je dělení na přímé a nepřímé.

Přímé metody monitorování zemních hrází MVN využívají především geologické sondování, a to jak ruční tak mechanické. Provedení spočívá ve vytvoření šachty, štoly, odkryvu nebo odebrání vzorku zeminy případně vody k laboratornímu rozboru. Metody přímé jsou zpravidla destruktivní nebo semidestruktivní a při jejich aplikaci může dojít k nevhodnému zásahu do konstrukce zemní hráze. Hodnota sledované veličiny se zjišťuje přímo měřením.

Nepřímé metody jsou metody nedestruktivní. Využívají znalosti reakce materiálů na různé podněty a ke konstrukci zemní hráze jsou proto šetrnější. Proměnlivost elektrického odporu, rychlost šíření seismických impulsů a další měřené parametry umožňují vymezit geometrii rozhraní. Hodnota sledované veličiny se získá z měření veličin vázaných s měřenou veličinou známým vztahem či závislostí zpravidla získaným na základě měření provedených přímými měřicími metodami.

#### 3.1 GEOFYZIKÁLNÍ METODY

Geofyzika je multidisciplinární věda, jejíž metody se zabývají fyzikálními poli zemského tělesa a prostřednictvím příslušných parametrů aplikují znalost fyzikálních procesů na vznik a vývoj planety Země. Jejich prostřednictvím je proto možné charakterizovat horninové prostředí (Jančovič a kol., 2014).

Podle sledovaného fyzikálního parametru a charakteru fyzikálního pole (Mareš a kol., 1983) se metody dělí na

- gravimetrické – studují tíhové pole Země a na základě rozložení hustot geologického prostředí dedukují jeho anomálie,
- magnetometrické – sledují geomagnetické pole Země,
- radiometrické – studují přirozenou i umělou radioaktivitu,
- geotermické – studují teplotní pole,
- seismické – studují šíření uměle vyvolaných seismických vln, které jsou v případě zemních hrází generovány kladivy, padostroji nebo explozí,
- geoelektrické – studují rozložení geoelektrických polí.

Geoelektrické metody (Karous, 1989), (Kroová a kol., 1999), (Hobst a kol., 2005) jsou velmi rozmanité a rozšířené v inženýrské geologii. Zahrnují velký počet dílčích metod s řadou modifikací, které umožňují řešit široký rozsah geologických problémů. Elektrické vlastnosti zemin MVN lze charakterizovat zejména

- měrným elektrickým odporem (rezistivitou)  $\rho$  resp. jeho inverzní hodnotou tzv. měrnou elektrickou vodivostí (konduktivitou)  $\sigma$ ,
- dielektrickou konstantou (permitivitou)  $\epsilon$ ,

- elektrochemickou aktivitou (polarizovatelností)  $\eta$ .

Měrný odpor zemin úzce souvisí s obsahem vody v jejich pórech a s kontaminací porézní vody. Proto mají odporové metody velký význam při oceňování hydrogeologických podmínek a stupně znečištění prostředí. Dalšími parametry, které je možné zjistit geoelektrickými metodami a mohou mít vztah ke studovaným vlastnostem prostředí (litologii, hydrogeologickým parametrům atd.), jsou elektrická permitivita a magnetická susceptibilita a různé projevy komplexních elektrochemických aktivit prostředí. Vzhledem k rozdílným přístupům řešení uvedené problematiky dochází k rozložení výzkumu na několik škol, z nichž nejvýraznější jsou škola francouzská (hl. představitel C. Schlumberger (Chauris a kol., 2005)) a americká (představitelé C. Barus, R. C. Wells, později F. Wenner (Wenner, 1915)). Později byly výrazné švédská severská škola a sovětská škola, kde jejich představitelé dosáhli výsledků při aplikaci induktivní metody. Při svých výzkumech aplikovali jak stejnosměrné, tak i střídavé metody (Mareš, 1979). Obecně lze konstatovat, že je dáána přednost metodám, které jsou ekonomicky a technologicky méně náročné a mají vysokou informační schopnost.

Sledované elektrické pole může být stejnosměrné nebo střídavé, a to přirozené nebo umělé za použití zdroje budicího signálu, který má zpravidla harmonický sinusový průběh. Vzhledem k měřeným parametrům lze geoelektrické metody rozdělit na

- stejnosměrné odporové, kdy se nejčastěji využívají metody odporového profilování (OP), vertikálního elektrického sondování (VES) a metody multielektrodového uspořádání (MEU) a elektrická tomografie (ET), které umožňují dvojrozměrné resp. třírozměrné zobrazení a lze je vzhledem k rozvoji elektrotechniky a metod numerického modelování v současné době považovat za nejprogresivnější,
- elektromagnetické, kam se řadí metody s vlastním zdrojem se střídavým polem, jako jsou metoda dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) či konduktometrie, nebo pulzním elektromagnetickým polem, kam se řadí metoda přechodového sondování (PS) – pro nedostatek vhodných aparatur je málo využívána, pasivní metoda velmi dlouhých vln (VDV) využívající navigační vysílače, které v současné době pracují jen omezeně, a proto metoda patří mezi méně používané. Georadarová metoda nebo georadar či radiolokační metoda (GPR) je založena na vysílání elektromagnetických pulzů o vysoké frekvenci (50 MHz až 1000 MHz) do zeminy a registrován je čas příjmu po odrazu od reflexních rozhraní, která jsou projevem elektromagnetických vlastností, především permitivity,
- elektrochemické, kde se jedná o metody v inženýrsko-geologickém průzkumu užívané méně často a jsou to metoda spontánní polarizace (SP), která měří samostatně se utvářející přirozené stejnosměrné elektrické pole a metoda vyzvané polarizace (VP), která je založena na vyhledávání objektů, jež lze polarizovat uměle vyvolanými proudovými impulzy či metoda nabitého tělesa (NT), která na základě uměle zavedeného elektrického pole umožňuje určit v optimálních případech směr a rychlost proudění podzemní vody.

Specifickou oblast měřících metod v uvedené kategorii reprezentuje odporová měřící metoda elektrické impedanční spektrometrie pracující v obvodech střídavého budicího signálu.

## 4 METODA ELEKTRICKÉ IMPEDANČNÍ SPEKTROMETRIE

EIS je nepřímá odporová elektromagnetická metoda, která umožňuje sledovat změny obsahu vody, vlhkosti, teploty, struktury, ulehlosti, napjatosti či jiných parametrů v zeminách.

Využití EIS k účelům monitorování zemních hrází je v ČR a v Evropě obecně spíše unikátní, jelikož zde převládá používání přístrojů pracujících na principu buzení elektrického pole stejnosměrným signálem (metody VES, SP atd.). Střídavé odporové metody jsou však rozšířeny zejména v USA (Telford, 1990).

Pro stanovení elektrické impedance byly v Laboratoři vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb řešením projektů Grantové agentury ČR a mezinárodních projektů programu EUREKA sestrojeny měřicí přístroje Z-metr první až čtvrté generace s příslušenstvím. Při monitorování zemní hráze MVN Bezedník III byly použity přístroje Z-metr II (v bakalářské práci převzatá data z let 2006 až 2012) a Z-metr IV (mnou měřená a zpracovaná data), s nimiž je možné pracovat v laboratorních i polních podmínkách.

### 4.1 PRINCIP METODY

Základním principem metody je měření frekvenční charakteristiky elektrické impedance  $Z$  sledované zeminy v komplexním tvaru, tj. závislost rezistance  $R$  a reaktance  $X$  resp. modulu impedance  $|Z|$  a fázového úhlu  $\varphi$  zeminy na frekvenci napájecího signálu. Reaktance, imaginární složka měřené elektrické impedance, je reprezentována kondenzátorem, jehož kapacita charakterizuje zeminu. Reálnou složku představuje rezistance  $R$  resp. jeho převrácená hodnota, elektrická vodivost  $G$ , který charakterizuje např. obsah vody v zemině, fázové rozhraní voda – dno nádrže nebo na základě identifikace rozdílných elektrických vodivostí mapuje vrstevnatost dna nádrže. Reaktance  $X$  umožňuje prostřednictvím měřicí frekvence bližší popis druhu zeminy.

Kmitočtovou charakteristiku elektrické impedance  $Z$  lze vyjádřit jako

$$Z(j\omega) = R + j\omega X, \quad (4.1)$$

nebo lze zapsat fázor elektrické impedance  $Z$  v algebraickém (složkovém) tvaru

$$Z = R + jX, \quad (4.2)$$

kde  $R$  je reálná část elektrické impedance tj. v ideálním případě kmitočtově nezávislý odpor  $[\Omega]$ ,  $X$  je imaginární část elektrické impedance, tj. kmitočtově závislá reaktance  $[\Omega]$  a  $\omega$  je kruhový kmitočet  $[\text{rad/s}]$ , pro který platí

$$\omega = 2\pi f, \quad (4.3)$$

kde  $f$  [Hz] je kmitočet budicího střídavého harmonického signálu, jehož prostřednictvím lze např. odhadnout velikost efektivního zrna matrice zeminy a případně ojedinelých zrn příměsí.

Pro názornější představu lze elektrickou impedanci považovat za dvojpól obsahující rezistory a akumulární prvky, které popisují zdánlivý odpor zeminy a fázový posuv napětí proti proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu dané frekvence. Podobně jako

elektrický odpor charakterizuje vlastnosti zeminy pro stejnosměrný proud, elektrická impedance charakterizuje vlastnosti zeminy pro střídavý proud.

Elektrická vodivost zeminy může být způsobena pohybem elektronů nebo pohybem difundujících iontů. Lze konstatovat, že suchá nebo zmrzlá zemina je špatným elektrickým vodičem, zatímco zemina s obsahem vody je vodičem elektrického proudu. Proto se voda, obsahující určité množství rozpuštěných minerálních solí, z pohledu elektrotechniky řadí mezi vodiče. Je charakteristická svým elektrickým odporem  $R$  [ $\Omega$ ] (reálná část elektrické impedance  $Z$ ) resp. jeho převrácenou hodnotou elektrickou vodivostí  $G$  [S].

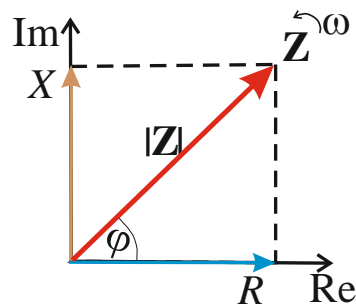
$$G = \frac{1}{R} \quad (4.4)$$

Kmitočtová charakteristika je dána dvěma závislostmi patrnými z Obr. 4.1 - amplitudovou, kde modul vektoru impedance  $|Z|$  je vyjádřen z Pythagorovy věty

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (4.5)$$

a fázovou, kde fázový posuv je vyjádřen vztahem

$$\varphi = \arctan\left(\frac{X}{R}\right). \quad (4.6)$$



**Obr. 4.1** Znázornění fázoru elektrické impedance

Ve vodním hospodářství je často sledovanou charakteristickou veličinou, popisující vlastnost zeminy resp. vody, konduktivita  $\sigma$  [S/m]

$$\sigma = G \cdot \frac{l}{A} \quad (4.7)$$

resp. její inverzní hodnota rezistivita  $\rho$  [ $\Omega \cdot m$ ]

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = R \cdot \frac{A}{l}, \quad (4.8)$$

kde  $A$  [ $m^2$ ] je kolmý průřez vodiče reprezentovaného zkoumanou zeminou resp. vodou a  $l$  [m] je jeho délka.

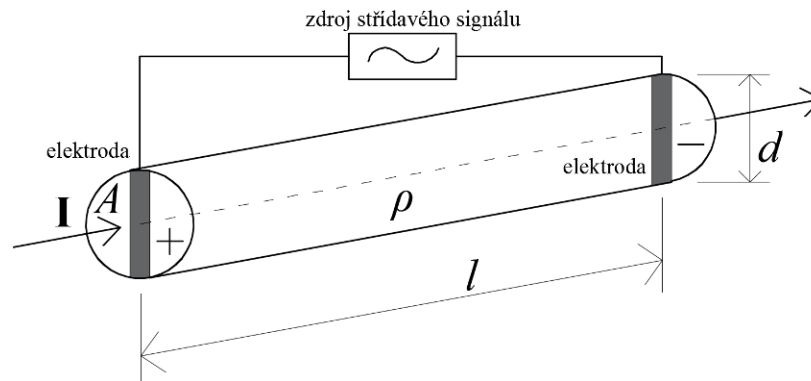
## 4.2 PRINCIP MĚŘENÍ

Měření elektrické impedance  $Z$  zeminy vychází z paralelního umístění dvou elektricky vodivých elektrod do zeminy ve vzdálenosti  $l \leq 2$  m. Maximální vzdálenost je doporučena z důvodu omezení vlivu geoelektromagnetického pole Země, vždy však vychází z podmínek na lokalitě. Dvě elektrody délky  $d$  tvoří jeden snímač sondy EIS. Střídavý elektrický proud procházející zeminou mezi elektrodami v ní generuje elektrické pole, kolmo na něj je



generováno pole magnetické. Zemina však průchodu elektrického proudu klade elektrický odpor, což vyjadřují měřené složky elektrické impedance  $Z$  – rezistance  $R$  a reaktance  $X$ . Stává se tak elektrickým vodičem, jehož plocha  $A$  je určena délkou elektrod  $d$  (Obr. 4.2).

Při využití přístroje Z-metr IV je monitorování možno realizovat jako paralelní zapojení dvou elektrod (Obr. 4.2), nebo na jedné dělené trubicové sondě, kdy je nezbytné využití adaptéru.



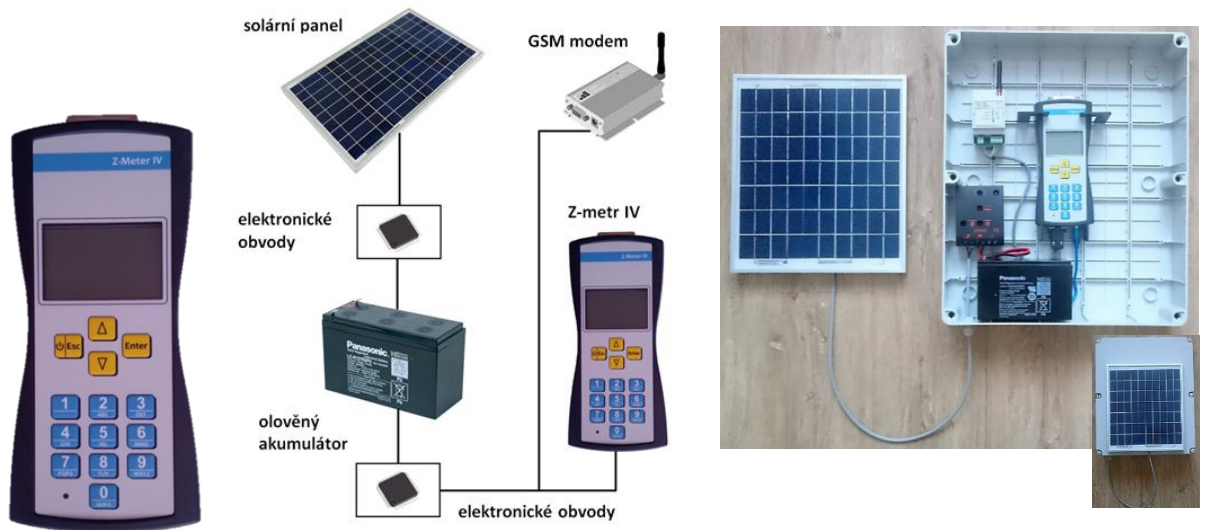
Obr. 4.2 Princip měření elektrické impedance zeminy

## 4.3 MĚŘICÍ APARATURA

### 4.3.1 Z-metr IV

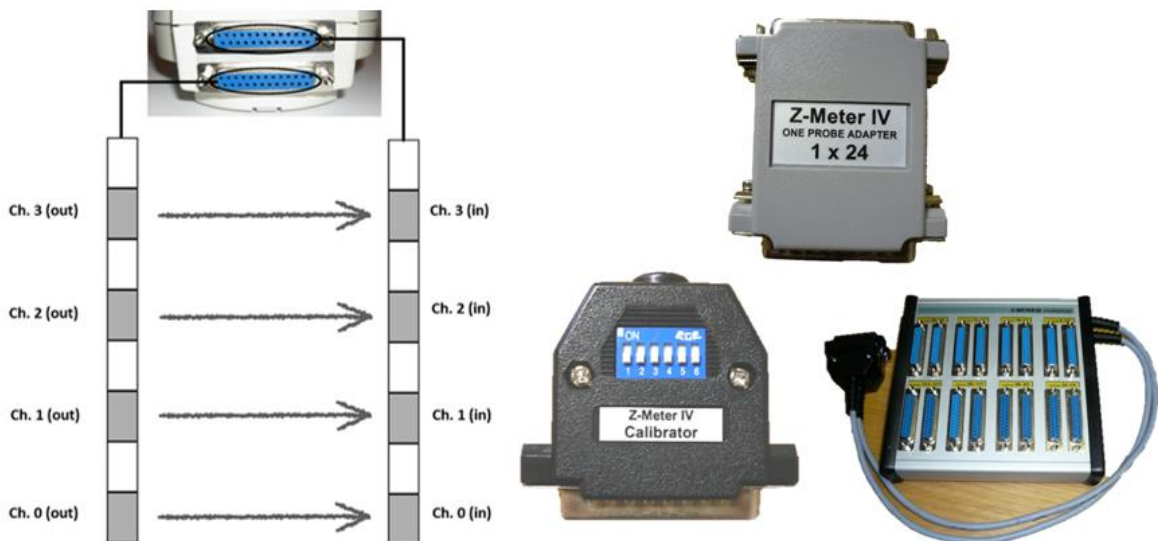
Přístroj Z-metr IV (Obr. 4.3) byl navržen a realizován pro měření elektrické impedance v rámci projektů programu EUREKA (Pařílková, 2013). Jádrem Z-metru IV je tvořeno 32 bitovým výkonným mikroprocesorem s jádrem Cortex-M3 (Pařílková a Radkovský, 2016). Mikroprocesor pracuje na frekvenci 120 MHz a má kapacitu 1 MB paměti flash a 128 kB paměti RAM. Zdrojem energie jsou dva dobíjecí průmyslové akumulátory typu Li-Ion. Kapacita baterie je dostatečná pro 16-hodinový intenzivní provoz. Dobíjení probíhá pomocí 5V/1A napájecího adaptéru. Pro komunikaci s uživatelem je přístroj vybaven LCD a klávesnicí, z níž je možné provádět nastavení přístroje, a to včetně dlouhodobého automatického autonomního provozu (Obr. 4.3).

Hlavním rozhraním je rozhraní Bluetooth, které umožňuje propojení přístroje k ovládání a manipulaci s daty. Přístroj je stavěn pro GSM (Globální Systém pro Mobilní komunikaci) s bezdrátovým připojením prostřednictvím Wi-Fi modulů. Naměřená data jsou ukládána na SD kartu, která není uživatelsky vyměnitelná, ve formátu \*.csv a přístup k nim je umožněn propojením s počítačem pomocí USB kabelu nebo přes Bluetooth. Zpracování dat se zpravidla realizuje v programu MS Excel.



Obr. 4.3 Přístroj Z-metr IV

Na těle Z-metru IV se nachází dva 25 pinové konektory typu CANON, které slouží k připojení budicích/měřicích snímačů. Číslování snímačů na sondě je vždy takové, že snímač s číslem „0“ je umístěn nejhluběji pod povrchem (Obr. 4.4). Součástí přístrojového vybavení je dále adaptér “one probe” pro měření na jedné trubicové sondě, kalibrátor a dle zakoupeného počtu měřicích míst externí přepínač pro max. 256 měřicích kanálů (na Obr. 4.4. značených „Ch“).



Obr. 4.4 Schéma připojení sondy a příslušenství přístroje

Specifikace základních parametrů přístroje Z-metr IV je zřejmá z Tab. 4.1 (Pařílková a Radkovský, 2016).

Tab. 4.1 Základní parametry přístroje Z-metr IV

| <b>specifikace elektrické měřicí části</b>   |  |
|--|--|
| měřicí rozsah impedance  | 10 $\Omega$ – 1 M $\Omega$   |
| měřicí frekvence   | 100 Hz – 200 kHz   |
| přesnost modulu Z  | $\pm 2\%$ z rozsahu  |
| přesnost fáze  | $\pm 2^\circ$  |
| měřicí napětí sinusové s nulovou střední hodnotou  |  |
| amplituda měřicího napětí  | 0,2 V; 1,0 V   |
| interní přepínač   | až 16 kanálů   |
| externí přepínač   | až 256 kanálů  |
| dlouhodobé měření na jedné lokalitě  | maximální vzdálenost mezi sondami a měřicí jednotkou až 60 m (při použití tzv. aktivních sond) |
| měřicí funkce  | bez záznamu dat, manuální ovládání, automatické ovládání                                       |
| volitelné automatické spouštění – vestavěnou klávesnicí nebo externě z mobilní aplikace  |  |
| možnost připojit sadu čidel pro měření teplot  |  |
| <b>specifikace komunikace s okolím</b>   |  |
| základní komunikační rozhraní  | USB 2.0, SD karta, Bluetooth   |
| výstupní formát datového souboru   | standardní "*.csv"   |
| možnost připojit GSM modem pro dálkový přenos dat a dálkové ovládání přístroje   |  |
| možnost připojit a zpracovávat i další zákaznická čidla (po úpravě HW a SW přístroje) - nutno konzultovat (např. snímač výšky hladiny) |  |
| <b>napájení</b>  |  |
| napájení   | bateriové s dobíjecími články  |
| doba kontinuálního provozu [h]   | 16   |
| napájecí napětí [V]  | 3,7  |
| maximální napájecí napětí [V]  | 5  |

### 4.3.2 Z-metr II

V letech 2006 až 2012 byl monitoring zajištěn měřicí aparaturou Z-metr II umožňující monitorování na max. 128 měřicích kanálech. Přístroj byl primárně koncipován jako laboratorní, proto jej při polních měřeních bylo nutno vybavit napěťovým měničem a místo síťového zdroje byla využívána autobaterie. Z uvedeného důvodu byla manipulace v terénu náročnější, měření bylo zpočátku prováděno z kufru osobního automobilu, později byl realizován měřicí pult (Obr. 4.5). Specifikace základních parametrů přístroje Z-metr II je zřejmá z Tab. 4.2 (Pařílková, 2006).



Obr. 4.5 Přístroj Z-metr II (rok 2006 vlevo a uprostřed, 2011 vpravo) (Pařílková) metr II

Tab. 4.2 Základní parametry přístroje Z-metr II

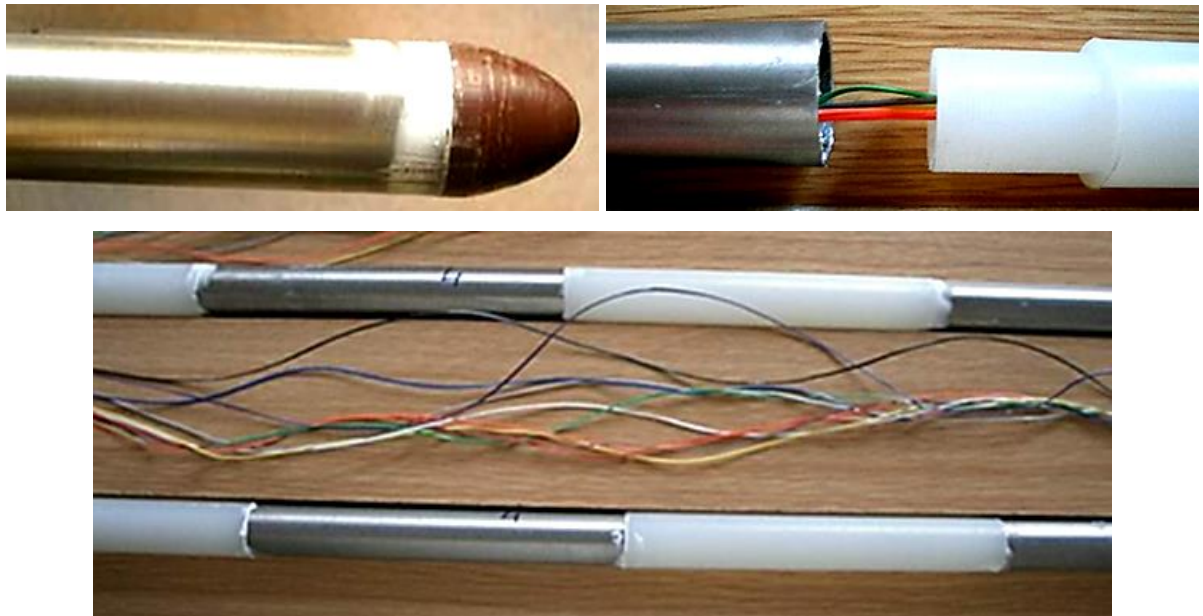
| Parametr  | Z-metr II                    |
|---|------------------------------|
| Rozsah impedance                                | 10 $\Omega$ - 1 M $\Omega$   |
| Rozsah frekvence                                | 100 Hz – 20 kHz              |
| Přesnost modulu impedance                       | +/- 2 % z rozsahu            |
| Přesnost fáze                                   | +/- 2°                       |
| Úroveň napětí                                   | 500 mV – 5 V s krokem 500 mV |
| Komunikace s PC                                 | USB (COM port)               |
| Přepínač (možnost 2 a 4 elektrodového zapojení) | interní, 128 měřicích míst   |

### 4.3.3 Konstrukční řešení měřicích sond

Konstrukční řešení měřicích sond vždy vychází z požadovaných cílů měření a možností aplikace měřicích postupů na konkrétní lokalitě. Je proto velmi variabilní. Monitorování zemní hráze MVN Bezedník III bylo realizováno jako první aplikace měřicí aparatury s přístrojem Z-metr II v polních podmínkách. Koncepce monitorování, včetně konstrukce měřicích sond, proto vycházela pouze ze zkušeností získaných při laboratorních experimentech a ukázalo se, že např. užití vícežilového plochého kabelu VFL nebylo vhodnou volbou, neboť se jednotlivé vodiče snadno přetrhnou.



Byly realizovány dělené trubčové sondy v celkové délce trubice 3,5 m (Obr. 4.6). Na každé trubici se nachází 12 pravidelně rozmístěnými elektrod, což umožňuje monitorování v různých úrovních resp. hloubkách v tělese zemní hráze, čímž je možno přesněji lokalizovat možné anomálie. Elektrody jsou provedeny z trubek z nerezavějící oceli vnějšího průměru 0,025 m, délky 0,15 m a tloušťky stěny 0,0015 m. Elektroda umístěná v zemině nejhloběji byla z důvodu snadnější instalace osazena hrotem (Obr. 4.6).



**Obr. 4.6 Konstrukční řešení trubčové sondy (Pařílek, 2006)**

Distančním a současně izolačním prvkem mezi elektrodami trubčových sond jsou polyamidové trubice stejného vnějšího průměru a délky, avšak tloušťky stěny 0,004 m. Elektrický signál je přenášen plochým vícežilovým kabelem značeným VFL 16×0,15 s volnými konci, které byly miniaturními krokosvorkami MCV 35/0 (černá) a MCV 35/2 (červená) (Obr. 4.7) propojeny na jednotlivé kanály přístrojů Z-metr II. V roce 2016 bylo propojení provedeno přes redukce a 25 pinový konektor CANON (Obr. 4.8) k přístroji Z-metr IV.



**Obr. 4.7 Plochý vícežilový kabel VFL (vlevo) [4], miniaturní krokosvorky MCV 35/0 a 35/2 (vpravo) [5]**



**Obr. 4.8** Propojovací prvky využívané na návodním líci hrázi: plastový kryt konektoru Canon 25 (vlevo), konektor Canon 25F a 25M kabelový (vpravo) [6]

V roce 2009 byly na vzdušní straně koruny hráze instalovány další tři tyče označené jako 3a, 4a a 6a. Zde byly pro přenos signálu použity vodiče TAS-C131/6 modré typu Cu lanko s PVC izolací průřezu  $0,35 \text{ mm}^2$ , které byly zakončeny konektory faston (Obr. 4.9) s izolací teplem smršťitelnou bužírkou.



**Obr. 4.9** Propojovací prvky použité na vzdušném líci hráze: lanko Cu (vlevo) [7], zásuvka plochá Faston (uprostřed) [8], sada smršťovacích bužírek (vpravo) [9]

Instalace sond byla provedena manuálně, což si vyžádalo i vývoj speciálních instalačních postupů. Byl vyvrtán otvor požadovaného průměru  $0,028 \text{ m}$ , do něhož byla instalována trubice délky  $3,5 \text{ m}$  s 12 měřicími elektrodami (Obr. 4.10). Proti vniknutí vlhkosti byla první elektroda pod povrchem, tj. s číslem 12, vyplněna nevodivým silikonovým tmelem.





**Obr. 4.10 Manuální instalace dělených trubicových sond (Pařílková, 2006)**

Volné kabely, každý v délce 2 m, byly smotány a umístěny do mikroténového sáčku, který byl vsunut do plastového obalu. Celek byl uložen pod travní pokryv tělesa zemní hráze vedle příslušné měřicí trubicové sondy. Jako prevence proti vandalismu bylo požadováno, aby na povrchu hráze nebylo monitorované místo příliš zřejmé, a proto bylo označeno pouze větším kamenem (Obr. 4.11). I přes tato opatření byla v dubnu 2008 sonda s číslem „1“ zničena bez možnosti opravy, neboť kabely od jednotlivých elektrod byly uřezány těsně u jejich krytí silikonovým tmelem.



**Obr. 4.11 Úprava povrchu zemní hráze v roce 2006 (Pařílková) a v roce 2016 (Koudelková)**

Při rekognoskaci lokality 18.4.20016 jsem pozice jednotlivých sond identifikovala bez vážnějších problémů a zjistila odpovídající stav kabeláže na sondách umístěných jak na návodním, tak na vzdušném líci hráze (Obr. 4.12). Kabely sondy „4a“ na vzdušném líci hráze byly obnaženy a volně uloženy na koruně hráze (možné působení člověka i lesní zvěře), avšak zůstaly nepoškozeny (Obr. 4.13).





**Obr. 4.12 Měřicí místa a stav obnažené kabeláže pro přenos signálů ze sond v roce 2016 – návodní líc, vpravo vzdušní líc (Koudelková)**



**Obr. 4.13 Měřicí místa a stav obnažené kabeláže pro přenos signálů ze sond v roce 2016 – vzdušní líc (Koudelková)**



## 5 POPIS ŘEŠENÉ LOKALITY

Ve své práci jsem se zabývala problematikou ověření monitorovací techniky pracující s metodou elektrické impedanční spektrometrie, kdy důraz byl kladen na otázku životnosti měřicích sond osazených v zemní hrázi MVN Bezedník III nacházející se v katastru obce Kobeřice u Brna v okrese Vyškov v Jihomoravském kraji.



Obr. 5.1 Situace území s vyznačením řešené nádrže [10]

MVN Bezedník III je přístupná po zpevněné lesní cestě odbočující ze silnice I/54 nebo po lesní cestě z obce Kobeřice (obojí modrá turistická značka).

### 5.1 SITUACE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

MVN Bezedník III [1] byla vybudována v roce 1979 na bezejmenném levostranném přítoku Kobeřického potoka v km 0,850 a v 250 m n. m. jako jedna ze dvou malých vodních nádrží, které byly později doplněny o nádrž třetí. Vybudování uvedených objektů umožnilo snáze zavlažovat níže položené pozemky lesního závodu a dále slouží také jako protipožární ochrana, k chovu ryb a jako zdroj vody pro lesní zvěř. Zároveň vybudováním vodních nádrží vznikl krajinnotvorný prvek a údolí se otevřelo i rekreačním aktivitám (pěší turistika, cyklistika).

Geologický podklad MVN je tvořen flyšojidním a olasovým vývojem jílovců a pískovců, zde překrytých vrstvou hlín a jílových hlín. V mělkých zvodnělých terénních depresích se vyskytují černé organické půdy, které bývají často zrašeliněné.



Obr. 5.2 Soustava tří nádrží s vyznačenou řešenou nádrží Bezdáněk III [10]

Z hydrogeologického hlediska má zájmové území poměrně malou jímavost a zdroje vody jsou jen v depresních lokalitách.

Hydrologické poměry pro zájmové povodí v Kobeřicích jsou stanoveny ČHMÚ Brno z hydrologické řady za období 1931 – 1980.

Tab. 5.1 M - denní průtoky:  $Q_m$  [l/s]

|       |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| M     | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 355 | 364 |
| $Q_m$ | 13 | 8  | 6  | 5   | 4   | 3,5 | 50  | 2,5 | 2   | 1,5 | 1   | 0,5 | 0,1 |

Tab. 5.2 N - leté průtoky:  $Q_N$  [m<sup>3</sup>/s]

|       |     |     |     |     |     |     |     |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| N     | 1   | 2   | 5   | 10  | 20  | 50  | 100 |
| $Q_N$ | 0,5 | 0,9 | 1,7 | 2,5 | 3,5 | 5,0 | 6,5 |



## 5.2 POPIS NÁDRŽE BEZEDNÍK III

Nádrž Bezedník III je svým charakterem průtočná, vybudovaná k účelům retence a akumulace vod s významem pro estetiku okolní krajiny. Z pohledu VD-TBD a.s. Brno, je dílo zařazeno do kategorie IV. Správcem a uživatelem soustavy nádrží jsou Lesy České republiky, s. p., Lesní správa Bučovice.



Obr. 5.3 Nádrž Bezedník III (Pařílková)

Výškově stavba nenavazuje na státní nivelaci, proto byly při práci zvoleny relativní výšky. Pevný výškový bod byl umístěn na ochranném rámu vypouštěcího zařízení vodní nádrže Bezedník III a má kótu 300,67 m n. m. Polohově byla všechna měření provedena v místním souřadnicovém systému.

Hráz MVN byla navržena jako homogenní, sypaná kolmo na podélnou osu údolí. Jako materiál pro výstavbu hráze byly použity místní zeminy z levé a pravé části údolí. Zeminu lze charakterizovat jako hlinitojílovitou, místy s příměsí písku. Zemina pro konstrukci hráze byla odebírána převážně z levé části údolí, avšak pro vrstvu pod korunou hráze byla použita zemina z pravé části údolí, která se vyznačuje vyšší příměsí rašeliny a při monitorování vykazovala jiné hodnoty měřených elektrických veličin [1].

Tab. 5.3 Základní hydrologické údaje

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Hydrologické pořadí | 4 – 15 – 03 – 084    |
| Plocha povodí       | 2,12 km <sup>2</sup> |
| Plocha zátopy       | 3 586 m <sup>2</sup> |

**Tab. 5.4 Základní rozměry nádrže**

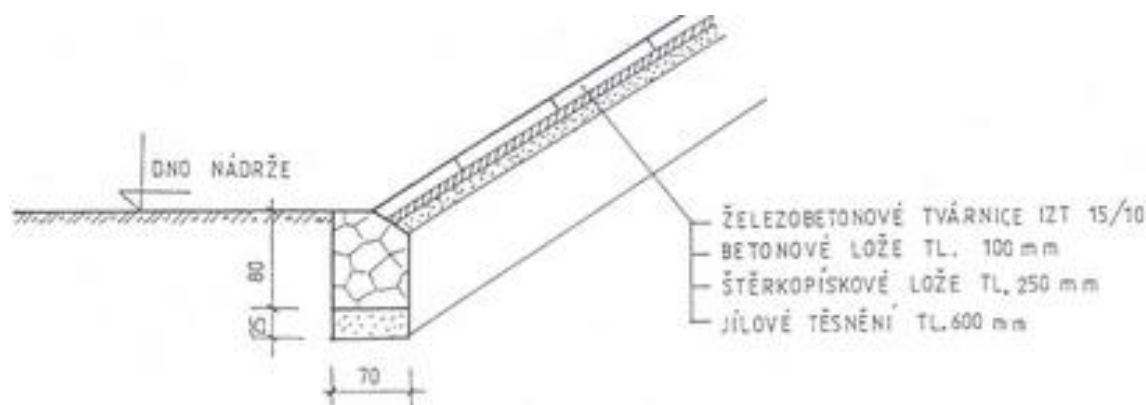
|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| Maximální hloubka nádrže       | 2,0 m                |
| Šířka hráze v koruně           | 3,5 m                |
| Délka hráze                    | 72,5 m               |
| Sklon návodního líce hráze     | 1 : 3                |
| Sklon vzdušného líce hráze     | 1 : 2 – 2,5          |
| Celkový objem nádrže           | 7 350 m <sup>3</sup> |
| Objem stálého nadržení         | 4 792 m <sup>3</sup> |
| Neovladatelný retenční prostor | 2 558 m <sup>3</sup> |
| Sklon výpusti                  | $i = 2 \%$           |
| Světlost výpusti               | DN 300               |

**Tab. 5.5 Průtokové charakteristiky**

|                                     |                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Průměrný roční průtok $Q_a$         | 0,005 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> |
| Odtok návrhového množství $Q_{100}$ | 6,5 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>   |
| Kapacita spodní výpusti $Q_v$       | 0,126 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> |
| Kapacita bezpečnostního přelivu     | bezpečné převedení $Q_{100}$          |
| Kóta hladiny stálého nadržení       | 300,2 m n. m. relativní výšky         |

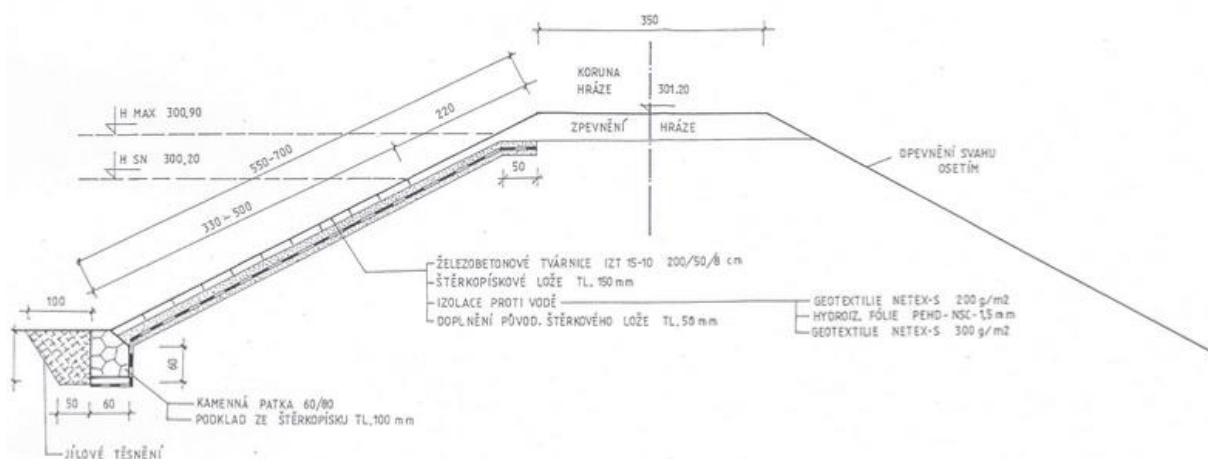
Návodní líc byl zpevněn betonovými prefabrikáty uloženými do betonového lože se štěrkopískovým ložem a jílovým těsněním. Zpevnění bylo zajištěno založením do kamenné patky na cementovou maltu. Zpevnění svahu bylo spojeno se zpevněním komunikace v koruně hráze. V koruně hráze se předpokládalo vybudovat vozovku v provedení se štěrkopískovým podkladem, vrstvou penetračního makadamu a asfaltovým nátěrem. Avšak záhy bylo rozpoznáno nebezpečí jejího enormního zatěžování v průběhu lesních prací, a proto byla komunikace ponechána pouze se štěrkovým podkladem. Vzdušní líc byl zpevněn vegetací [1].

Po napuštění nádrže v roce 1980 se začaly objevovat ztráty vody mimo vypouštěcí potrubí. Předpokládalo se, že k únikům vody dochází kvůli závadě na těsnicím jádru. Byl proveden geologický průzkum 3 sondami a bylo zjištěno, že předpokládaný profil v základové spáře hráze byl v některých místech odlišný od skutečného stavu v provedené spáře. Na základě geologického posudku byla závada odstraněna přidáním těsnicí vrstvy z jílovité zeminy na návodní straně hráze.



**Obr. 5.4 Detail původního opevnění návodního líce [1]**

Později se ale závada opět objevila a roku 1997 byl proveden návrh další opravy. Z návodní strany bylo odstraněno původní opevnění betonovými prefabrikáty. Stávající štěrkopískové lože bylo vyrovnáno a doplněno. Na tuto vrstvu byla položena technická geotextilie a na ni hydroizolační folie z měkčeného PVC. Folie byla chráněna geotextilií a na ni byla rozprostřena vrstva hlinitopísčité zeminy. V patě hráze byla provedena patka z lomového kamene na cementovou maltu, která slouží jako opora pro betonové prefabrikáty. Návodní strana nad maximální hladinou, vzdušná strana a koruna hráze byly zpevněny vegetací.



**Obr. 5.5 Vzorový příčný řez hrází [1]**



**Obr. 5.6 Bezpečnostní přeliv (nahore červen 2016 - Koudelková, dole po povodni 16.6.2010 - Pařílková)**

V roce 1998 bylo vydáno povolení ke stavbě „Obnova vodní nádrže Kobeřice“. Byla provedena oprava těsnicího prvku návodního líce hráze fólií HDPE tl. 1,5 mm, která byla uložena oboustranně v ochranném štěrkopískovém loži. Bylo také opraveno původní opevnění z tvárnic IZT, část návodního líce byla opevněna polovegetačními tvárnici s výplní štěrku a v oblasti zavázání do terénu doplněna kamennou rovnaninou. Lokální snížení koruny hráze bylo dosypáno a koruna hráze byla opevněna drceným kamenivem. Dalším prvkem opravy bylo vybudování sedimentačního prostoru, který byl umístěn před výpustným zařízením – požerákem. Současně s opravou hráze byl na levé straně hráze vybudován bezpečnostní přeliv se sklony svahů 1 : 5 dimenzovaný na  $Q_{100}$ . Přeliv je příčně přejezdny, opevnění je provedeno z kamenné dlažby s vyspárováním a uložením do betonového lože, vývar je upraven kamenným záhozem s ukončením příčným prahem, na návodním líci jsou kamenné schody.





**Obr. 5.7 Pohled na hráz – květen 2016 (Koudelková)**



**Obr. 5.8 Výpustné zařízení - celokovový požerák, květen 2016 (Koudelková)**

Na VD se v současné době nachází funkční před výpustným objektem a výpustný objekt umístěnými jako mezikruží kryté ocelovým vodu se uvádí pootočením šoupěte svojí výškou definuje hladinu stálého zabezpečen uzamykatelným zařízením.

bezpečnostní přeliv, sedimentační prostor – požerák. Požerák je tvořen dvěma trubkami plechem. Do provozního stavu vypouštění umístěného ve vnitřním válci. Tento válec nadržení. Proti neoprávněné manipulaci je

### 5.3 MONITOROVÁNÍ HRÁZE METODOU EIS

Požadavek na monitorování zemní hráze MVN Bezedník III byl vznesen správcem a uživatelem – Lesy České republiky, s. p., lesní správa Bučovice z důvodu obav z průsaků vody tělesem hráze a vzniku privilegovaných cest, podložených častým a pozorovatelným kolísáním hladiny vody v nádrži doprovázeným vysokým podmáčením a rozvojem mokřadů a vegetace levostranně pod hrází. Je tedy možné konstatovat, že monitorování zemní hráze bylo zahájeno na základě pozorovaného úniku vody z nádrže a následných obav o bezpečný provoz vodního díla v souvislosti se stabilitou zemní hráze.



**Obr. 5.9 Vzdušní líc hráze a vegetace pod hrází (2006, Pařílková)**

Monitorování hráze metodou EIS započalo v červnu roku 2006 před sanací plánovanou z důvodu podezření na obnovení privilegovaných průsakových cest. Sanace návodního líce hráze byla provedena v období prosinec 2006 až červenec 2007.



**Obr. 5.10 Návodní líc po rekonstrukci (2007, Pařílková)**

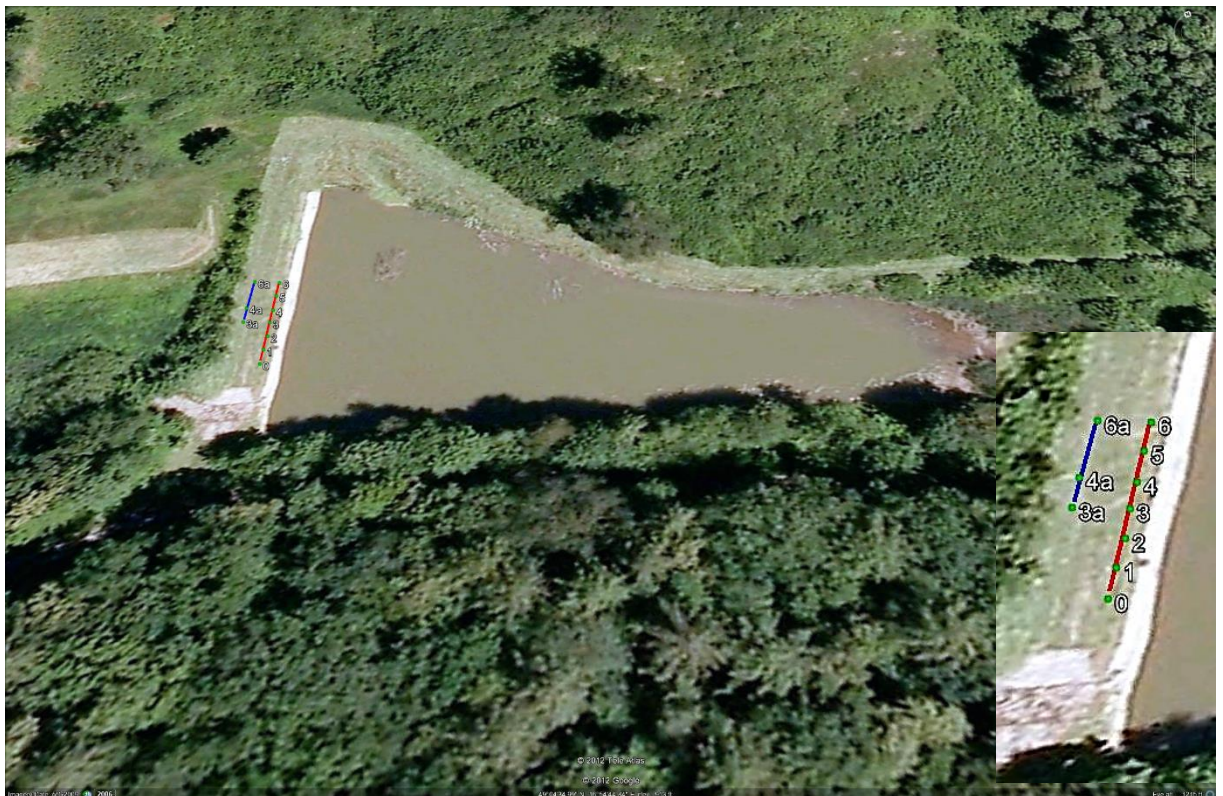
I po několikanásobných opravách tělesa zemní hráze MVN se však voda z nádrže ztrácí a území pod hrází bývá často zamokřeno, především jeho levá část.



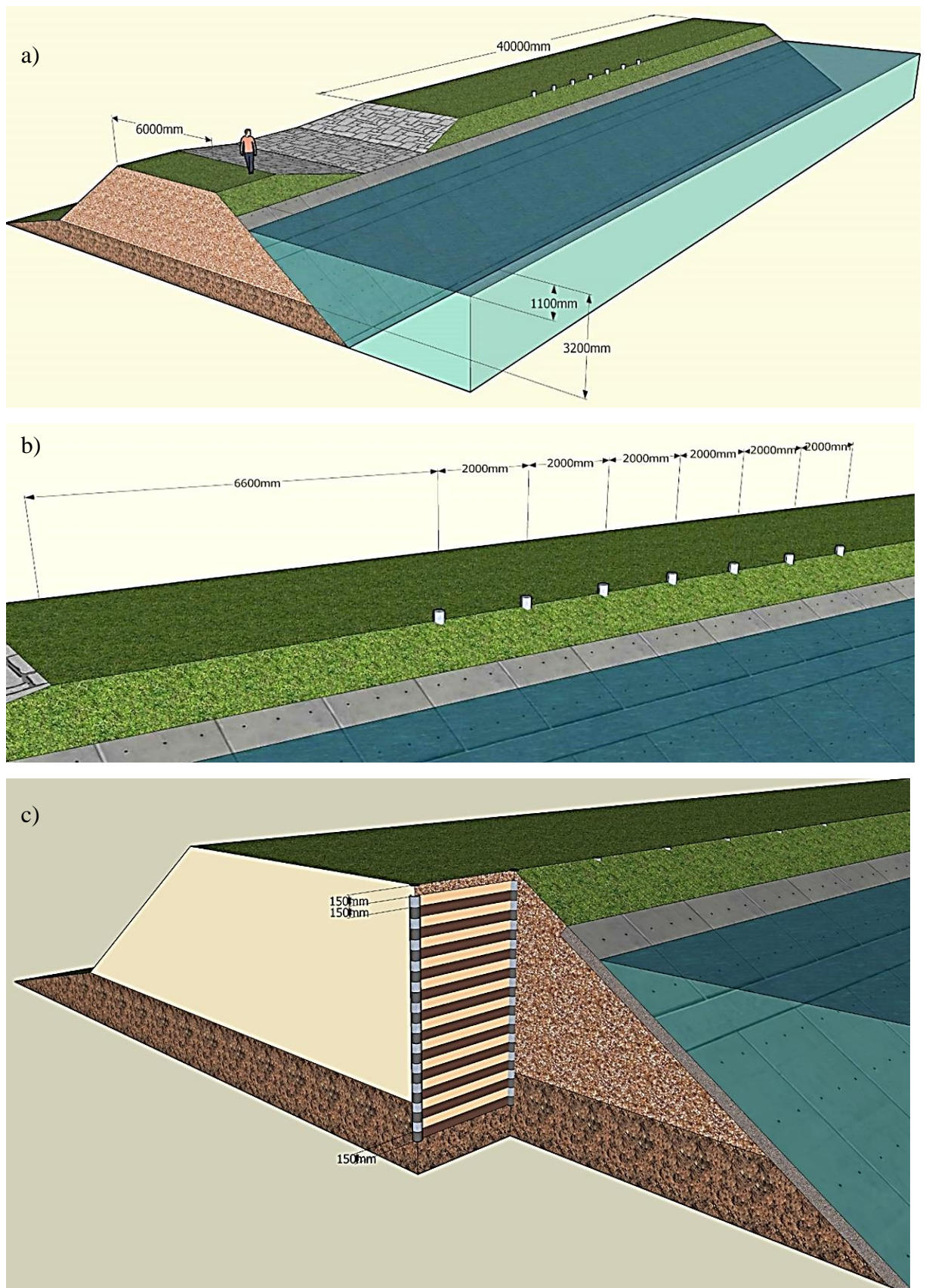
## 5.4 SITUACE MĚŘICÍCH SOND

Měřicí sondy byly do tělesa zemní hráze MVN instalovány ve dvou etapách. V červnu 2006 bylo v koruně na návodním líci (Obr. 5.11) osazeno 7 vertikálně dělených trubic (označeny číslicemi 0 až 6) v rozstupech 2,0 m. Ve druhé etapě v červnu 2009 se podařilo v koruně na vzdušné straně zemní hráze osadit 3 trubice (označeny číslicemi 3a, 4a a 6a) opět v rozstupech 2,0 m včetně fiktivní trubice 5a. Vzhledem k vegetačnímu pokryvu vzdušného líce hráze a především k vyvinutému kořenovému systému osázených a náletových dřevin se na vzdušný líc hráze nepodařilo manuálně instalovat vyšší počet měřicích sond.

Schématické znázornění pozic trubicových sond na návodním líci zemní hráze MVN Bezedník III včetně detailu principu umístění snímačů je zřejmý z Obr. 5.12.



Obr. 5.11 Situace monitorovacích trubic (červen 2009) (Pařílková, 2013)



Obr. 5.12 Schéma zemi hráze (a), situace monitorovacích trubíc na návodním líci (b) a detail pozic snímačů (c) (Pařílková, 2006)



Již při instalaci prvních sond byla zřejmá různá struktura materiálu hráze. Přibližně do hloubky 1,5 m od koruny hráze bylo možno speciální vrtací soupravu, k tomu účelu vyvinutou v LVV ÚVST, téměř zatlačit do zeminy rukou. V hloubce kolem 2,9 m se objevila tenká vrstva jiné tvrdší (hutnější) zeminy a po jejím provrtání bylo možno vrtací elektrodu dotlačit manuálně, ve vrtu se začala objevovat voda. Manuální instalace trubic proběhla ve všech vrtech na návodním líci bez vážnějších problémů (Pařílková, 2006).

Pokud to podmínky na lokalitě dovozovaly, probíhalo v letech 2006 až 2012 monitorování (Obr. 5.13) pravidelně v četnosti 1× měsíčně. V souladu s vypsáním tématu bakalářské práce a mým přihlášením se k jejímu zpracování bylo nutno u majitele a provozovatele díla vyřídít povolení vjezdu na lokalitu, které bylo vázáno na kalendářní rok. Kontrolní měření, zaměřené na ověření životnosti měřicích sond především z hlediska přenášeného elektrického signálu a spojené s jejich adaptabilitou na generačně nové měřicí přístroje, jsem proto provedla v měsících květnu a listopadu roku 2016.

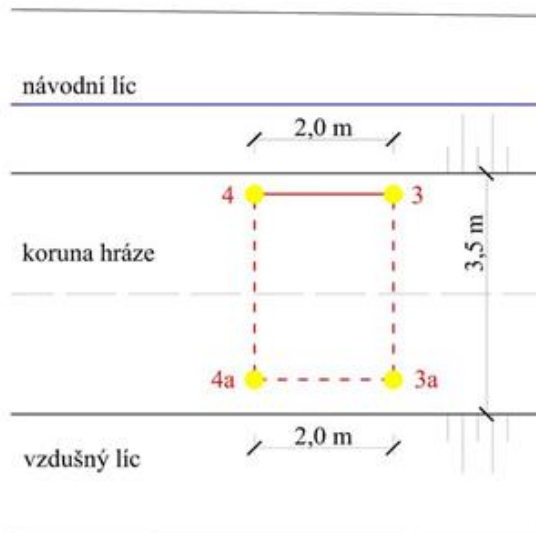


Obr. 5.13 Monitorování na lokalitě (květen 2009 - Pařílek, květen 2016 - Koudelková)

## 5.5 PRŮBĚH A ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ

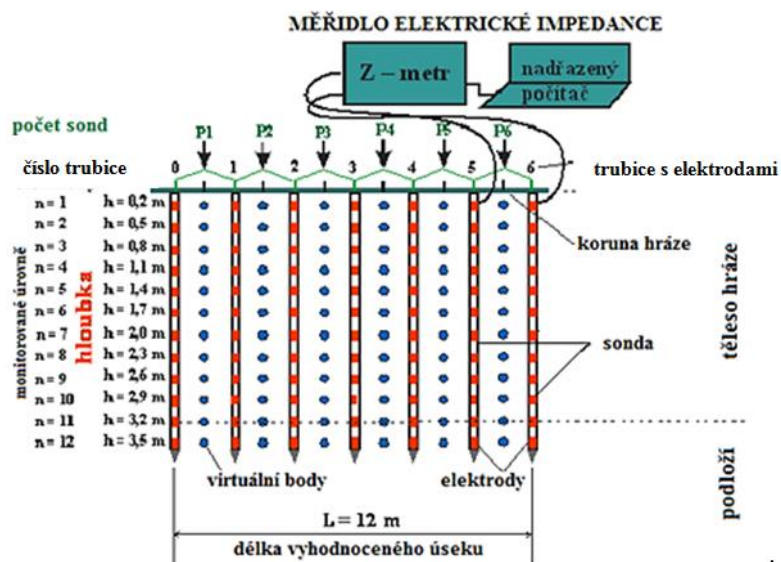
Monitorování zemní hráze MVN Bezedník III, které probíhalo v období 19.8.2006 až 3.3.2013 řešením projektů GA ČR a EUREKA, jsem doplnila měřeními ve dnech 9.5.2016 a 28.11.2016. Monitorování bylo provedeno přístrojem Z-metr II, já jsem měření provedla přístrojem Z-metr IV.

V roce 2006 bylo zahájeno monitorování návodního líce hráze (profily 0\_1, 1\_2, 2\_3, 3\_4, 4\_5 a 5\_6) a proběhla 4 měření (do 17.11.2006), následně byla z důvodu opravy návodního líce hráze MVN vypuštěna a monitorování bylo obnoveno až 17.8.2007. V následujících letech k žádnému dlouhodobějšímu přerušení monitorování nedošlo. Do 20.5.2009 byl monitorován pouze návodní líc hráze, po osazení trubicových sond na vzdušný líc probíhalo od 17.6.2009 monitorování i ve směrech znázorněných na Obr. 5.14. Měření bylo na řešené lokalitě realizováno pravidelně jedenkrát měsíčně, kdy byly sledovány změny elektrických charakteristik zeminy, úroveň hladiny vody v nádrži, teplota vzduchu a čas měření.



Obr. 5.14 Příklad monitorovaných profilů na hrázi MVN Bezedník III (plná čára profil měřený od 08/2006, čárkovaná čára profily měřené od 06/2009)

Dvě trubice s 12 monitorovanými úrovněmi (na trubici se rovnoměrně střídalo 12 vodivých elektrod a 11 nevodivých částí) vymezovaly měřený profil označený jako P1 až P6 (Obr. 5.12c a 5.15). Vyhodnocené virtuální body se nacházejí vždy v průsečíku geometrického středu vzdálenosti dvou sousedních paralelních trubíc a geometrického středu délky měřících elektrod. Vzhledem k výšce hráze 3,2 m a celkové délce trubíc 3,5 m vyplývá, že elektrody byly osazeny až do podloží hráze.



Obr. 5.15 Schéma zapojení měřících sond na návodním líci hráze a vyhodnocených bodů v profilech P1 až P6

Měření na každém snímači trubcové sondy probíhalo cyklicky minimálně 5×, tj. v každé měřené úrovni ( $h_x$ ) bylo odečteno 5 až 15 hodnot elektrického odporu  $R$  a reaktance  $X$ . Výsledná hodnota měřených složek elektrické impedance byla stanovena aritmetickým

průměrem hodnot měřených, přičemž řádově odlišné hodnoty nebyly do zpracování zahrnuty. Frekvence budicího signálu  $f$  byla nastavována na 8 000 Hz a doba přepínání mezi měřeními zvolena  $t = 200$  ms.

Měřená data byla dostupná v tabelární podobě v textovém souboru s koncovkou „csv“, názvy souborů zapisovaných dat byly voleny s ohledem na propojované trubice např. 3\_4 na návodním líci hráze, 3a\_4a na vzdušném líci hráze a 3\_3a pro příčný řez hrází (Obr. 5.15). Další zpracování dat jsem provedla v programovém prostředí MS Excel, Surfer 8 a AutoCAD 2015.

I když tyčové elektrody byly osazeny 0,15 m pod terénem koruny hráze, v období března/dubna 2008 byla tyč č. 1 poničena a dále nepoužitelná. Ukázalo se, že i když doporučená maximální vzdálenost 2 m mezi dvěma elektrodami byla po poškození dvojnásobně překročena, nedošlo ke zkreslení měřených hodnot a měření mohlo probíhat v profilu 0\_2.

Kromě působení člověka je nutno zohlednit i vliv fauny a flory (Obr. 5.16), kdy si v blízkosti sondy vyvedla mladé užovka, udělaly si tam hnízdo vosy či mravenci založili mraveniště. Nepříjemná byla i činnost hraboše vodního, který narušil izolaci kabelů či divokých prasat, která je dosti často obnažovali. Na druhou stranu je nutno konstatovat, že ani zvýšené vodní stavy resp. povodňové události nezpůsobily poškození sond.



**Obr. 5.16 Vliv fauny a flory**

Byla snaha neporušit pravidelnost monitoringu a měření opravdu každý měsíc provádět, avšak vyskytly se situace (např. leden a únor 2012), kdy měření z důvodu nepřízně počasí neproběhlo. Vzhledem k vysoké pokrývce sněhu byla znepřístupněna příjezdová komunikace k nádrži, kvůli velké námraze byl vydán zákaz vstupu do lesa, neboť hrozilo lámání větví a stromů a sníh byl natolik promrzlý, že by byl problém nalézt kabely jednotlivých sond.

V průběhu monitorování se na lokalitě vyskytla povodňová epizoda (červenec 2009), v jejímž důsledku došlo k přelití koruny hráze; monitorování proběhlo bezprostředně po průběhu povodně, kdy byl ještě ve funkci korunový přeliv. Zaznamenány jsou i poměry při vypuštění rybníka (2006), vliv sněhové pokrývky a ledu, vliv extrémních teplot a další situace, které se na lokalitě vyskytly.

Monitorování v lokalitě už neprobíhá, prokázané výsledky a z nich plynoucí závěry se ukázaly jako logicky interpretovatelné. Jelikož sondy jsou do hráze osazované jako ztracené, byl předpoklad, že lokalita bude využívána ke sledování jejich životnosti a stability.



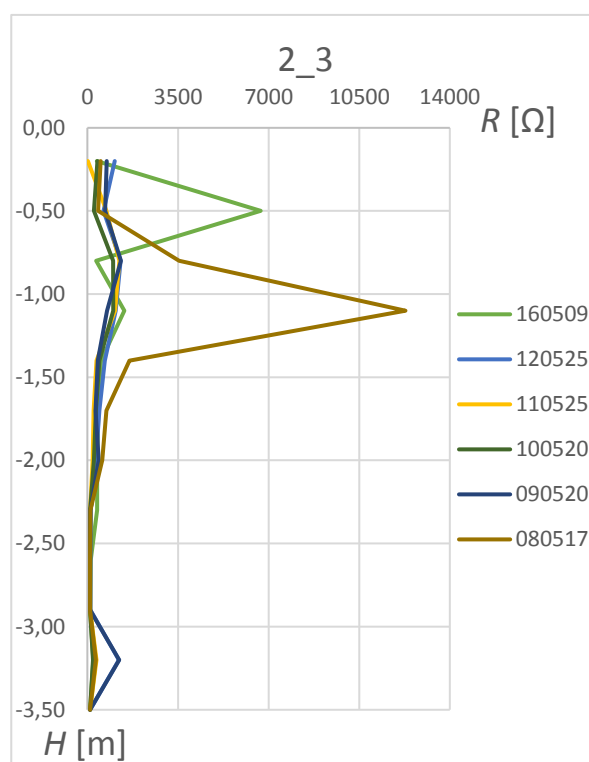
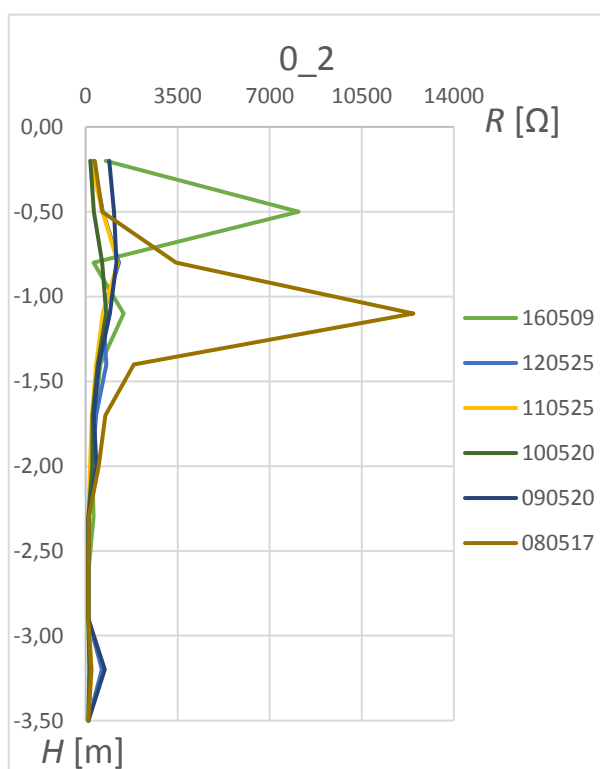
## 6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

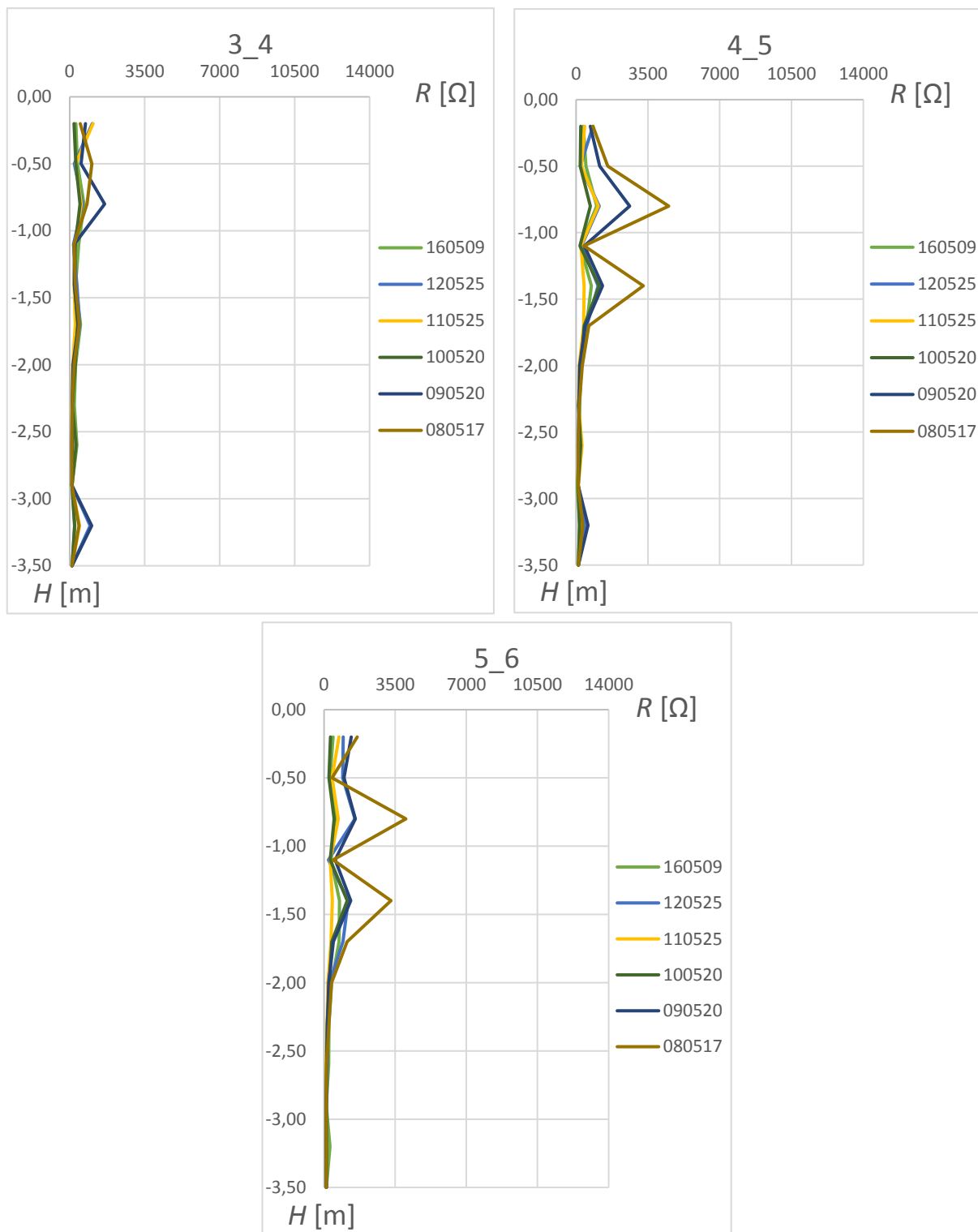
Data získaná měřeními jsem zpracovala v programu MS Excel. Změřeny byly hodnoty obou složek elektrické impedance – rezistance  $R$  a reaktance  $X$ . Dále jsem pracovala s hodnotami rezistance. Vyhodnocení změn reaktance  $X$  by umožnilo prostřednictvím měřicí frekvence bližší popis druhu zeminy. Mnou naměřená data jsem s daty naměřenými v letech 2006 – 2012 použila jako základ grafů. Měření v roce 2016 jsem provedla v měsících květen a listopad, proto jsem dále pracovala pouze s daty naměřenými v předchozích letech v těchto měsících.

Při každém měření byla zaznamenána teplota vzduchu a úroveň hladiny v MVN (Tab. 6.1). Nepodařilo se dohledat pouze hodnotu úrovně hladiny z listopadu 2006 a teploty vzduchu z listopadu 2006 a 2007, kdy bylo monitorování v počátcích. Mnou uváděné teploty z těchto měření [12] byly stanoveny jako průměrné denní teploty měřené na nejbližší meteostanici Brno, 241 m n. m. Provozovatelem meteostanice je ČHMÚ. V květnu 2006 ještě sondy nebyly na hrázi nainstalovány. V květnu 2007 byla nádrž vypuštěna z důvodu oprav hráze.

Tab. 6.1 Hodnoty teplot a úrovně hladiny v měsících měření

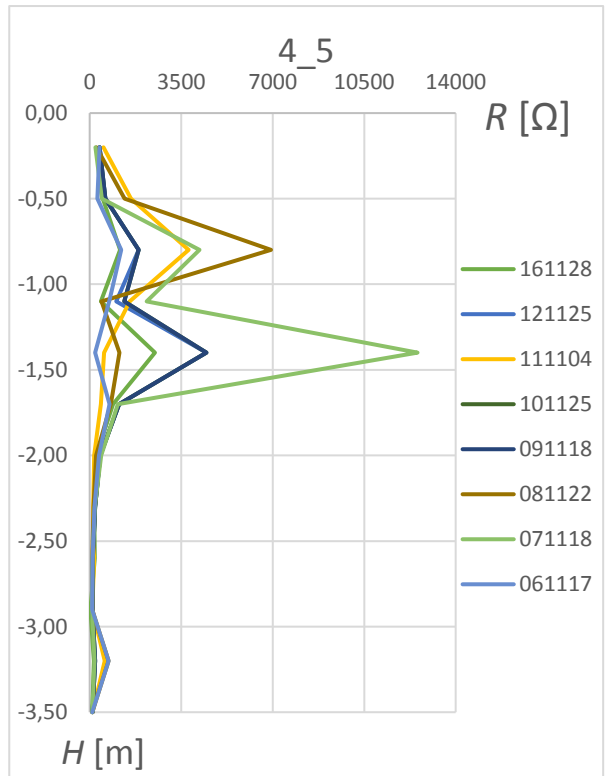
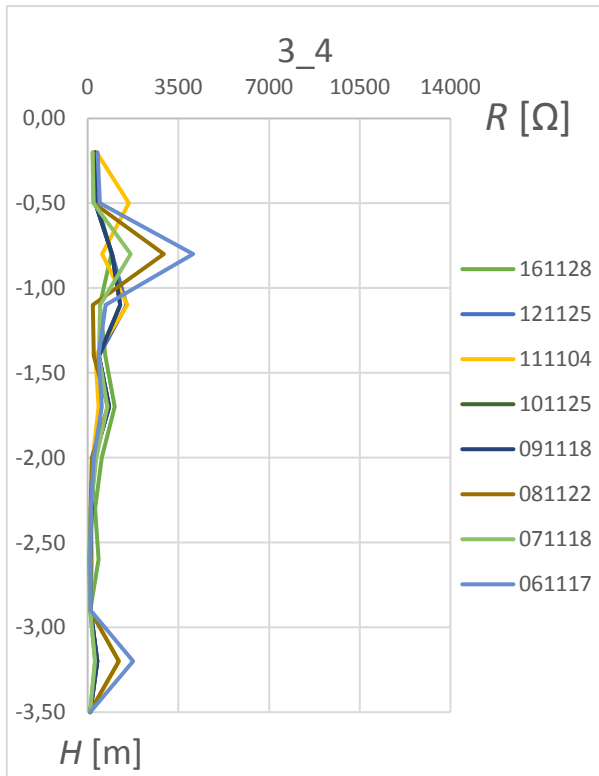
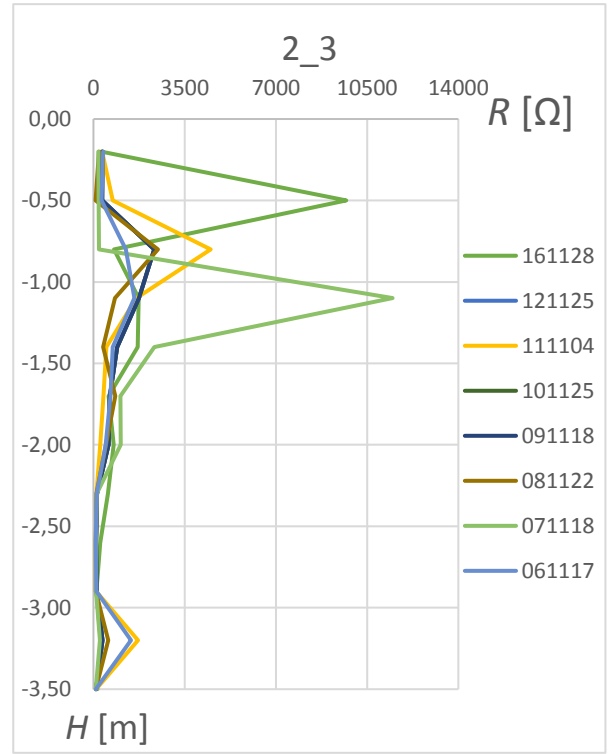
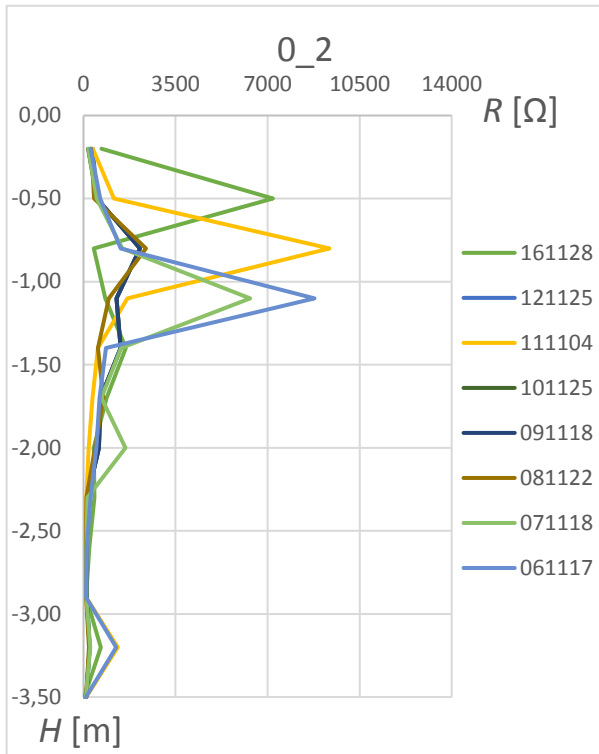
| ROK  | HLADINA [m n. m.] |          | HLADINA [m] |          | TEPLOTA [°C] |          |
|------|-------------------|----------|-------------|----------|--------------|----------|
|      | KVĚTEN            | LISTOPAD | KVĚTEN      | LISTOPAD | KVĚTEN       | LISTOPAD |
| 2006 | -                 | -        | -           | -        | -            | 8        |
| 2007 | -                 | 299,93   | -           | 2,29     | -            | 0        |
| 2008 | 299,94            | 300,00   | 2,30        | 2,36     | 22           | 0        |
| 2009 | 299,62            | 299,90   | 1,98        | 2,26     | 24           | 6        |
| 2010 | 300,19            | 299,91   | 2,55        | 2,27     | 11           | 0        |
| 2011 | 300,01            | 299,70   | 2,37        | 2,06     | 14           | 10       |
| 2012 | 299,72            | 299,68   | 2,08        | 2,04     | 17           | 10       |
| 2016 | 299,84            | 299,70   | 2,20        | 2,06     | 13           | 1        |



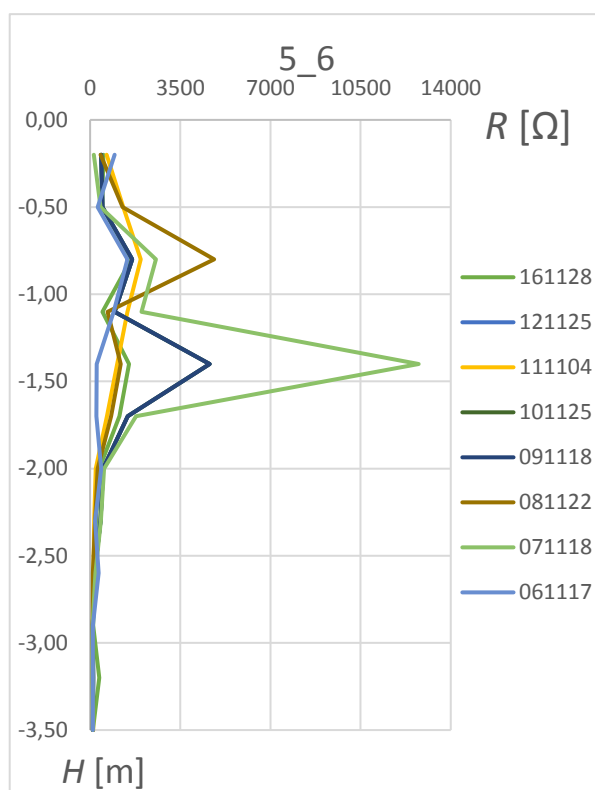


**Obr. 6.1 Průběh rezistance v květnu v jednotlivých letech**

Vyhodnocení změn rezistance po výšce profilu mezi jednotlivými sondami jsem provedla ve všech letech, kdy proběhlo měření, a to pro měsíc květen (Obr. 6.1) i listopad (Obr. 6.2). Z důvodu porovnatelnosti průběhů měřené rezistance je ve všech grafech použit jednotný rozsah souřadného systému  $H$ ,  $R$ .







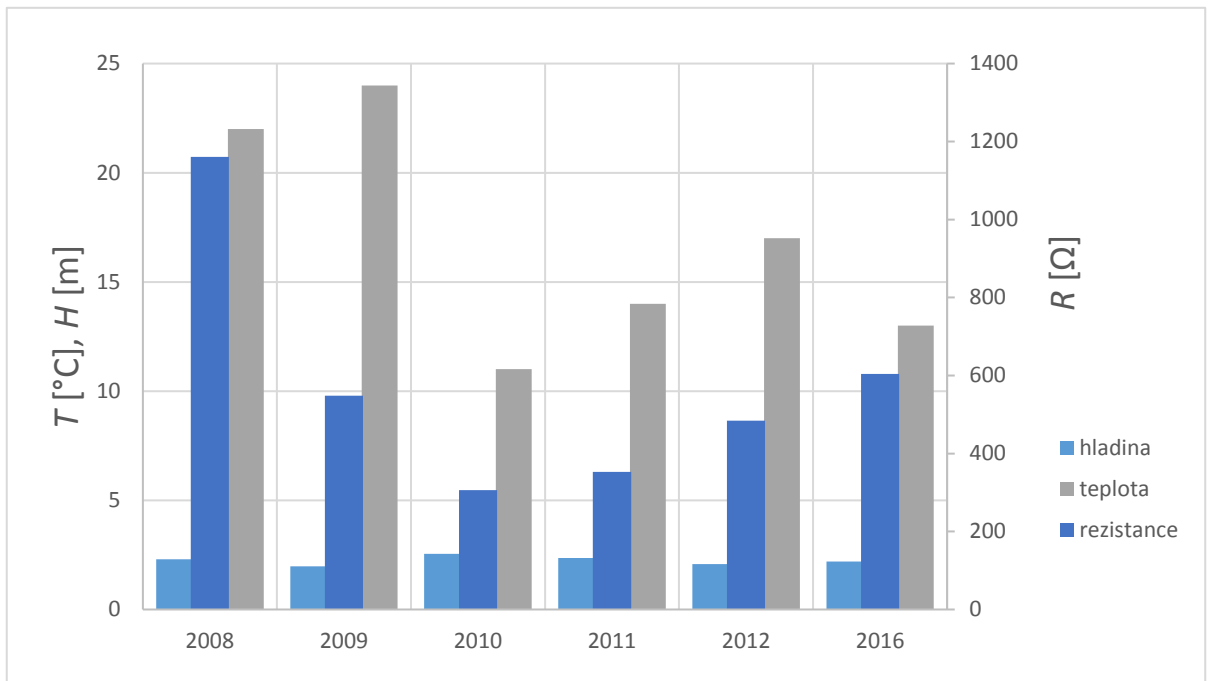
**Obr. 6.2 Průběh rezistance v listopadu v jednotlivých letech**

Hráz je navržena jako homogenní. Zemina použitá na její výstavbu byla místní a odebírala se převážně z levého svahu údolí. Poněvadž jí nebylo dostatečné množství, byla na stavbu použita i zemina z pravého svahu údolí, která se nachází pouze v části hráze ve vrstvě přibližně 1 m pod korunou hráze. Uvedené skutečnosti byly ústně potvrzeny v diskuzi s revírníkem, který byl budování hráze přítomen. V grafech (Obr. 6.1 a 6.2) je v této hloubce patrný výkyv hodnoty rezistance v profilech 2\_3, 4\_5 a 5\_6 v obou hodnocených měsících. Měřená hodnota rezistance nepřesahuje 13 kΩ, což na jedné straně dokumentuje její odlišné elektrochemické vlastnosti (zemina z pravého svahu), na druhé straně se ale může jednat i o zeminu pórovitější a méně ulehlou, kdy jsou póry vyplněny vzduchem.

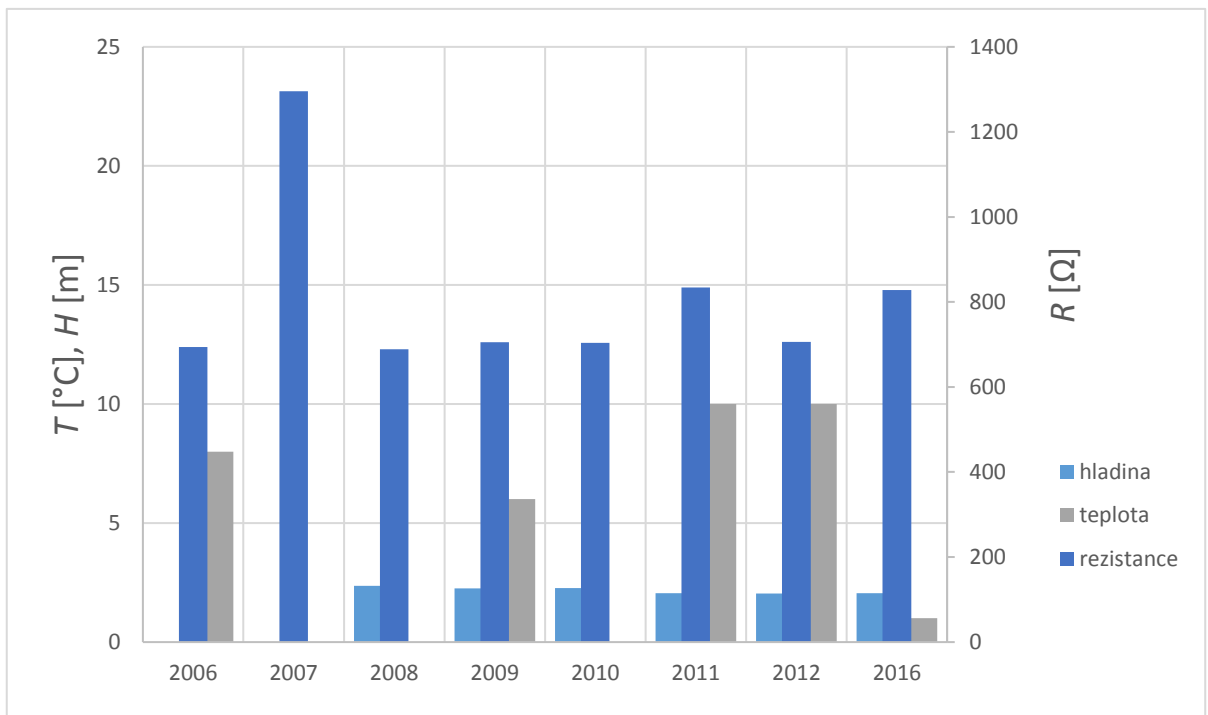
Vliv teploty vzduchu na hodnotu celkové průměrné rezistance není z uvedených výsledků měření zcela průkazný. Obecně lze konstatovat, že v měsíci květnu se na hodnotě rezistance spolu s teplotou výrazně podílí srážky, které však nebyly měřeny. V listopadu jsou vyšší hodnoty rezistance způsobeny i teplotou vzduchu, neboť zmrzlá zemina se chová jako elektricky velmi špatný vodič, což se projevuje vysokou hodnotou rezistance.

V souvislosti s kolísáním úrovně hladiny v MVN lze konstatovat, že ve většině případů hodnota rezistance klesá se stoupající úrovní hladiny vody v nádrži (Obr. 6.3), jak je patrné z dat naměřených v květnu. Data z listopadu jsou neúplná (Obr. 6.4). Lze však vyvodit některé závěry. Např. v roce 2011 a 2016 byla hladina vody v MVN v měsíci listopadu na stejné úrovni (Tab. 6.1) a ačkoli se teplota vzduchu ve dnech měření (čas měření byl shodně 08:10 h) lišila o 9 °C tj. o 90 %, zjištěné průměrné hodnoty rezistance se liší o 0,72%. Uvedená skutečnost vypovídá o průkaznosti měření, neboť ani v roce 2016 se nejednalo

o promrzání zeminy, a proto ovlivnění měřených hodnot rezistance teplotou vzduchu bylo minimální. Rovněž lze konstatovat, že kondice tělesa hráze nevykazuje výrazných změn.



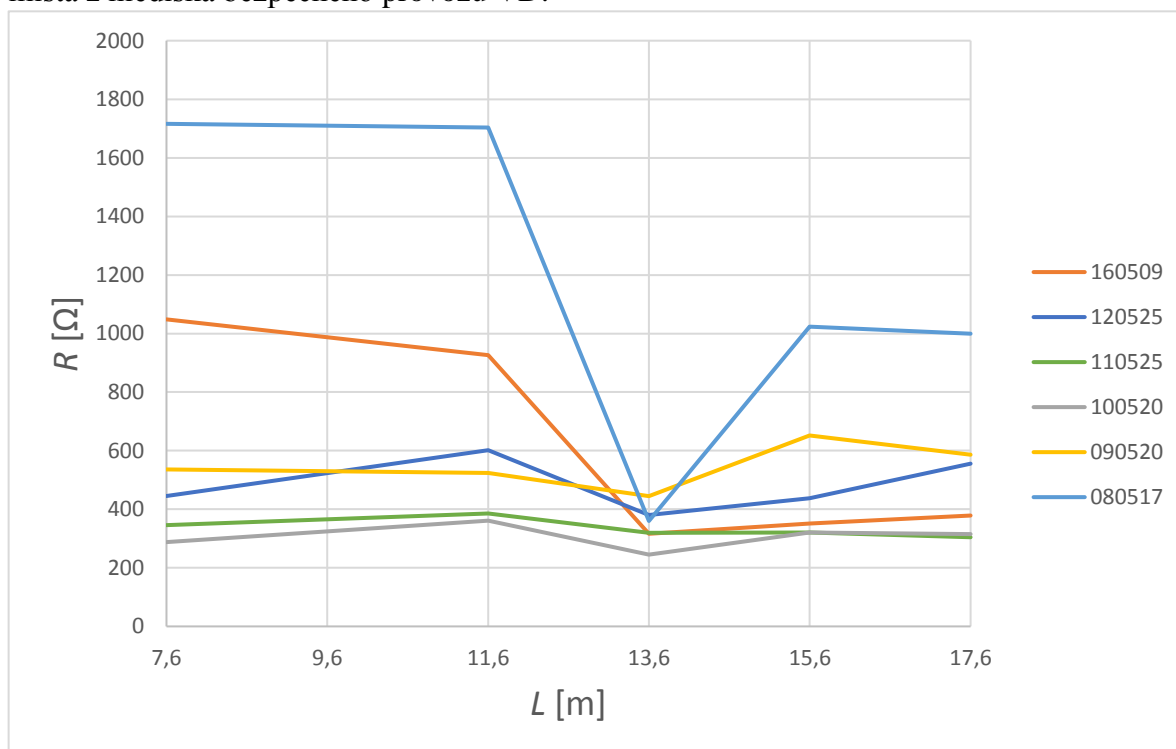
**Obr. 6.3** Hloubka vody, teplota vzduchu a rezistance v měsíci květnu



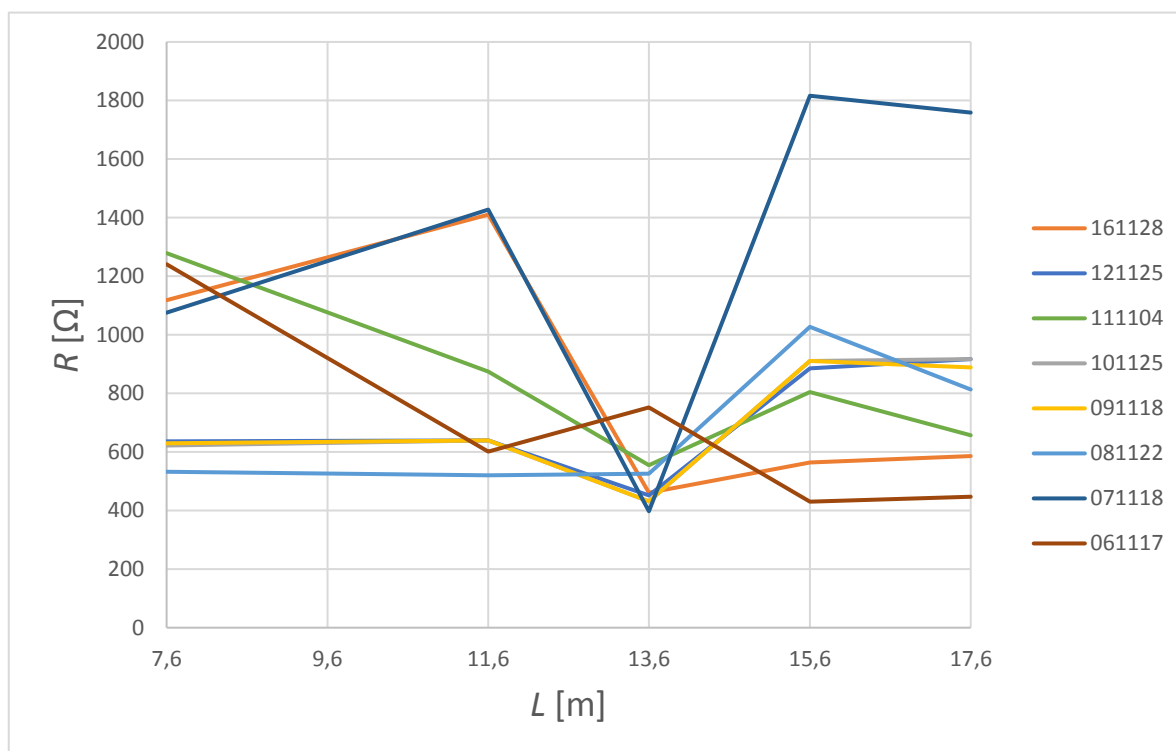
**Obr. 6.4** Hloubka vody, teplota vzduchu a rezistance v měsíci listopadu

Měření jsem zpracovala také jako průběh hodnot celkové průměrné rezistance stanovené v jednotlivých měřených profilech v návodním lici v jednotlivých letech v květnu (Obr. 6.5) a v listopadu (Obr. 6.6). Staničení sond je uvažováno od hrany bezpečnostního přelivu (Obr. 5.12b). V profilu 3\_4,  $L = 13,6$  m je v obou měsících a téměř ve všech měřených letech

patrné snížení hodnoty rezistance, což za předpokladu, že se nemění chemicko-fyzikální vlastnosti měřeného prostředí (voda, zemina), představuje výrazně vyšší obsah vody v měřeném profilu. Uvedená skutečnost proto upozorňuje na problematičnost uvedeného místa z hlediska bezpečného provozu VD.



Obr. 6.5 Průběh rezistance v návodním líci – květen 2008 – 2012 a 2016



Obr. 6.6 Průběh rezistance v návodním líci – listopad 2006 – 2012 a 2016

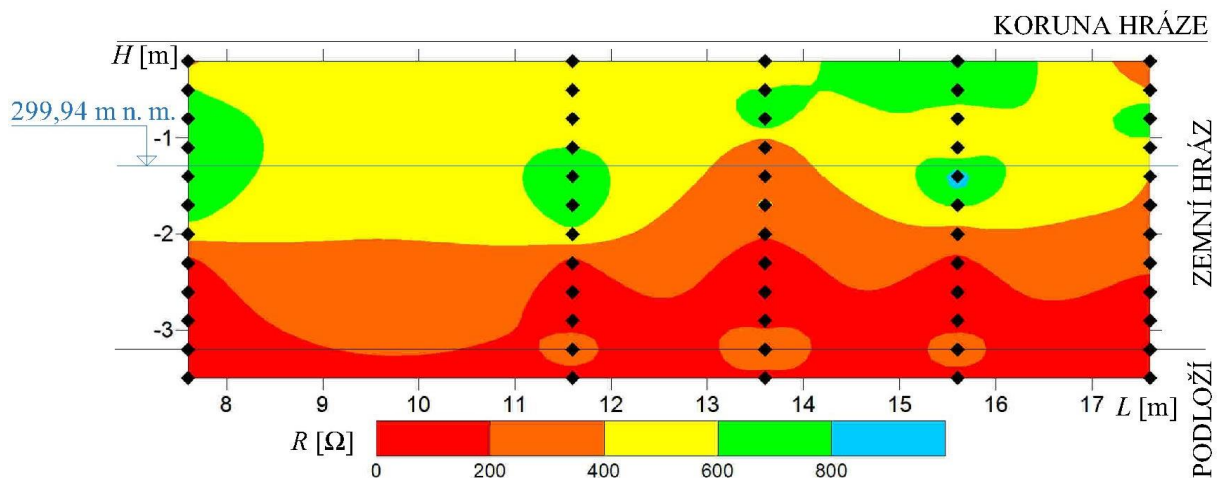
Dalším typem vyhodnocení, který dokumentuje případný výskyt oblastí s odlišnou rezistancí v měřené části návodního líce zemní hráze je vykreslení map izolinií (Obr. 6.7 až Obr. 6.10). K uvedenému způsobu zpracování jsem použila programový prostředek Surfer.

Kromě vyhodnocené mapy rozložení rezistance je znázorněna také úroveň hladiny v den měření, koruna hráze (301,2 m n. m.) a úroveň podloží (298,2 m n. m.). Poloha měřených bodů je zobrazena ve vztahu k hloubce pod korunou hráze, staničení je opět uvažováno od hrany bezpečnostního přelivu (Obr. 5.12b).

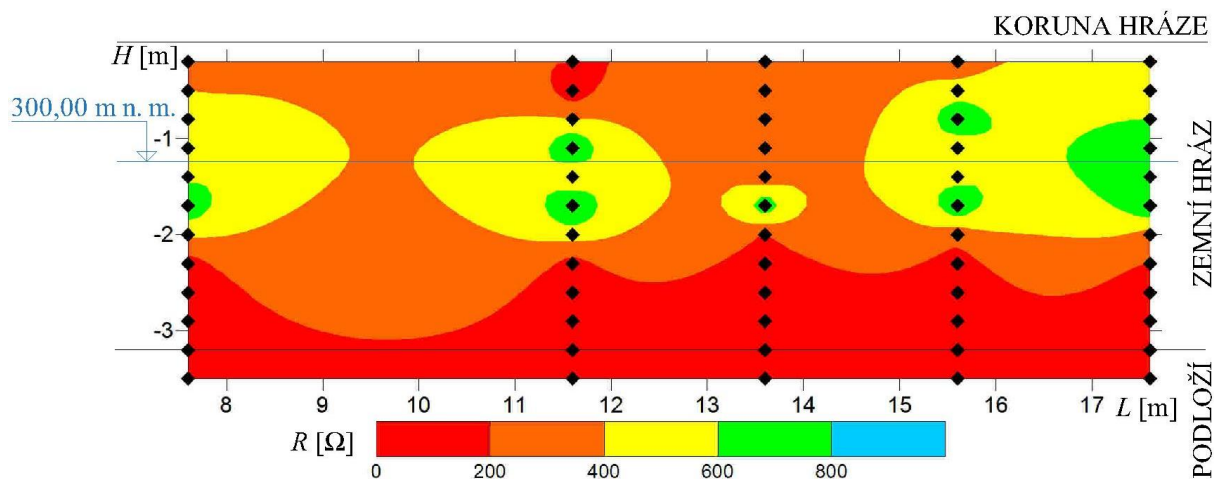
Z vyhodnocení měření v návodním líci je patrná plocha snížené rezistance, jejíž velká část se nachází v podloží hráze. Uvedená skutečnost se projevuje ve všech vyhodnoceních, která jsem provedla. Tato oblast značí nárůst vlhkosti zeminy a může ukazovat vznik privilegované cesty. Pro názornost uvádím výstupy z měření v roce 2008 a 2016.

Na mapě rezistance z měření v listopadu 2008 (Obr. 6.8) je zřejmý vyšší obsah vody (nízké hodnoty rezistance) v téměř celém měřeném profilu návodního líce hráze. Teplota vzduchu v den měření byla 0 °C a denní úhrn srážek měřený na stanici Kobeřice (dle záznamu dat poskytnutého ČHMÚ v roce 2008) byl 3,6 mm. Avšak měsíční srážkový úhrn byl v 11/2008 – 25,6 mm; v 10/2008 – 20,2 mm; v 09/2008 – 56,1 mm a v 08/2008 – 57,9 mm. Lze tedy předpokládat, že uvedená skutečnost je důsledkem srážek.

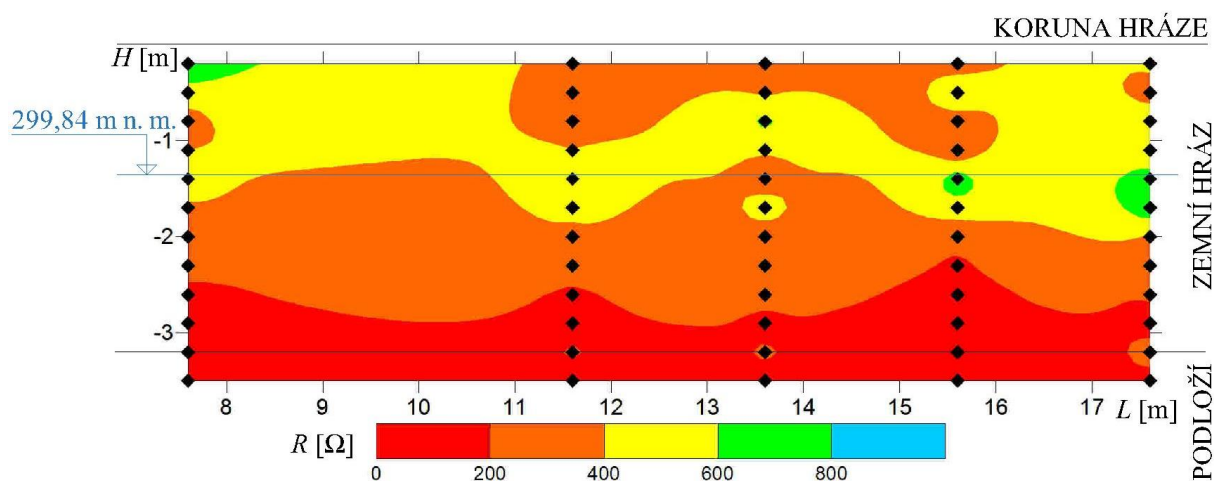
Výstupy z dalších měření pro srovnání uvádím v Příloze 2.



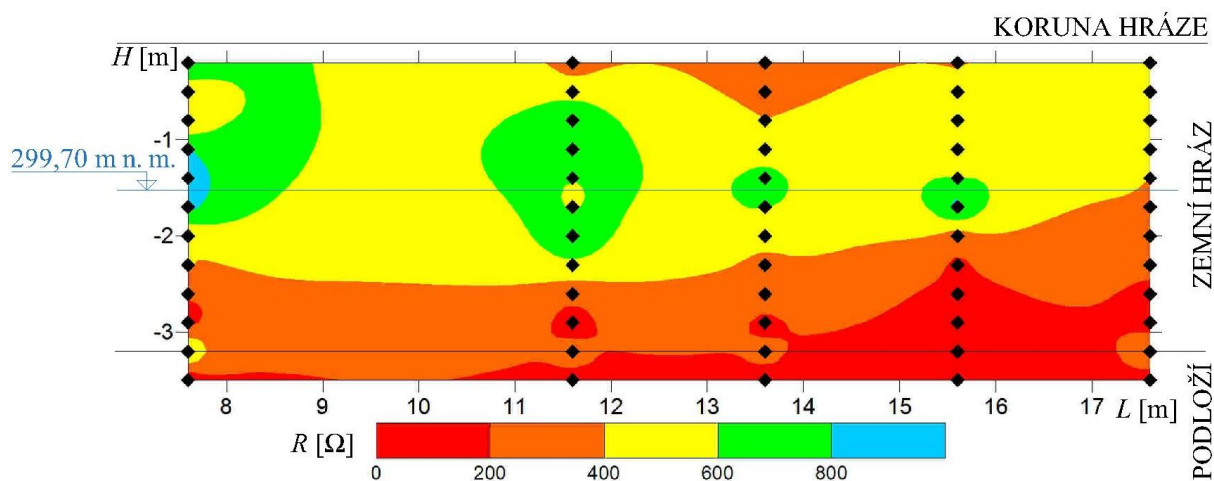
Obr. 6.7 Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 17.05.2008



Obr. 6.8 Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 22.11.2008



Obr. 6.9 Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 09.05.2016



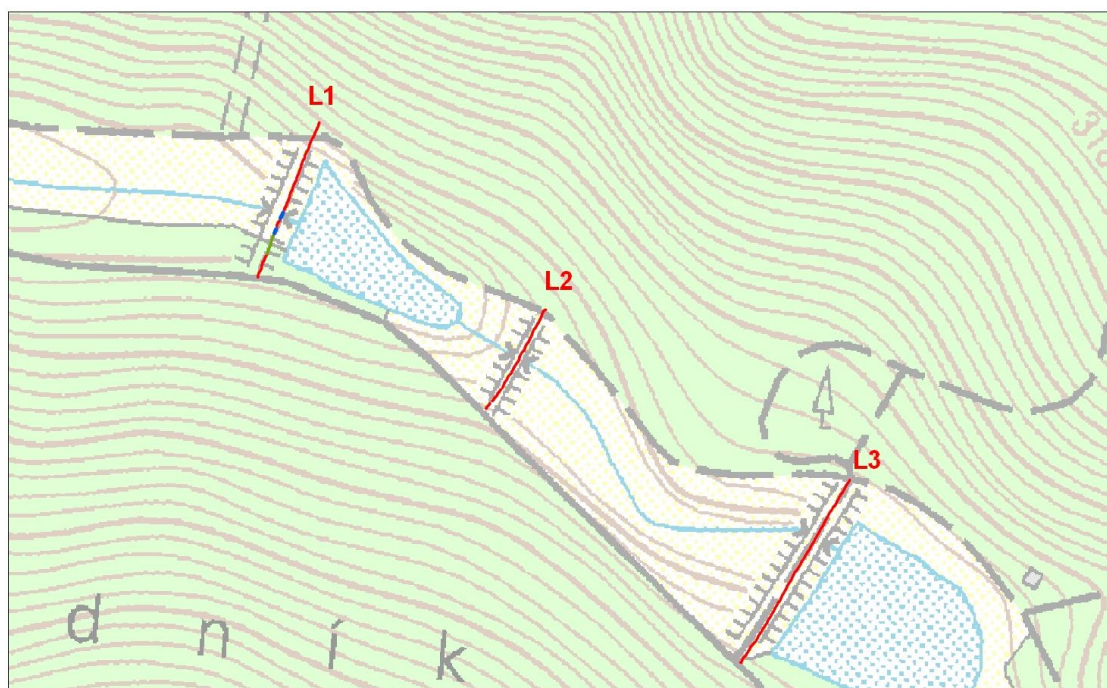
Obr. 6.10 Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 28.11.2016

V roce 2008 bylo realizováno kontrolní měření zemin na lokalitě z důvodu ověření zjištění monitorováním EIS. Měření bylo provedeno přístrojem GEM2. GEM je aparatura využívána



při dipólovém elektromagnetickém profilování (DEMP). Jedná se o mobilní monitorovací systém, který detekuje anomálie v zeminách.

Pomocí přístroje GEM2 (Obr. 6.11a) byla změřena a vyhodnocena linie hráze nádrže Bezedník III o celkové délce cca  $L_1 = 87$  m [13]. Pro srovnání byly změřeny i hráze dvou dalších nádrží  $L_2$  a  $L_3$  této soustavy (Obr. 6.11b), kde nebyly žádné anomálie zaznamenány. Hráze byly měřeny vždy od levého břehu k pravému, přibližně v ose hráze s počátkem na okraji lesní cesty.

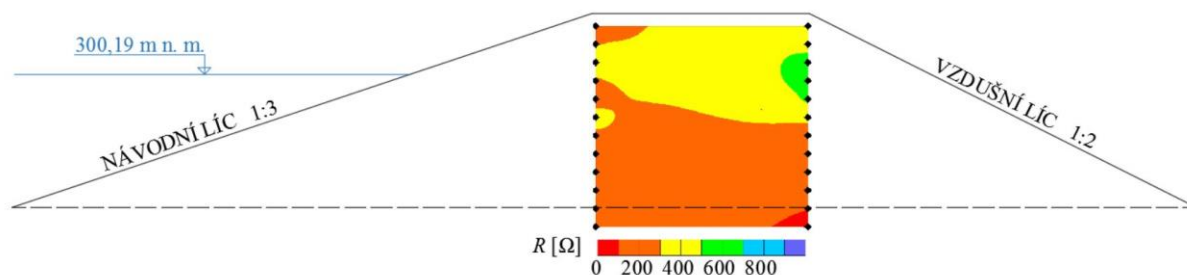


**Obr. 6.11** Měření (a) a vyhodnocení (b) přístrojem GEM2

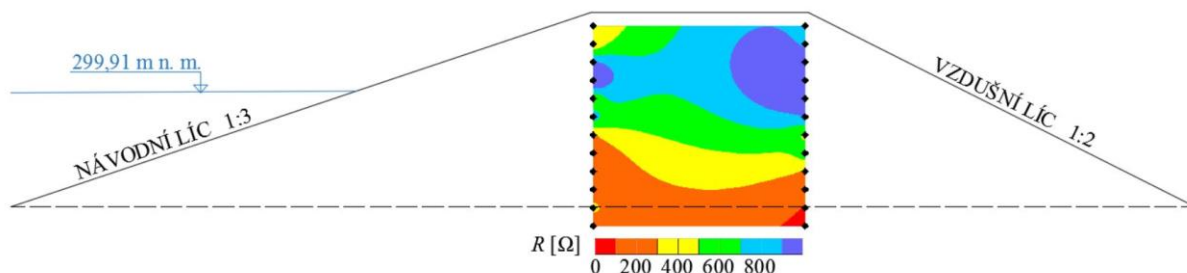
V hrázi nádrže Bezedník III byly detekovány dva úseky v základech hráze nebo pod ní, kde byla zjištěna snížená rezistance. Anomálie mohou být vysvětleny např. výskytem

hrubozrnějšího (propustnějšího) materiálu. Výsledek měření potvrdil údaje získané monitorováním EIS, tedy pravděpodobný výskyt privilegovaných cest v podloží hráze.

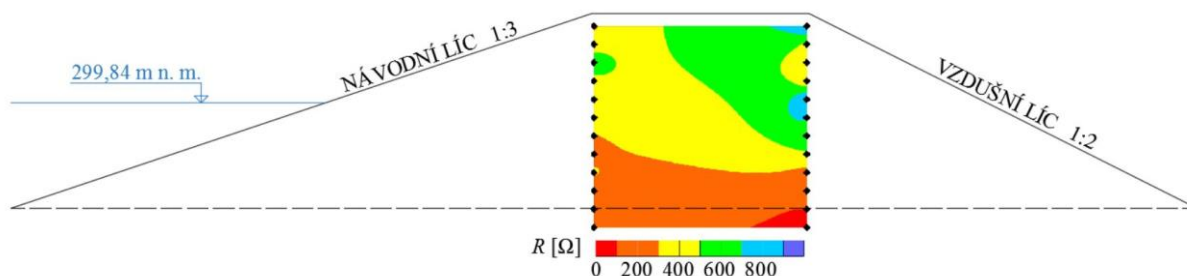
Oblast pravděpodobného průsaku je patrná z příčných řezů hrází (Obr. 6.11 až Obr. 6.14). Pro názornost uvádím příčné řezy z měření v roce 2010 (první rok, kdy byly sondy nainstalovány na vzdušném líci a měření proběhlo v květnu i v listopadu) a 2016. Zpracování dalších měření opět uvádím v Příloze 2.



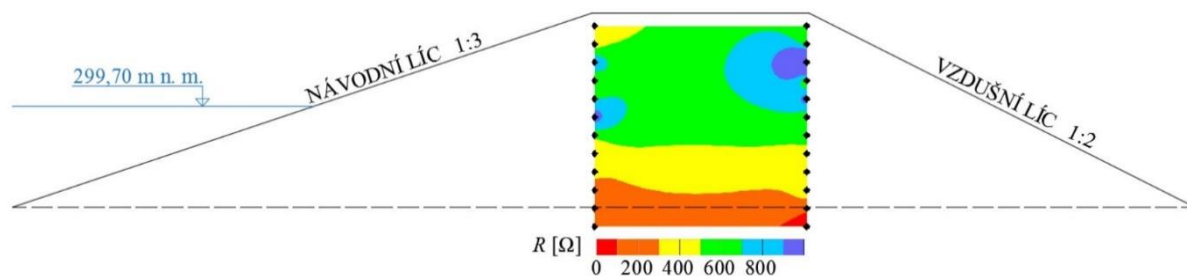
**Obr. 6.12** Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 20.05.2010



**Obr. 6.13** Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 25.11.2010



**Obr. 6.14** Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 09.05.2016



**Obr. 6.15** Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 28.11.2016

## 7 ZÁVĚR

Zemní hráz malé vodní nádrže Bezedník III je sledována metodou EIS dá se řici nepřetržitě od června 2006, kdy byly sondy instalovány na návodní líc. V červnu 2009 pak přibyly sondy i na vzdušní líc. Monitorování probíhalo od 06/2006 do 12/2012. Byla snaha provádět měření pravidelně jednou měsíčně až do března 2013, kromě krátkých období, kdy byla nádrž vypuštěna, nebo byl vydán zákaz vstupu na lokalitu z důvodu nebezpečí ohrožení života a měření tedy neproběhlo. V rámci své bakalářské práce jsem provedla měření v květnu a v listopadu 2016 a jeho cílem bylo na základě změřených dat prověřit životnost instalovaných měřicích sond a kompatibilitu měřicí aparatury s přístrojem Z-metr.

Výstupy z naměřených dat jsem vytvořila v programech MS Excel, AutoCAD a Surfer, a to v podobě tabulek, grafů, příčných a podélných řezů. Z výstupů je patrné, že mnou naměřená data plynule navazují na data z předchozích let včetně jejich interpretace.

Přestože data získaná na této lokalitě vykazují stále vysokou kvalitu, neproběhlo monitorování bez problému. Monitorování zemní hráze nádrže Bezedník III bylo provedeno měřicí aparaturou s přístrojem Z-metr jako první, tedy bez předchozí zkušenosti. Ukázalo se, že zde byly nevhodně zvoleny průměry vodičů zajišťujících přenos dat ze snímače do řídicího modulu Z-metru IV, ve verzi přístroje Z-metr II do nadřazeného PC. U některých sond instalovaných na návodním líci hráze došlo k přetržení jednotlivých vodičů jejich ukroucením u zhlaví trubice, čímž se stala elektroda nefunkční. Uvedená skutečnost však byla velmi dobře identifikovatelná nesmyslně vysokými hodnotami měřené rezistance a reaktance. Takto identifikované hodnoty jsem pro další postup vyhodnocení vyloučila a nahradila je hodnotami interpolovanými z okolních bodů.

Cílem mojí práce bylo vyhodnotit životnost sond instalovaných v zemní hrázi MVN po dobu více než 10 let. Provedla jsem vizuální kontrolu elektrod umístěných pod povrchem při jejich částečném obnažení, kdy jsem nezaznamenala žádné povrchové změny ani porušení těsnicího silikonového tmelu ve zhlaví trubicové sondy. Na základě svých měření a provedených analýz se domnívám, že sondy i po této době plní svou funkci a podávají údaje srovnatelné po celou dobu umístění v hrázi. Lze také předpokládat, že budou funkční i nadále, pokud nedojde k nějakému zásadnímu zásahu do konstrukce hráze, a to jak ze strany člověka, tak i přírody.

V Brně dne 23.5.2017

.....  
podpis



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

CHAURIS, Hervé, Andy ADLER a William LIONHEART. *100 years of electrical imaging: Paris, 9-10 July 2012*. 3rd ed. / . Hoboken, NJ: John Wiley, 2005, 192 p. ISBN 29-112-5687-5.

ČSN 75 2410. *Malé vodní nádrže*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

DOLEŽAL, Petr. *Rybníky a účelové nádrže: Modul 1*. Brno: VUT, 2007.

DOLEŽAL, Petr. *Rybníky a účelové nádrže: Modul 3*. Brno: VUT, 2007.

HLADNÝ, Josef. *Katastrofální povodeň v České republice v srpnu 2002*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2005. ISBN 80-721-2350-5.

HOBST, Leonard, ADÁMEK, Jiří, CIKRLE, Petr, SCHMID, Pavel. *Diagnostika stavebních konstrukcí*. Přednášky. CERM Brno, 2005.

JANČOVIČ, Ladislav, Petr DOSTÁL a Pavlína FRÝBOVÁ. *Geofyzikální metody měření v geotechnice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb, 2014. ISBN 978-80-214-4910-7.

JANDORA, Jan, ŘÍHA, Jaromír, ed. *Porušení sypaných hrází v důsledku přelití*. Brno: ECON, 2002. ISBN 80-864-3315-5.

JŮVA, Karel, Antonín HRABAL a Rudolf PUSTĚJOVSKÝ. *Malé vodní nádrže*. Praha: SZN, 1980.

KAROUS, Miloš. *Geoelektrické metody průzkumu: celostátní vysokoškolská učebnice pro studenty přírodovědeckých fakult skupiny studijních oborů 12 geologické vědy*. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-030-0035-1.

KIRSCH, Reinhard. Demonstrates the applications of geophysical techniques to hydrogeological problems. In: *Groundwater Geophysics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. DOI: 10.1007/978-3-540-88405-7. ISBN 978-3-540-88404-0.

KROOVÁ, Hana, GRUNTORÁD, Jan, KAROUS, Miloš. *Možnosti použití geofyzikálních metod při ověřování nejasných strukturně geologických, popř. jiných vztahů na lokalitách při průzkumu a nápravě starých ekologických zátěží*. Edice PLANETA '99, ročník VII, číslo 1/99, MŽP 1999.

MAREŠ, Stanislav a kol. *Geofyzikální metody v hydrogeologii a inženýrské geologii*, Praha: SNTL, 1983, 198 stran.

MAREŠ, Stanislav. *Úvod do užití geofyziky*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1979, 590 s.

PAŘÍLKOVÁ, Jana a kol. *Optimalizace metod monitorování volné hladiny a jejího působení v zemních hrázích*. Závěrečná zpráva GP 103/04/0741 GA ČR. LVV ÚVST, FAST, VUT v Brně, 2006.

PAŘÍLKOVÁ, Jana. *EUREKA 2013: 1st conference and working session within the frame of the international program EUREKA, project no. E!4981 : October 30 to November 1, 2013: Karolinka, Czech Republic*. 2013, 275 s. ISBN 978-80-214-4735-6.

PAŘÍLKOVÁ, Jana a Karel Radkovský. *Z-metr IV – uživatelský manuál*. LVV ÚVST, FAST, VUT v Brně, 24 str., 2016.

PATOČKA, Michael. *Fyzikální modelování šíření znečištění ve vodních tocích a způsoby jeho monitorování*. Brno, 2006. Diplomová práce. VUT v Brně, FAST, Ústav vodních staveb.

ŘÍHA, Jaromír. *Hydrotechnické stavby II: Modul 01 Přehrady*. Brno: VUT, 2006.

ŘÍHA, Jaromír. *Ochranné hráze na vodních tocích*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3570-2.

STARÝ, Miloš. *Nádrže a vodohospodářské soustavy: Modul 1*. Brno: VUT, 2006.

ŠÁLEK, Jan. *Rybníky a účelové nádrže*. Brno: VUTIUM, 2001. ISBN 80-214-1806-0.

TELFORD, W. M. *Applied geophysics. 2*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. ISBN 05-213-3938-3.

VRÁNA, Karel a Jan BERAN. *Rybníky a účelové nádrže*. 3. vydání. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-04002-7.

WENNER, Frank. *A Method of Measuring Earth Resistivity*. Report No. 258, Bulletin of Bureau of Standards, Vol. 12, No. 3, 1915.

### ***Další použité zdroje***

[1] *Technická dokumentace VN Kobeřice*. 1979 – 2009.

[2] RAMEŠ, Václav. Počátky rybníkářství u nás. In: *Oficiální stránky města Lomnice nad Lužnicí* [online]. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://www.lomnice-nl.cz/turista/priroda/rybnikarstvi-rybnicni-soustavy-v-okoli/historie-rybnikarstvi/pocatky-rybnikarstvi-u-nas/>

[3] RAMEŠ, Václav. Rybníkářství - historie. In: *Třeboň a okolí - Třeboňsko.cz* [online]. 2011 [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://www.trebonsko.cz/rybnikarstvi-historie>

[4] <http://arduino-shop.cz/arduino/1446-plochy-vicezilovy-kabel-vfl-16x0-15-1476827803.html>

[5] <https://www.ges.cz/sk/kabely-konektory/prislusenstvi-pro-mereni-a-laborator/krokosvorky/krokosvorka-miniaturni-izolovana-pajeci-2a/SCJ5H.html>

[6] <https://www.nej-ceny.cz>

[7] <https://www.ges.cz/cz/tas-c131-6-modre-GES06900077.html>

[8] [https://www.elima.cz/obchod/280004-zasuvka-plocha-faston-1-25-\\_-63x08-haupa-p-17266.html](https://www.elima.cz/obchod/280004-zasuvka-plocha-faston-1-25-_-63x08-haupa-p-17266.html)

[9] <https://www.gme.cz/sada-smrstovacich-buzirek-k-stmc2>

[10] <https://mapy.cz>

[11] POLÁČEK, Jiří. Význam malých vodních nádrží v protipovodňové ochraně. In: *Věda.cz* [online]. 2006 [cit. 2016-09-13]. Dostupné z: <http://www.veda.cz/article.do?articleId=12856>

[12] <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=brno>

[13] Interpretace QTM měření Koberice ze dne 22.12.2008, Mgr. Milan Hrdlička.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

|      |  |
|------|--|
| ČHMÚ | Český hydrometeorologický ústav        |
| ČSN  | Česká technická norma                  |
| DEMP | dipólové elektromagnetické profilování |
| EIS  | elektrická impedanční spektrometrie    |
| FAST | Fakulta stavební                       |
| GEM  | geoelektrická metoda                   |
| HPV  | hladina podzemní vody                  |
| IGP  | inženýrsko-geologický průzkum          |
| LVV  | Laboratoř vodohospodářského výzkumu    |
| MVN  | malá vodní nádrž                       |
| PC   | osobní počítač (Personal Computer)     |
| ÚVST | Ústav vodních staveb                   |
| VD   | vodní dílo                             |
| VUT  | Vysoké učení technické                 |

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

| Symbol    | název  | jednotka                           |
|-----------|--|------------------------------------|
| $A$       | plocha (průřezu; elektrického vodiče)        | [m <sup>2</sup> ]                  |
| $f$       | frekvence budicího signálu                   | [Hz]                               |
| $G$       | elektrická vodivost                          | [S]                                |
| $h$       | výška hladiny vody v nádrži                  | [m]                                |
| $H$       | výška hladiny vody v nádrži nad úrovní drénu | [m]                                |
| $h_{max}$ | maximální výška hladiny vody v nádrži        | [m]                                |
| $h_x$     | měřená úroveň                                | [m]                                |
| $I$       | elektrický proud                             | [A]                                |
| $I$       | fázor elektrického proudu                    | [A]                                |
| $L$       | délka  | [m]                                |
| $l$       | vzdálenost dvou elektrod                     | [m]                                |
| $x$       | sklon návodního líce hráze                   | [-]                                |
| $y$       | sklon vzdušného líce hráze                   | [-]                                |
| $Q$       | průtok                                       | [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ] |
| $Q_m$     | m-denní průtok                               | [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ] |
| $Q_N$     | N-letý průtok                                | [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ] |
| $R$       | rezistance                                   | [Ω]                                |
| $T$       | teplota vzduchu                              | [°C]                               |
| $t$       | čas  | [s]                                |
| $V$       | objem zeminy                                 | [m <sup>3</sup> ]                  |
| $X$       | reaktance                                    | [Ω]                                |
| $X_C$     | kapacitance                                  | [Ω]                                |
| $Z$       | výška hráze                                  | [m]                                |
| $Z$       | fázor elektrické impedance                   | [Ω]                                |
| $ Z $     | modul elektrické impedance                   | [Ω]                                |
| $\rho$    | rezistivita                                  | [Ω·m]                              |
| $\sigma$  | konduktivita                                 | [S·m <sup>-1</sup> ]               |
| $\varphi$ | fázový posun                                 | [-]                                |
| $\omega$  | úhlová rychlost                              | [rad·s <sup>-1</sup> ]             |



## SEZNAM OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obr. 2.1 Vrcholová nádrž (Starý, 2006) .....   | 13 |
| Obr. 2.2 Boční nádrž (Starý, 2006).....  | 13 |
| Obr. 2.3 Údolní nádrž (Starý, 2006) .....  | 14 |
| Obr. 2.4 Rozdělení podle půdorysného tvaru osy hráze (ČSN 75 2410).....  | 14 |
| Obr. 2.5 Schéma homogenní hráze (ČSN 75 2410) .....  | 16 |
| Obr. 2.6 Schéma nehomogenní hráze se středním těsněním (ČSN 75 2410).....  | 17 |
| Obr. 2.7 Graf pro určení orientačních hodnot výparu z volné hladiny (ČSN 75 2410) .....  | 18 |
| Obr. 4.1 Znázornění fázoru elektrické impedance.....   | 23 |
| Obr. 4.2 Princip měření elektrické impedance zeminy.....   | 24 |
| Obr. 4.3 Přístroj Z-metr IV .....  | 25 |
| Obr. 4.4 Schéma připojení sondy a příslušenství přístroje .....  | 25 |
| Obr. 4.5 Přístroj Z-metr II (rok 2006 vlevo a uprostřed, 2011 vpravo) (Pařílková).....   | 27 |
| Obr. 4.6 Konstrukční řešení trubicové sondy (Pařílek, 2006) .....  | 28 |
| Obr. 4.7 Plochý vícežilový kabel VFL (vlevo) [4], miniaturní krokosvorky MCV 35/0 a 35/2 (vpravo) [5] .....  | 28 |
| Obr. 4.8 Propojovací prvky využité na návodním líci hrázi: plastový kryt konektoru Canon 25 (vlevo), konektor Canon 25F a 25M kabelový (vpravo) [6].....             | 29 |
| Obr. 4.9 Propojovací prvky použité na vzdušním líci hráze: lanko Cu (vlevo) [7], zásuvka plochá Faston (uprostřed) [8], sada smršťovacích bužírek (vpravo) [9] ..... | 29 |
| Obr. 4.10 Manuální instalace dělených trubicových sond (Pařílková, 2006).....  | 30 |
| Obr. 4.11 Úprava povrchu zemní hráze v roce 2006 (Pařílková) a v roce 2016 (Koudelková) .....  | 30 |
| Obr. 4.12 Měřicí místa a stav obnažené kabeláže pro přenos signálů ze sond v roce 2016 – návodní líc, vpravo vzdušní líc (Koudelková).....                           | 31 |
| Obr. 4.13 Měřicí místa a stav obnažené kabeláže pro přenos signálů ze sond v roce 2016 – vzdušní líc (Koudelková).....   | 31 |
| Obr. 5.1 Situace území s vyznačením řešené nádrže [10] .....   | 32 |
| Obr. 5.2 Soustava tří nádrží s vyznačenou řešenou nádrží Bezedník III [10] .....   | 33 |
| Obr. 5.3 Nádrž Bezedník III (Pařílková) .....  | 34 |
| Obr. 5.4 Detail původního opevnění návodního líce [1] .....  | 36 |
| Obr. 5.5 Vzorový příčný řez hrázi [1] .....  | 36 |

|   |    |
|---|----|
| Obr. 5.6 Bezpečnostní přeliv (nahore červen 2016 - Koudelková, dole po povodni 16.6.2010 - Pařílková).....  | 37 |
| Obr. 5.7 Pohled na hráz - květen 2016 (Koudelková).....   | 38 |
| Obr. 5.8 Výpustné zařízení - celokovový požerák, květen 2016 (Koudelková).....  | 38 |
| Obr. 5.9 Vzdušní líc hráze a vegetace pod hrází (2006, Pařílková) .....   | 39 |
| Obr. 5.10 Návodní líc po rekonstrukci (2007, Pařílková) .....   | 39 |
| Obr. 5.11 Situace monitorovacích trubic (červen 2009) (Pařílková, 2013).....  | 40 |
| Obr. 5.12 Schéma zemní hráze (a), situace monitorovacích trubic na návodním líci (b) a detail pozic snímačů (c) (Pařílková, 2006) .....                 | 41 |
| Obr. 5.13 Monitorování na lokalitě (květen 2009 - Pařílek, květen 2016 - Koudelková).....   | 42 |
| Obr. 5.14 Příklad monitorovaných profilů na hrázi MVN Bezedník III (plná čára profil měřený od 08/2006, čárkovaná čára profily měřené od 06/2009) ..... | 43 |
| Obr. 5.15 Schéma zapojení měřicích sond na návodním líci hráze a vyhodnocených bodů v profilech P1 až P6.....   | 43 |
| Obr. 5.16 Vliv fauny a flory .....  | 44 |
| Obr. 6.1 Průběh rezistance v květnu v jednotlivých letech .....   | 46 |
| Obr. 6.2 Průběh rezistance v listopadu v jednotlivých letech.....   | 48 |
| Obr. 6.3 Hloubka vody, teplota vzduchu a rezistance v měsíci květnu .....   | 49 |
| Obr. 6.4 Hloubka vody, teplota vzduchu a rezistance v měsíci listopadu .....  | 49 |
| Obr. 6.5 Průběh rezistance v návodním líci – květen 2008 – 2012 a 2016 .....  | 50 |
| Obr. 6.6 Průběh rezistance v návodním líci – listopad 2006 – 2012 a 2016 .....  | 50 |
| Obr. 6.7 Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 17.05.2008.....  | 51 |
| Obr. 6.8 Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 22.11.2008.....  | 52 |
| Obr. 6.9 Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 09.05.2016.....  | 52 |
| Obr. 6.10 Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 28.11.2016.....   | 52 |
| Obr. 6.11 Měření (a) a vyhodnocení (b) přístrojem GEM2.....   | 53 |
| Obr. 6.12 Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 20.05.2010.....  | 54 |
| Obr. 6.13 Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 25.11.2010.....  | 54 |
| Obr. 6.14 Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 09.05.2016.....  | 54 |
| Obr. 6.15 Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 28.11.2016.....  | 54 |

## SEZNAM TABULEK

|  |    |
|--|----|
| Tab. 2.1 Orientační sklony svahů zemních hrází (ČSN 75 2410) .....                 | 16 |
| Tab. 2.2 Přibližné rozdělení výparu na jednotlivé měsíce v roce (ČSN 75 2410)..... | 17 |
| Tab. 4.1 Základní parametry přístroje Z-metr IV .....                              | 26 |
| Tab. 4.2 Základní parametry přístroje Z-metr II.....                               | 27 |
| Tab. 5.1 M - denní průtoky: $Q_m$ [l/s].....                                       | 33 |
| Tab. 5.2 N - leté průtoky: $Q_N$ [m <sup>3</sup> /s] .....                         | 33 |
| Tab. 5.3 Základní hydrologické údaje .....   | 34 |
| Tab. 5.4 Základní rozměry nádrže .....   | 35 |
| Tab. 5.5 Průtokové charakteristiky .....   | 35 |
| Tab. 6.1 Hodnoty teplot a úrovně hladiny v měsících měření .....                   | 45 |

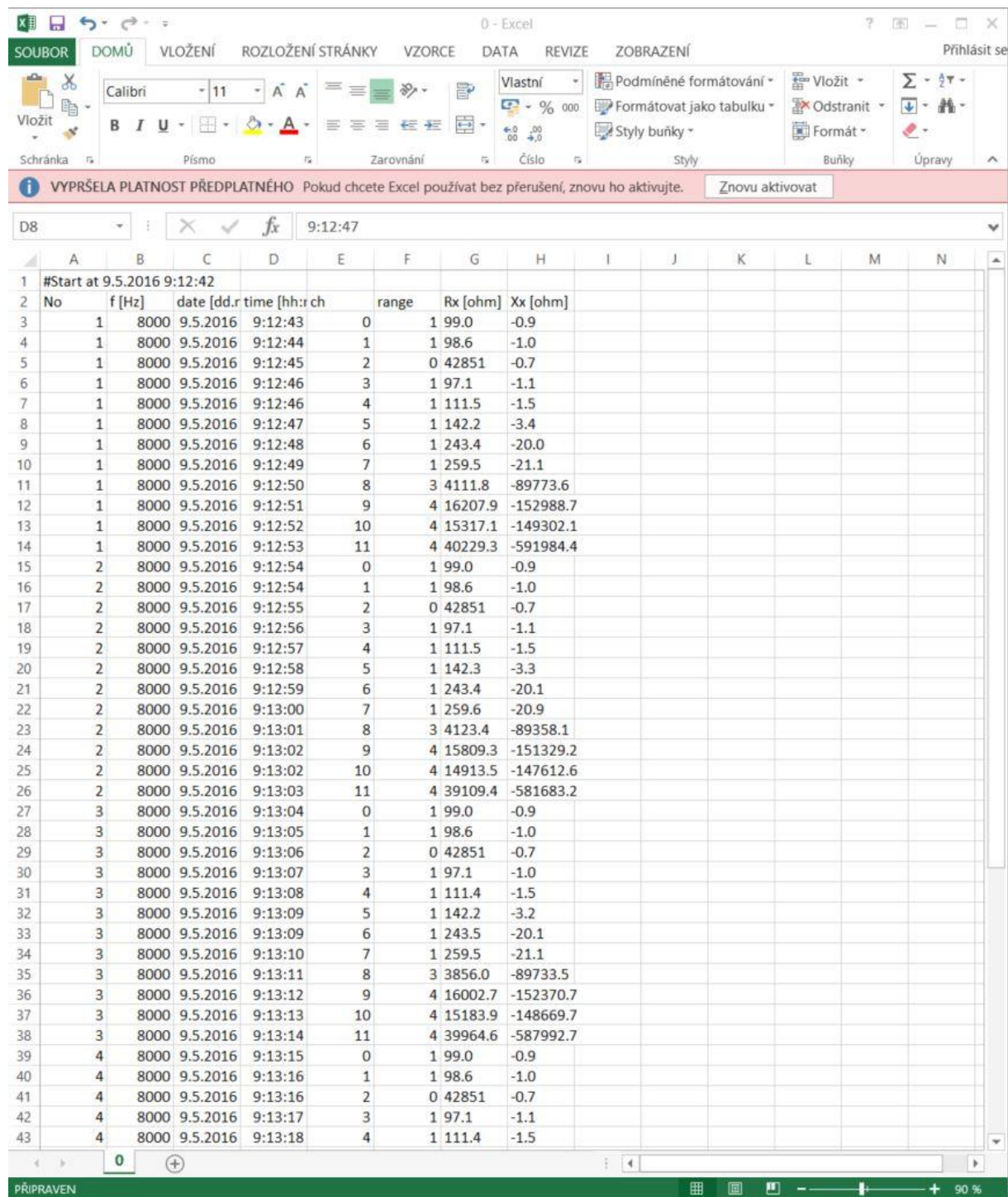
## **SEZNAM PŘÍLOH**

|   |    |
|---|----|
| Příloha 1 Ukázka zpracování dat.....      | 65 |
| Příloha 2 Vyhodnocení map rezistance..... | 68 |

# PŘÍLOHA 1 UKÁZKA ZPRACOVÁNÍ DAT

Do tabelárního vyjádření v prostředí programu MS Excel lze převést pořadové číslo měření – No, měřicí frekvenci –  $f$  [Hz], datum měření – date [dd.mm.yyyy], hodinu měření – time [hh:mm:ss], měřicí kanál – ch, měřicí rozsah – range, měřenou rezistanci –  $R_x$  [ $\Omega$ ], měřenou reaktanci –  $X_x$  [ $\Omega$ ], kdy oddělovacím prvkem záznamu je středník.

V poslední verzi programu MS Excel se již rozdělí sloupce podle oddělovacího prvku samy.



The screenshot shows the Microsoft Excel interface with a data table. The table has the following columns: No, f [Hz], date [dd.r], time [hh:mm:ss], ch, range, Rx [ohm], and Xx [ohm]. The data is organized into groups based on the 'ch' column, with values 0, 1, 2, 3, 4, and 11. Each group contains multiple rows of measurement data.

| No                         | f [Hz] | date [dd.r] | time [hh:mm:ss] | ch      | range | Rx [ohm]  | Xx [ohm]  |
|----------------------------|--------|-------------|-----------------|---------|-------|-----------|-----------|
| #Start at 9.5.2016 9:12:42 |        |             |                 |         |       |           |           |
| 1                          | 1      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:43 | 0     | 1 99.0    | -0.9      |
| 2                          | 1      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:44 | 1     | 1 98.6    | -1.0      |
| 3                          | 1      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:45 | 2     | 0 42851   | -0.7      |
| 4                          | 1      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:46 | 3     | 1 97.1    | -1.1      |
| 5                          | 1      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:46 | 4     | 1 111.5   | -1.5      |
| 6                          | 1      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:47 | 5     | 1 142.2   | -3.4      |
| 7                          | 1      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:48 | 6     | 1 243.4   | -20.0     |
| 8                          | 1      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:49 | 7     | 1 259.5   | -21.1     |
| 9                          | 1      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:50 | 8     | 3 4111.8  | -89773.6  |
| 10                         | 1      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:51 | 9     | 4 16207.9 | -152988.7 |
| 11                         | 1      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:52 | 10    | 4 15317.1 | -149302.1 |
| 12                         | 1      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:53 | 11    | 4 40229.3 | -591984.4 |
| 13                         | 2      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:54 | 0     | 1 99.0    | -0.9      |
| 14                         | 2      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:54 | 1     | 1 98.6    | -1.0      |
| 15                         | 2      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:55 | 2     | 0 42851   | -0.7      |
| 16                         | 2      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:56 | 3     | 1 97.1    | -1.1      |
| 17                         | 2      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:57 | 4     | 1 111.5   | -1.5      |
| 18                         | 2      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:58 | 5     | 1 142.3   | -3.3      |
| 19                         | 2      | 8000        | 9.5.2016        | 9:12:59 | 6     | 1 243.4   | -20.1     |
| 20                         | 2      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:00 | 7     | 1 259.6   | -20.9     |
| 21                         | 2      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:01 | 8     | 3 4123.4  | -89358.1  |
| 22                         | 2      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:02 | 9     | 4 15809.3 | -151329.2 |
| 23                         | 2      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:02 | 10    | 4 14913.5 | -147612.6 |
| 24                         | 2      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:03 | 11    | 4 39109.4 | -581683.2 |
| 25                         | 3      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:04 | 0     | 1 99.0    | -0.9      |
| 26                         | 3      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:05 | 1     | 1 98.6    | -1.0      |
| 27                         | 3      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:06 | 2     | 0 42851   | -0.7      |
| 28                         | 3      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:07 | 3     | 1 97.1    | -1.0      |
| 29                         | 3      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:08 | 4     | 1 111.4   | -1.5      |
| 30                         | 3      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:09 | 5     | 1 142.2   | -3.2      |
| 31                         | 3      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:09 | 6     | 1 243.5   | -20.1     |
| 32                         | 3      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:10 | 7     | 1 259.5   | -21.1     |
| 33                         | 3      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:11 | 8     | 3 3856.0  | -89733.5  |
| 34                         | 3      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:12 | 9     | 4 16002.7 | -152370.7 |
| 35                         | 3      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:13 | 10    | 4 15183.9 | -148669.7 |
| 36                         | 3      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:14 | 11    | 4 39964.6 | -587992.7 |
| 37                         | 4      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:15 | 0     | 1 99.0    | -0.9      |
| 38                         | 4      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:16 | 1     | 1 98.6    | -1.0      |
| 39                         | 4      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:16 | 2     | 0 42851   | -0.7      |
| 40                         | 4      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:17 | 3     | 1 97.1    | -1.1      |
| 41                         | 4      | 8000        | 9.5.2016        | 9:13:18 | 4     | 1 111.4   | -1.5      |

Ukázka dat v programu MS Excel rozdělených do sloupců



V každé úrovni je vždy měřeno 5 hodnot. Měření jsou seřazena sestupně podle čísla měřicího kanálu, na němž je instalován snímač (vyloučení volných pozicí na konektoru), ze zpracování jsou vyloučena data, která výrazně vybočují z měřeného souboru, ze zbylých hodnot pro každou úroveň je vyjádřen aritmetický průměr a výsledná hodnota je pro příslušný den a čas měření přiřazena určité měřené úrovni. Vyloučená data jsou podbarvena žlutou barvou.

|    | A                             | B    | C          | D        | E  | F | G         | H          | I | J | K |
|----|-------------------------------|------|------------|----------|----|---|-----------|------------|---|---|---|
| 1  | #Start at 28.11.2016 12:51:00 |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 13 | 1                             | 8000 | 28.11.2016 | 12:51:10 | 10 | 5 | 1725983.4 | -6882425.7 |   |   |   |
| 25 | 2                             | 8000 | 28.11.2016 | 12:51:20 | 10 | 5 | 1678556.1 | -6756489.2 |   |   |   |
| 37 | 3                             | 8000 | 28.11.2016 | 12:51:31 | 10 | 1 | 437.3     | -9.7       |   |   |   |
| 49 | 4                             | 8000 | 28.11.2016 | 12:51:42 | 10 | 1 | 437.8     | -9.9       |   |   |   |
| 61 | 5                             | 8000 | 28.11.2016 | 12:51:52 | 10 | 1 | 437.4     | -10.1      |   |   |   |
| 63 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 64 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 65 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 66 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 67 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 68 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 69 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 70 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 71 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 72 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 73 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 74 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 75 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 76 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 77 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 78 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 79 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 80 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 81 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 82 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 83 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 84 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 85 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 86 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 87 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 88 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 89 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 90 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 91 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 92 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 93 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 94 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 95 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |
| 96 |                               |      |            |          |    |   |           |            |   |   |   |

Ukázka třídění dat v programu MS Excel

| 160509 | Rx           | 0     | 2      | 3     | 4     | 5     | 6     | Xx           | 0      | 2      | 3     | 4     | 5      | 6     |
|--------|--------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|
|        | H [m]/ L [m] | 6,6   | 10,6   | 12,6  | 14,6  | 16,6  | 18,6  | H [m]/ L [m] | 6,6    | 10,6   | 12,6  | 14,6  | 16,6   | 18,6  |
| 10     | -0,35        | 1159  | 346    | 111   | 518   | 418   | 444   | -0,35        | -148,4 | -8,3   | -3,6  | -9,7  | -11,5  | -25,6 |
| 9      | -0,65        | 6076  | 630    | 7023  | 622,8 | 613   | 235   | -0,65        | -522,6 | -22,0  | -3,7  | -9,7  | -88,0  | -6,0  |
| 8      | -0,95        | 1428  | 1676   | 197   | 695   | 672   | 234   | -0,95        | -89,5  | -123,0 | -4,1  | -6,4  | -104,0 | -6,6  |
| 7      | -1,25        | 259,6 | 1708,3 | 203,5 | 371,3 | 815,0 | 251,7 | -1,25        | -21,1  | -129,0 | -3,5  | -6,4  | -66,4  | -9,5  |
| 6      | -1,55        | 243,5 | 638,3  | 315,9 | 426,7 | 794,0 | 667,5 | -1,55        | -20,0  | -34,5  | -7,3  | -14,7 | -57,9  | -29,6 |
| 5      | -1,85        | 142,2 | 437,5  | 368,0 | 374,0 | 349,6 | 727,3 | -1,85        | -3,3   | -21,4  | -11,6 | -13,3 | -21,4  | -29,6 |
| 4      | -2,15        | 111,4 | 418,9  | 304,0 | 155,9 | 237,5 | 344,7 | -2,15        | -1,5   | -14,4  | -9,1  | -2,7  | -11,0  | -18,7 |
| 3      | -2,45        | 97,1  | 301,7  | 177,6 | 403,8 | 112,9 | 219,0 | -2,45        | -1,1   | -8,4   | -3,3  | -93,4 | -2,3   | -13,1 |
| 2      | -2,75        | 26,4  | 111,5  | 105,8 | 154,4 | 12,9  | 119,2 | -2,75        | -0,7   | -1,7   | -1,6  | -9,9  | -0,9   | -1,9  |
| 1      | -3,05        | 98,6  | 155,5  | 184,6 | 163,2 | 22,9  | 283,8 | -3,05        | -1,0   | -1,9   | -2,6  | -2,2  | -0,6   | -17,0 |
| 0      | -3,35        | 99    | 151,8  | 184,4 | 167,4 | 107,9 | 286,4 | -3,35        | -0,9   | -1,7   | -2,4  | -2,1  | -1,5   | -17,1 |

| 160509 | Rx           |  | 3a    | 4a    |  | 6a    | Xx           |  | 3a    | 4a    |  | 6a    |
|--------|--------------|--|-------|-------|--|-------|--------------|--|-------|-------|--|-------|
|        | H [m]/ L [m] |  | 12,6  | 14,6  |  | 18,6  | H [m]/ L [m] |  | 12,6  | 14,6  |  | 18,6  |
| 10     | -0,35        |  | 426,3 | 823,2 |  | 957,0 | -0,35        |  | -10,9 | -37,1 |  | -51,0 |
| 9      | -0,65        |  | 297,9 | 513,7 |  | 335,6 | -0,65        |  | -5,5  | -16,4 |  | -7,8  |
| 8      | -0,95        |  | 272,6 | 417,4 |  | 205,9 | -0,95        |  | -5,0  | -10,2 |  | -4,9  |
| 7      | -1,25        |  | 538,4 | 679,2 |  | 162,8 | -1,25        |  | -20,1 | -23,8 |  | -2,8  |
| 6      | -1,55        |  | 744,1 | 864,0 |  | 194,1 | -1,55        |  | -43,7 | -34,4 |  | -3,2  |
| 5      | -1,85        |  | 463,2 | 833,6 |  | 288,3 | -1,85        |  | -30,7 | -37,0 |  | -5,0  |
| 4      | -2,15        |  | 272,0 | 773,5 |  | 350,7 | -2,15        |  | -6,5  | -37,3 |  | -7,1  |
| 3      | -2,45        |  | 230,9 | 419,5 |  | 192,7 | -2,45        |  | -4,1  | -17,9 |  | -4,1  |
| 2      | -2,75        |  | 174,3 | 183,7 |  | 25,7  | -2,75        |  | -3,1  | -5,0  |  | -0,7  |
| 1      | -3,05        |  | 114,0 | 125,2 |  | 26,0  | -3,05        |  | -2,1  | -2,5  |  | -0,7  |
| 0      | -3,35        |  | 95,5  | 23,7  |  | 22,8  | -3,35        |  | -1,0  | -0,6  |  | -0,6  |

| 160509 | Rx           | 0_2    | 2_3    | 3_4   | 4_5    | 5_6   |
|--------|--------------|--------|--------|-------|--------|-------|
| ch     | H [m]/ L [m] | 7,6    | 11,6   | 13,6  | 15,6   | 17,6  |
| 11     | -0,20        | 768,4  | 367    | 280,7 | 348,6  | 449   |
| 10     | -0,50        | 8097,5 | 6694   | 361,6 | 484    | 286,4 |
| 9      | -0,80        | 305    | 345,8  | 665,8 | 1007,5 | 602,8 |
| 8      | -1,10        | 1445,5 | 1424,5 | 421,4 | 198    | 337,2 |
| 7      | -1,40        | 555,6  | 526,3  | 275,5 | 747,9  | 760,1 |
| 6      | -1,70        | 359,5  | 424,3  | 505,9 | 506,5  | 736,9 |
| 5      | -2,00        | 253,7  | 375,9  | 274,3 | 245,9  | 373,5 |
| 4      | -2,30        | 303,1  | 376,5  | 216,5 | 173,8  | 245,6 |
| 3      | -2,60        | 122,6  | 130,9  | 338,7 | 167,4  | 230   |
| 2      | -2,90        | 107,7  | 109,6  | 105,8 | 54,5   | 108,2 |
| 1      | -3,20        | 158,6  | 229,0  | 240,4 | 172,1  | 291,3 |
| 0      | -3,50        | 102,8  | 104,7  | 108,8 | 112,2  | 116,6 |

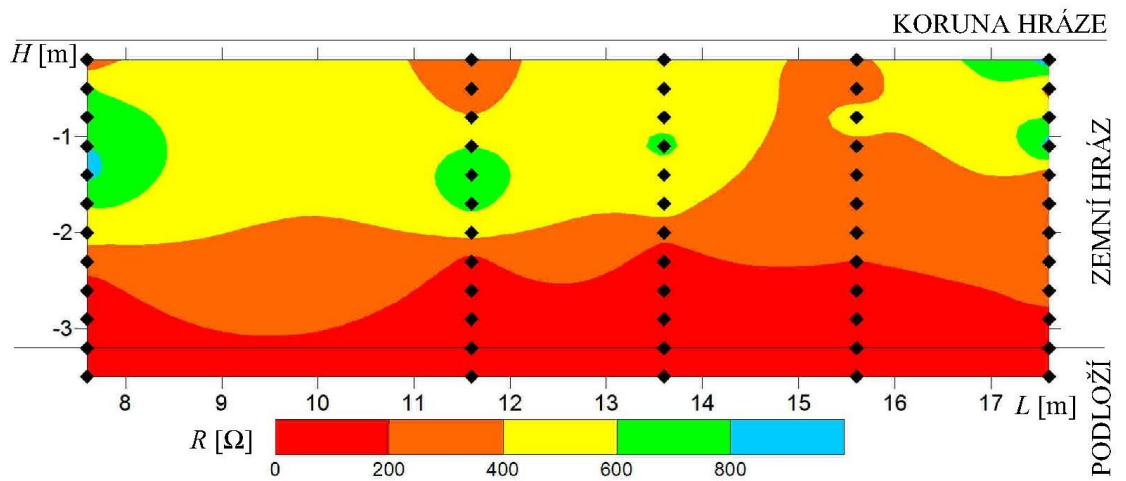
| Xx           | 0_2   | 2_3    | 3_4    | 4_5    | 5_6    |
|--------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| H [m]/ L [m] | 7,6   | 11,6   | 13,6   | 15,6   | 17,6   |
|              | -0,20 | -171,7 | -8,5   | -5,3   | -8,4   |
|              | -0,50 | -83,1  | -82,1  | -151,8 | -102,2 |
|              | -0,80 | -5,4   | -11,9  | -26,0  | -110,0 |
|              | -1,10 | -119,5 | -116,4 | -64,4  | -66,2  |
|              | -1,40 | -38,6  | -23,1  | -5,0   | -48,7  |
|              | -1,70 | -16,5  | -15,9  | -16,2  | -23,4  |
|              | -2,00 | -7,8   | -13,5  | -7,7   | -9,9   |
|              | -2,30 | -7,3   | -9,2   | -3,3   | -2,9   |
|              | -2,60 | -1     | -1,2   | -9,7   | -9,7   |
|              | -2,90 | -0,3   | -0,7   | -0,8   | -0,5   |
|              | -3,20 | -1,2   | -2,8   | -3,1   | -1,9   |
|              | -3,50 | 0      | -0,3   | -0,6   | -0,8   |

| 160509 | Rx           | 3_3a    | 4_4a  | 6_6a  | 3a_4a | 4a_6a |
|--------|--------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| ch     | H [m]/ L [m] | 12,6    | 14,6  | 18,6  | 13,6  | 16,6  |
| 11     | -0,20        | 749,68  | 670,4 | 5035  | 934,2 | 1430  |
| 10     | -0,50        | 8092,78 | 6159  | 328   | 437,5 | 484,4 |
| 9      | -0,80        | 296,4   | 799,4 | 290,9 | 426,7 | 423,8 |
| 8      | -1,10        | 212,2   | 684,9 | 197,8 | 301,4 | 244,0 |
| 7      | -1,40        | 570,8   | 657,4 | 263,7 | 951,1 | 638,0 |
| 6      | -1,70        | 535,0   | 680,9 | 641,3 | 707,1 | 482,5 |
| 5      | -2,00        | 356,6   | 579,5 | 433,3 | 658,6 | 717,5 |
| 4      | -2,30        | 272,2   | 414,5 | 319,8 | 466,2 | 488,7 |
| 3      | -2,60        | 181,2   | 225,3 | 124,8 | 234,4 | 165,9 |
| 2      | -2,90        | 130,4   | 133,3 | 112,6 | 155,5 | 139,3 |
| 1      | -3,20        | 183,5   | 167,5 | 286,9 | 105,9 | 100,3 |
| 0      | -3,50        | 108,4   | 96,6  | 103,4 | 26    | 24,2  |

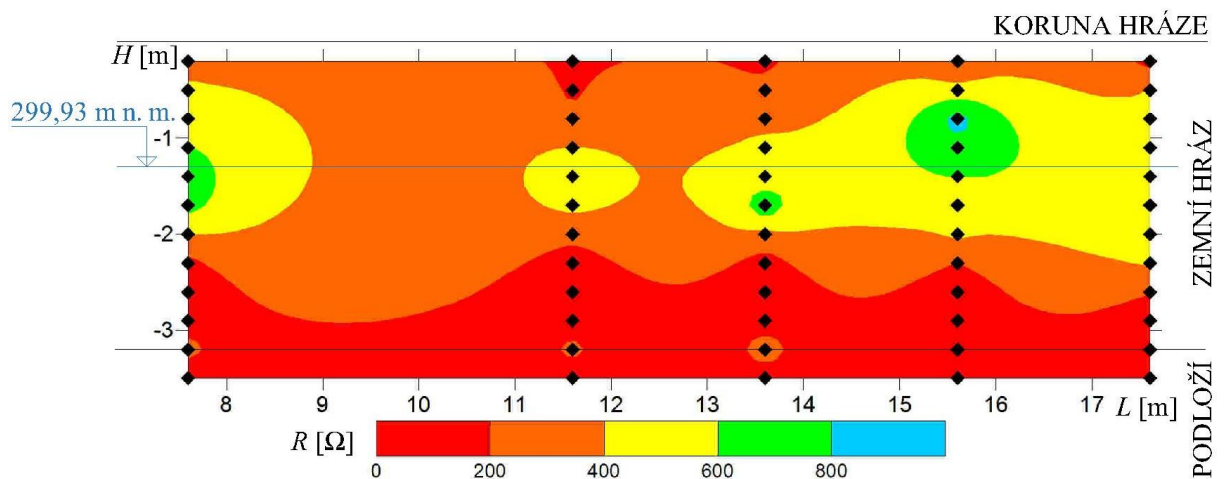
| Xx           | 3_3a  | 4_4a  | 6_6a  | 3a_4a | 4a_6a |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| H [m]/ L [m] | 12,6  | 14,6  | 18,6  | 13,6  | 16,6  |
|              | -0,20 | -7,8  | -30,6 | -9,0  | -36,0 |
|              | -0,50 | -81,0 | -97,9 | -5,4  | -13,0 |
|              | -0,80 | -6    | -27,9 | -7,9  | -9,0  |
|              | -1,10 | -2,7  | -64,1 | -3,1  | -5,4  |
|              | -1,40 | -20,9 | -22,5 | -8,5  | -40,2 |
|              | -1,70 | -32,0 | -25,9 | -23,6 | -41,7 |
|              | -2,00 | -10,7 | -24,0 | -10,6 | -26,4 |
|              | -2,30 | -4,7  | -16,2 | -14,8 | -17,3 |
|              | -2,60 | -2,1  | -1,0  | -1,2  | -4,3  |
|              | -2,90 | -1,5  | -2,2  | -0,8  | -3,1  |
|              | -3,20 | -2    | -1,6  | -4,2  | -0,5  |
|              | -3,50 | -0,3  | -0,3  | -0,4  | -0,5  |

Příklad zpracování dat z měření v květnu 2016

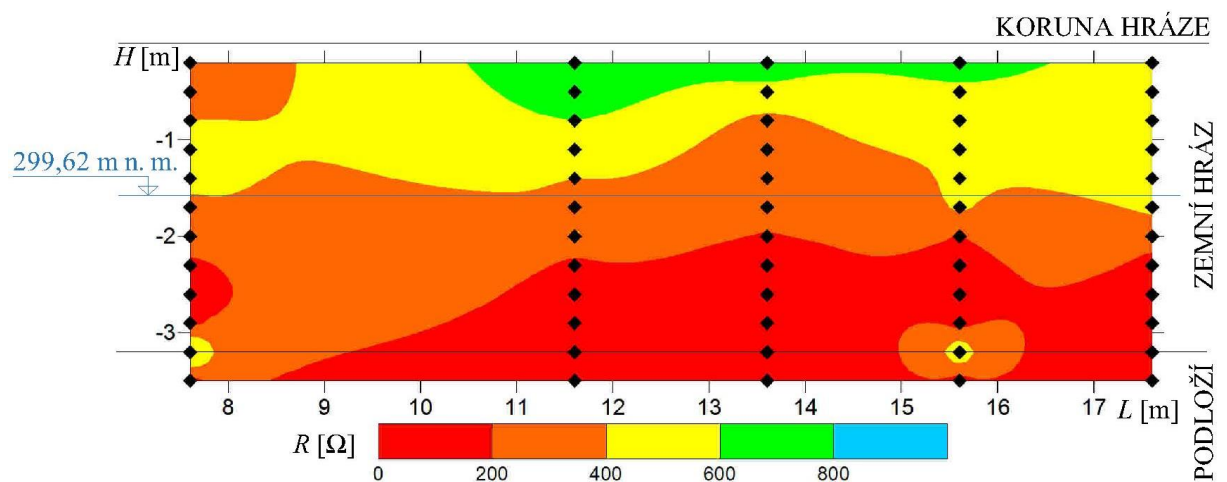
## PŘÍLOHA 2 VYHODNOCENÍ MAP REZISTANCE



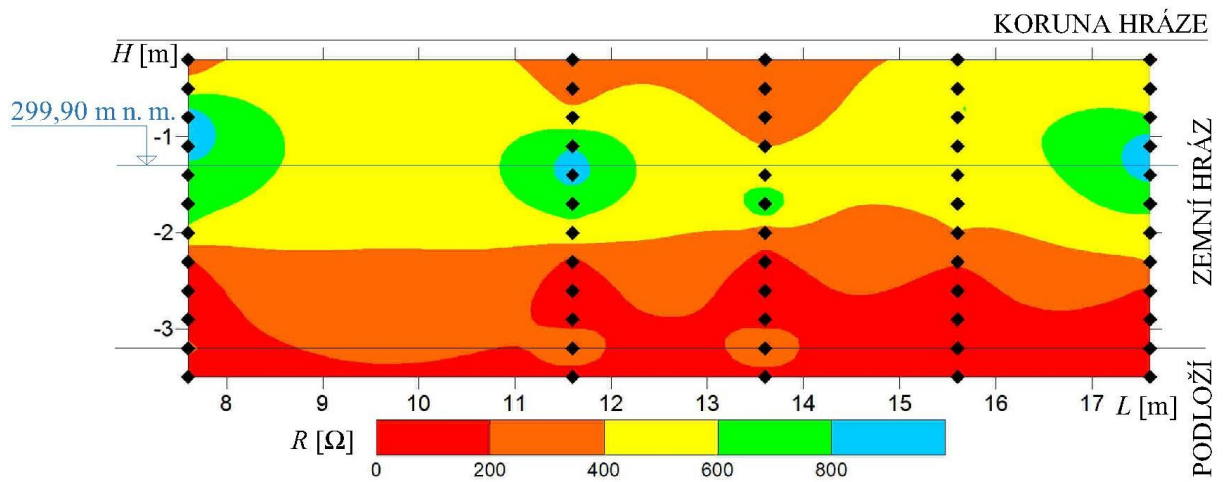
Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 17.11.2006



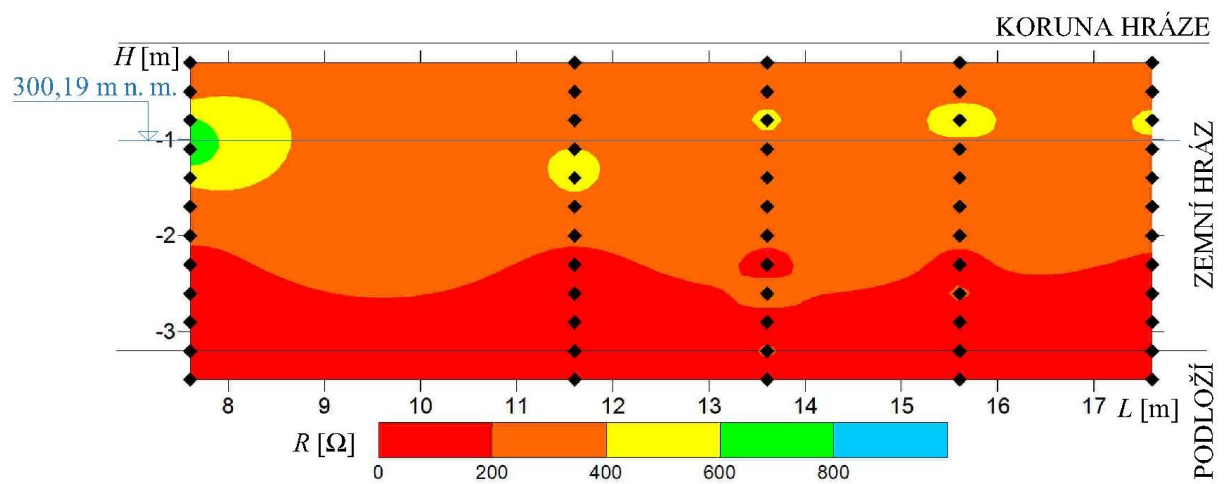
Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 18.11.2007



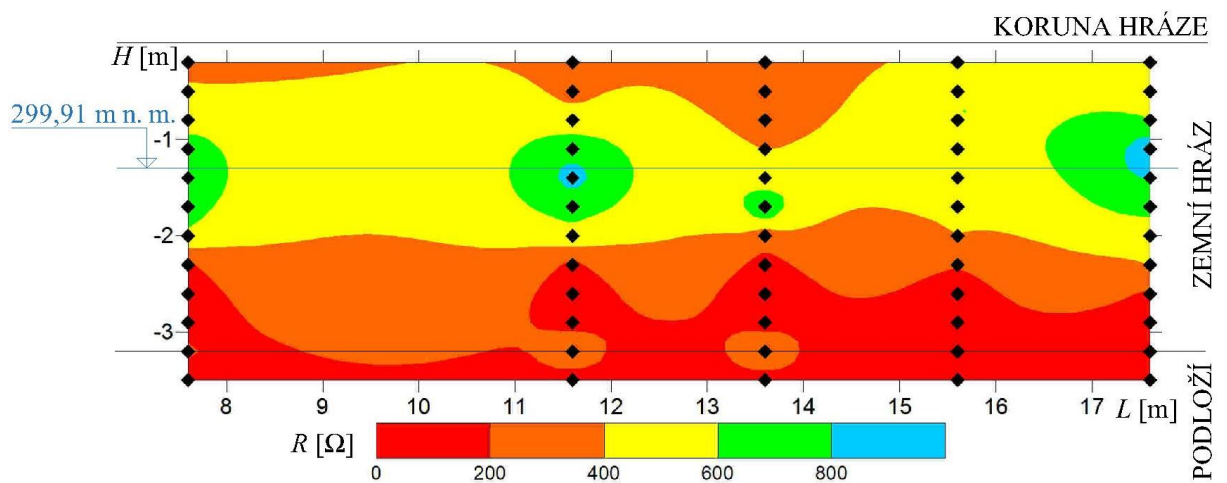
Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 20.05.2009



Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 18.11.2009

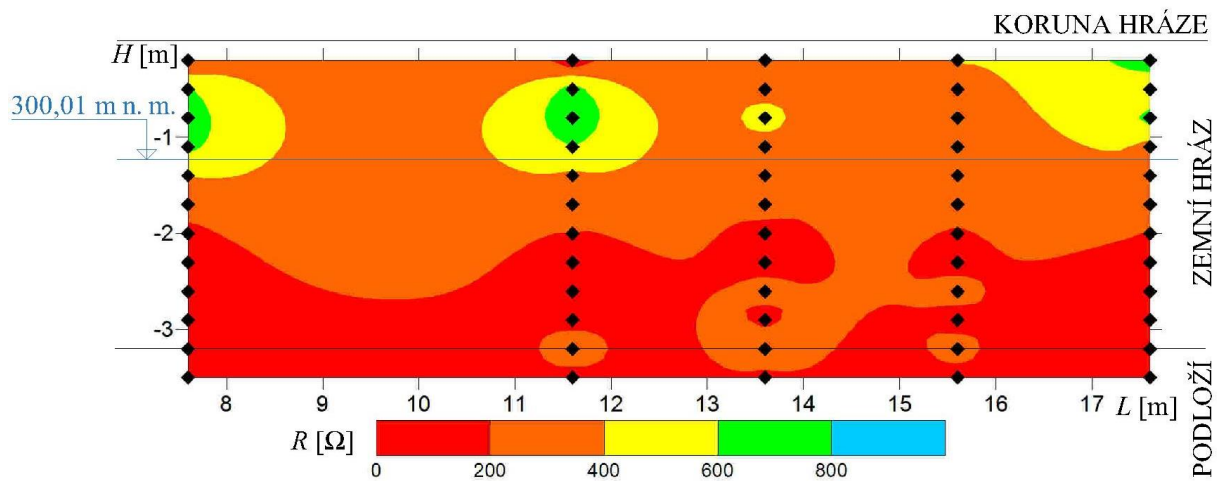


Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 20.05.2010

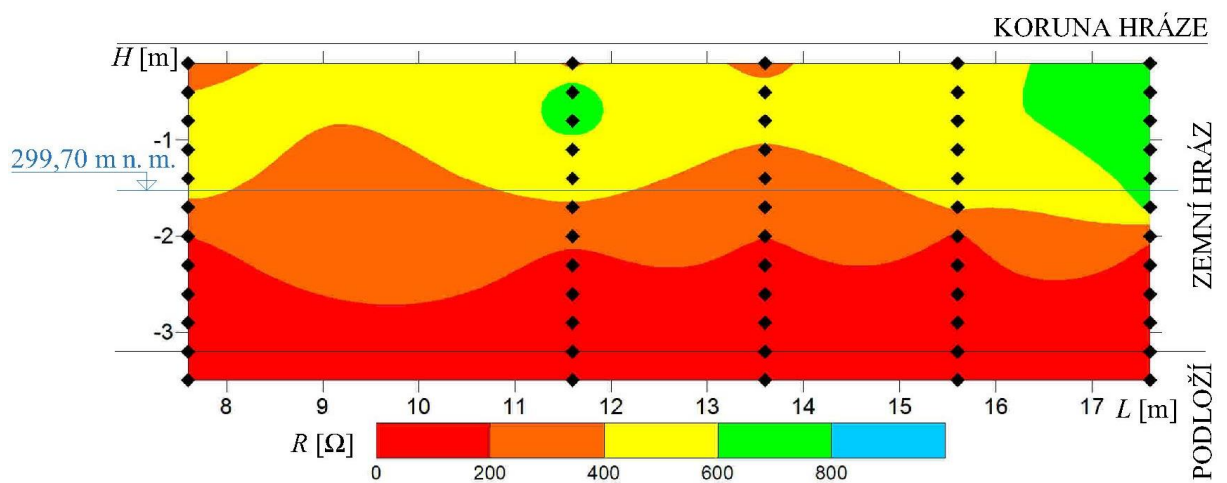


Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 25.11.2010

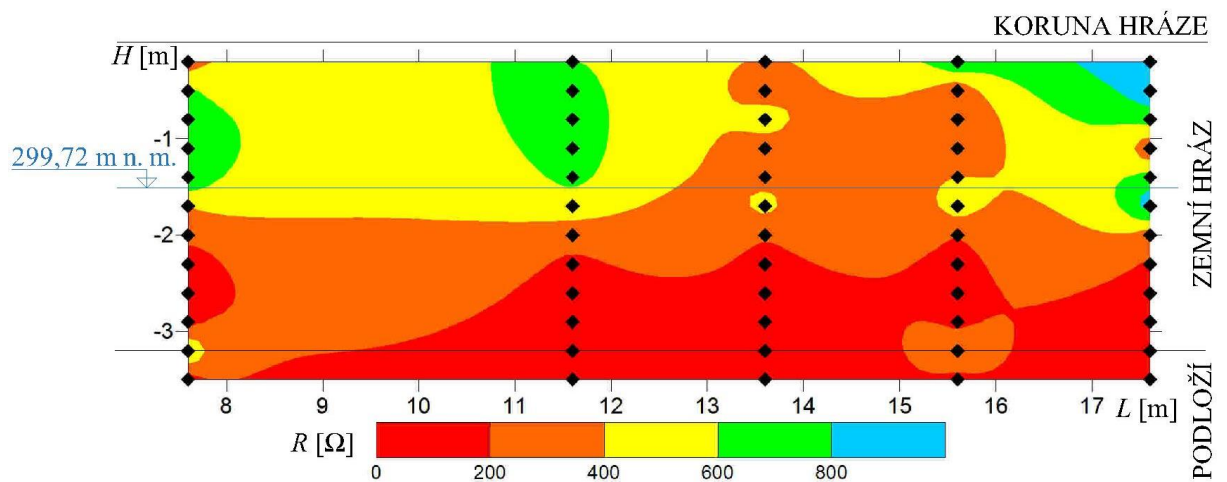




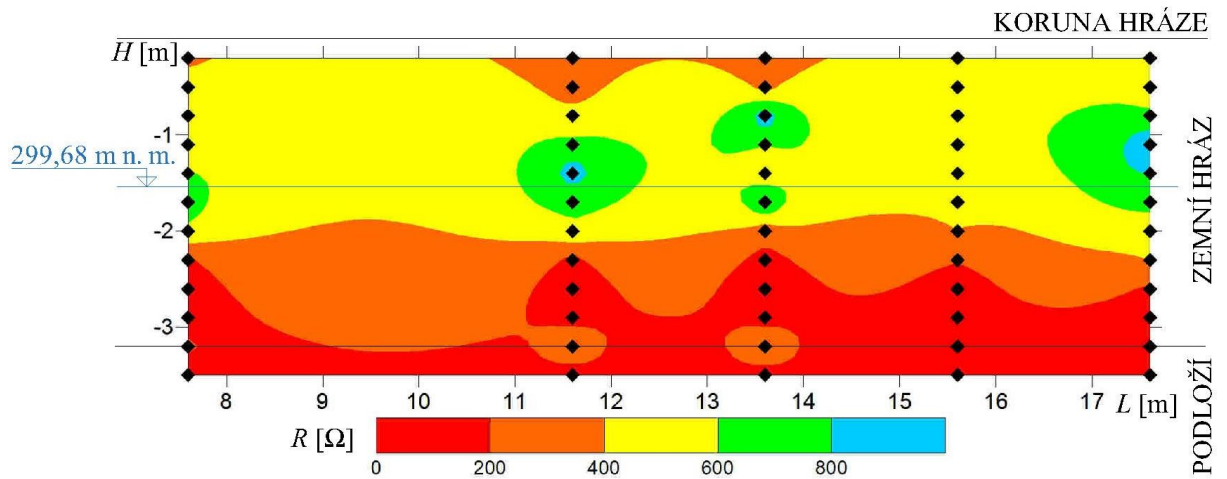
Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 25.05.2011



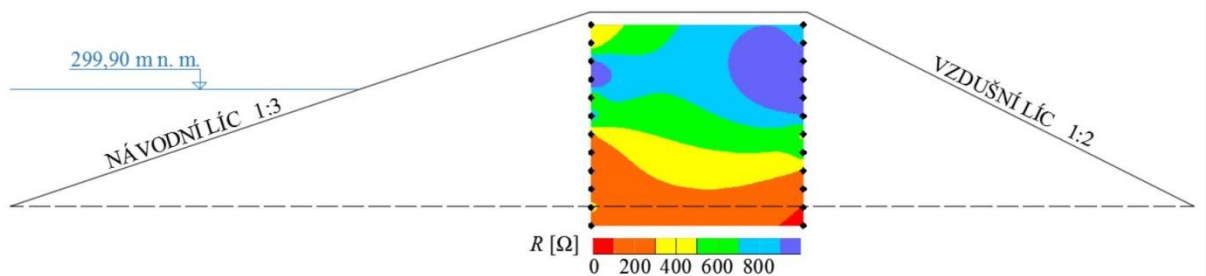
Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 04.11.2011



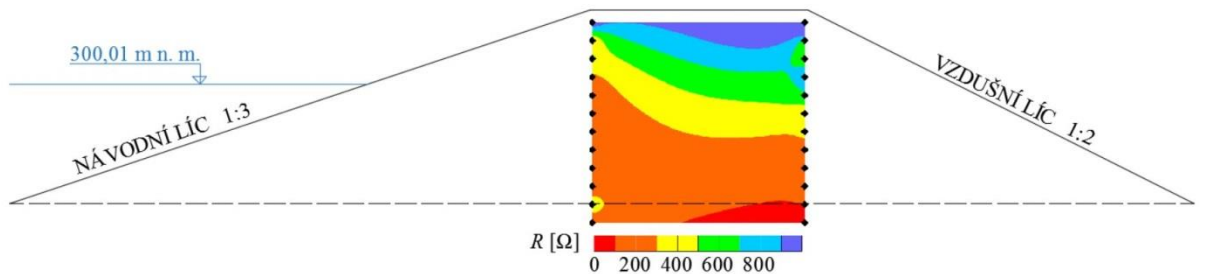
Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 25.05.2012



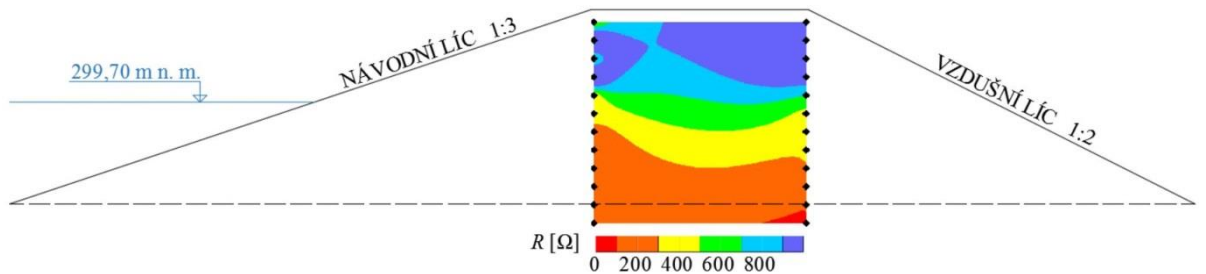
Vyhodnocení rezistance v návodním líci hráze – měření 25.11.2012



Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 18.11.2009

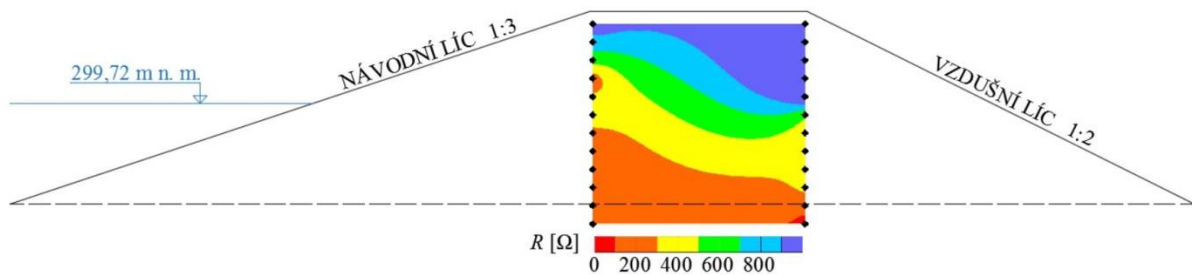


Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 25.05.2011

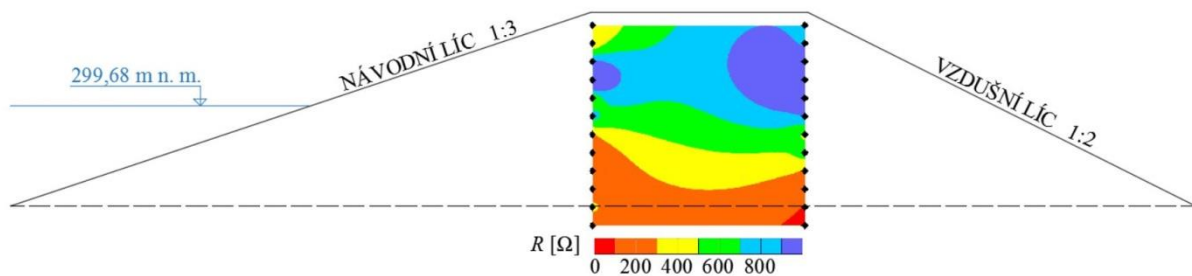


Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 04.11.2011





**Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 25.05.2012**



**Vyhodnocení rezistance v příčném řezu hrází – měření 25.11.2012**