



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

ANALÝZA MONITOROVÁNÍ ZEMNÍ HRÁZE MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

ANALYSIS OF THE EARTH DAM MONITORING OF A SMALL WATER RESERVOIR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Štěpánka Králíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JANA PAŘÍLKOVÁ, CSc.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Štěpánka Králíková
Název	Analýza monitorování zemní hráze malé vodní nádrže
Vedoucí práce	doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- Aizebeokhai, A. P., Olayinka, A. I., Singh, V. S. (2010). Application of 2D and 3D geoelectrical resistivity imaging for engineering site investigation in a crystalline basement terrain, southwestern Nigeria. *Environ Earth Sci*, DOI 10.1007/s12665-010-0464-z, Springer.
- BARSOUKOV, E., MACDONALD, J. (2005). Impedance spectroscopy: theory, experiment, and applications. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2005, xvii, 595 p. ISBN 04-716-4749-7.
- CÍSLEROVÁ, M., VOGEL, T. a kol. (2008). Transportní jevy ve vadózní zóně. Skriptum ČVUT v Praze, Fakulta stavební, KHMKI, KHH. 111s.
- FEJFAROVÁ, M. (2014). Možnosti detekce obsahu vody v pórovitém prostředí metodou elektrické impedanční spektrometrie. Disertační práce obor Stavební inženýrství (nD) – Vodní hospodářství a vodní stavby. FAST VUT v Brně.
- KUTÍLEK, M., KURÁŽ, V., CÍSLEROVÁ, M. (1993). *Hydropedologie*, ČVUT, Praha.
- MIYAZAKI, T. (2006). *Water flow in soils*. Taylor & Francis group, Boca Raton, U.S.A.
- ŘÍHA, J. (2005). *Hydraulika podzemní vody – modul 01*. studijní opory VUT v Brně, FAST.
- STARÝ, M. (2005). *Hydrologie – modul 02*. studijní opory VUT v Brně, FAST.
- STRÁNSKÝ, D., KABELKOVÁ, I., BAREŠ, V., VÍTEK, J., SUCHÁNEK, M., PLOTĚNÝ, K., PÍREK, O. (2011). *Srážková voda a urbanizace krajiny, ČKAIT 2011 – pomůcka pro celoživotní vzdělávání*.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Rešerše podkladů k problematice monitorování zemních hrází malých vodních nádrží se zaměřením na vodní dílo (VD) Bezedník III.

Rešerše podkladů o měřicí metodě elektrické impedanční spektrometrie.

Koncepce a realizace měření na zemní hrázi VD Bezedník III.

Zpracování vybraných měření v návaznosti na uplatnění měřicí aparatury se dvěma řadami přístroje Z-metr.

Dokumentace a vyhodnocení měření.

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

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.
Vedoucí diplomové práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Analýza monitorování zemní hráze malé vodní nádrže* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 2. 1. 2020

Bc. Štěpánka Králíková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Analýza monitorování zemní hráze malé vodní nádrže* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 2. 1. 2020

Bc. Štěpánka Králíková
autor práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá využitím metody elektrické impedanční spektrometrie (EIS) a na ni založených přístrojů Z-Metr II, Z-Metr III a Z-Metr VI, pro využití k monitorování zemních hrází malých vodních nádrží. Přístroje byly vyvíjeny v Laboratoři vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně řešením mezinárodních projektů aplikovaného výzkumu v programu EUREKA.

V rámci práce probíhala analýza monitorování zemní hráze malé vodní nádrže Bezedník III, která se nachází v katastru obce Kobeřice. Monitorování probíhalo od roku 2006 do roku 2012. Kontrolní jednorázová měření s následnou analýzou dosažených výsledků byla realizována v roce 2016, 2018 a 2019.

KLÍČOVÁ SLOVA

Malá vodní nádrž, zemní hráz, elektrická impedanční spektrometrie, obsah vody v zemině.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the use of the electrical impedance spectrometry method (EIS) and the devices Z-meter II, Z-meter III and Z-meter VI based on it for the monitoring earth-fill dams of small water reservoirs. The devices were developed in the Laboratory of Water Management Research of the Institute of Water Structures of the Faculty of Civil Engineering of the Brno University of Technology by solving international project of applied research in the EUREKA program.

The analysis of monitoring of the dam of the small water reservoir Bezedník III, which is located in the cadastre of the village Kobeřice, was carried out. Monitoring was carried out from 2006 to 2012. One-off control measurements followed by analysis of achieved results were carried out in 2016, 2018 and 2019.

KEYWORDS

Small water reservoir, earth-fill dam, electrical impedance spectrometry method, water content in soil.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Štěpánka Králíková *Analýza monitorování zemní hráze malé vodní nádrže*. Brno, 2019. 83 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Chci srdečně poděkovat své vedoucí diplomové práce doc. Ing. Janě Pařílkové, CSc. za odborné vedení, cenné rady po celou dobu zpracování diplomové práce a poskytnutí potřebných podkladů, které mi pomohli pochopit danou problematiku a následně práci zpracovat.

Děkuji své rodině a nejbližším za velkou podporu a stabilní zázemí jak při studiu, tak i při řešení a zpracování diplomové práce.

Obsah:

1	ÚVOD	1
1.1	Historie	2
2	CÍL PRÁCE	4
2.1	Metoda řešení	4
3	MALÉ VODNÍ NÁDRŽE	5
3.1	Srovnání se zahraničím	5
3.1.1	USA	5
3.1.2	Kanada	8
3.1.3	Etiopie (Afrika)	8
3.1.4	Německo	9
3.2	Dělení malých vodních nádrží v ČR.....	9
3.2.1	Funkční (účelové) malé vodní nádrže.....	10
3.3	Problémy malých vodních nádrží	10
3.3.1	Problémy vodohospodářské a technické	11
3.3.2	Problémy ekologické (environmentální) a ekonomické	11
3.3.3	Problémy etické	12
3.3.4	Problémy majetkoprávní a legislativní	12
3.4	Zemní hráze malých vodních nádrží.....	12
3.4.1	Materiál pro stavbu hrází.....	12
3.4.2	Sklony zemních hrází.....	13
3.4.3	Homogenní zemní hráze	14
3.4.4	Nehomogenní zemní hráze	15
3.5	Ochrana před přívalovými dešti (povodněmi) a suchem	15
3.5.1	Ochrana před přívalovými dešti a povodněmi	15
3.5.2	Ochrana před suchem	17
4	PORUŠENÍ ZEMNÍCH HRÁZÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ	19
5	MONITOROVÁNÍ ZEMNÍCH HRÁZÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ	22
5.1	Přímé měřicí metody	22
5.2	Nepřímé měřicí metody	22

6	METODA ELEKTRICKÉ IMPEDANČNÍ SPEKTROMETRIE (EIS)	23
6.1	Princip měření.....	24
6.2	Měřicí aparatura	25
6.2.1	Z-metr II.....	25
6.2.2	Z-metr IV	26
7	CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉ LOKALITY	29
7.1	Obec Kobeřice u Brna.....	29
7.2	MVN Bezedník III	31
7.2.1	Výstavba	32
7.2.2	Základní hydrologické údaje	37
7.2.3	Základní technické údaje	37
8	MONITOROVÁNÍ HRÁZE BEZEDNÍK III	41
8.1	Umístění a instalace měřicích sond.....	42
8.2	Průběh monitorování	45
9	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ	46
9.1	Rok 2006.....	46
9.2	Rok 2007.....	50
9.3	Rok 2008.....	51
9.4	Rok 2009.....	53
9.5	Rok 2010.....	56
9.6	Rok 2011	58
9.7	Rok 2012.....	61
9.8	Rok 2016.....	63
9.9	Rok 2018.....	65
9.10	Rok 2019.....	67
10	OVĚŘENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ POUŽITÍM DALŠÍ MONITOROVACÍ METODY	69

11 ZÁVĚR	72
Seznam využití literatury	74
Seznam využití projektové dokumentace	75
Další využití zdroje	75
Seznam obrázků	76
Seznam tabulek	79
Seznam zkratk.....	79
Seznam veličin	80
Ukázka zpracování dat.....	81

1 ÚVOD

Snaha zadržovat vodu v krajině formou budování rybníků a malých vodních nádrží (dále jen MVN) má na území České republiky velkou tradici a historii. Vzhledem k zeměpisné poloze České republiky (ČR) ležící na rozvodnici tří moří – Severního, Baltského a Černého, kdy prakticky všechny její významnější toky odvádějí vodu mimo republiku, je zjevná závislost vodních zdrojů v ČR na atmosférických srážkách. Uvedená skutečnost se stává poměrně zásadní především v posledních letech, kdy jsme svědky extrémních výkyvů počasí. Jejich projevem jsou zpravidla lokální přívalové srážky a období sucha.

Otázky spojené s vodou a vodním hospodářstvím ČR, jako jsou vodní zdroje, jejich stav, využívání, zásobování vodou, odkanalizování a čištění odpadních vod, právní předpisy a jejich výklad, ale i ekonomika vodního hospodářství, jsou v důsledku vznikajícího sucha v současné době naléhavější více než kdy dřív. Je skutečností, že každá instituce, výrobní podnik, ale i každý jednotlivý obyvatel ČR je významným uživatelem vodních zdrojů. Obvykle si však málokdo uvědomuje význam a hodnotu tohoto nenahraditelného přírodního bohatství pro každodenní život a především rozsah činností a finančních nákladů, které s uvedenou „samozřejmostí“ souvisejí.

Rybníky a MVN jsou nedílnou součástí naší krajiny ať už z hlediska zásoby vody pro zvěř, krajinotvorného prvku, ochrany před přívalovými srážkami či pro hospodářské využívání při chovu ryb a vodní drůbeže. Sledování jejich funkčnosti a spolehlivosti je pro udržení životnosti velmi důležité. Hráže uvedených prvků byly historicky konstruovány jako zemní sypané. Bohužel u mnohých nebyla dochována dokumentace z jejich výstavby, a proto jsou otázky spojené s jejich spolehlivostí a bezpečností provozu velmi aktuální, zvláště pokud by mohly tyto nádrže sloužit k záhytu povodňových vln. Na tělesa hrází působí mnoho vlivů. Jedná se především o povětrnostní vlivy, působení tíhy vody na návodní straně anebo také působení podzemní vody, a právě proto je jejich sledování důležité. Zemní hráže jsou stavěné z různých materiálů, a proto je potřeba znát a monitorovat děje, které v tělese hráže probíhají tak, aby bylo možno předpovídat a dedukovat jejich chování především při extrémních zatíženích.

MVN bývají často brány jako místa, kam člověk míří za odpočinkem od každodenního shonu a jsou proto i brány jako relaxační zóny. V intravilánech pak kladně přispívají také jako prvek, který vnáší přírodu do měst a vytváří mikroklima, v němž se vyskytují i různé živočichové. V horkých létech pomáhají snižovat vysoké teploty zapříčiněné betonovými a asfaltovými plochami. Z těchto a mnoha dalších faktorů je jasný pozitivní vliv MVN na přírodní prostředí i lidi.

1.1 HISTORIE

Na území ČR se umělé rybníky a vodní nádrže budují již od 12. století. Z roku 1115 se dochovala první písemná zmínka o rybnících v listině Kladrubské. Na výstavbě se podílely nejdříve církve a postupem času budování rybníků převzala šlechta, která získávala znalosti o výstavbách putováním po světě (Šálek, 1996).

Pro chov sladkovodních ryb byly na území ČR vždy dobré přírodní podmínky, neboť krajina byla bohatá na drobné potoky a řeky s poměrně stálým průtokem. Právě z tohoto důvodu na počátku 13. století se na území Čech a Moravy již nacházelo několik desítek rybníků a velkou rychlostí přibývaly další (Míka, 1963).

První velký rozkvět rybníkářství se datuje od druhé poloviny 14. století. Nárůst počtu rybníků podporovala i skutečnost, že se Karel IV o jejich rozvoj zajímal a nabádal k jejich výstavbám. Rybníky se též začaly využívat jako rezervoáry vody pro další díla jako například přívod vody k mlýnům (Míka, 1963), později jako protipožární nádrže, odkalovací nádrže atd. Technika se natolik vyvinula, že se začaly stavět také vysoké zemní hráze a podnikání v rybníkářské sféře se stalo dobře výnosným (Šálek, 1996).

Začátkem 15. století, v období husitských válek, zažilo rybníkářství silný úpadek. Mnoho rybníků bylo ze strategických důvodů vypuštěno a dokonce i zničeno. Pomalý opětovný zájem nastává až ke konci 15. století, kdy se o obnovení rybníkářství v Čechách začala zajímat šlechta. Nejznámějším budovatelem této doby byl Vilém z Pernštejna. Na přelomu 16. století to pak byl Štěpánek Netolický, který se zasloužil o vybudování projektu Zlatá stoka (Šálek, 1996).

Na území Moravy byla nejvyspělejší rybníkářská oblast na jih od Brna, kde byl roku 1560 postaven největší rybník na Moravě nesoucí název Nesyt, proslulé pak bylo především Pohořelicko a Lednicko. Nejvýznamnějšími moravskými budovateli rybníků byli olomoučtí biskupové, a to především Stanislav Thurso. Jeho nástupce Jan Skála z Doubravky a Hradiště vydal za svého života latinský spis o rybníkářství a rybách, který se později stal základem pro rybníkářskou literaturu. V celých Čechách se rybníky stavěly také, kolem Prahy, na jihu i na severu Čech či na Českomoravské vrchovině (Šálek, 1996). Vrchol českého rybníkářství je spojen hlavně se jménem Jakub Krčín z Jelčan a Sedlčan, který upravil a prodloužil Zlatou stoku a dále se zasloužil o vybudování největších třeboňských rybníků Svět a Rožmberk.



Obr.1.1 – Největší český rybník – Rožmberk (<http://www.kultura.cz/profile/8009-rybnik-rozemberk>)

V následujících stoletích, 17. a 18., se opět vlivem válek, politických změn a opětovnému ničení rybníků rozvoj rybníkářství zastavil. Zájem o znovubudování rybníků a MVN nastává až ve druhé polovině 19. století, kdy se začalo z rekonstrukcí některých zničených nádrží (Šálek, 1996).

V současnosti se budují rybníky a MVN v souladu se zákony o ochraně přírody a plní hlavně funkce účelové a krajinyotvorné.

2 CÍL PRÁCE

Předmětem diplomové práce je zpracovat data získaná měřeními zemní hráze MVN Bezedník III, která se nachází v katastru obce Kobeřice u Brna. Současně je smyslem práce posoudit vhodnost aplikace měřicí metody elektrické impedanční spektrometrie (EIS) vybrané pro dlouhodobé sledování změn kondice uvedené zemní hráze. Součástí uvedeného posouzení je i skutečnost, že měření bylo prováděno přístroji Z-metr čtyř-generací a vyvstává tedy otázka kontinuity měřených dat.

Metoda EIS je nepřímá měřicí metoda, která umožňuje monitorování obsahu vody v tělese zemní hráze. MVN Bezedník III se stala první zemní hrází, na které se využila metoda EIS. Monitorování tělesa hráze bylo prováděno pravidelně v letech 2006 až 2012 z důvodu toho, že bylo podezření nestability tělesa hráze při jeho zatížení vodou.

Cílem diplomové práce je posoudit vhodnost metody EIS při monitorování dějů odehrávajících se v tělese hráze. Pro úspěšné dosažení cíle jsem využila data z instalovaných měřicích sond EIS na MVN Bezedník III, odečet úrovně hladiny vody v nádrži v den měření a dostupná dohledatelná data ČHMÚ o povětrnostní situaci.

2.1 METODA ŘEŠENÍ

V souladu se zadáním diplomové práce a také po konzultacích, jsem si jako mezníky pro splnění vytyčeného cíle zvolila následujících úkonů:

- rešerše dostupné literatury k problematice rybníků, MVN, zadržetí vody v krajině apod.,
- rešerše dostupné literatury, která se zabývá nepřímou měřicí metodou EIS (princip měření, měřicí aparatura s přístroji Z-metr se zaměřením na poslední generaci přístroj Z-metr IV),
- shrnutí dat a výsledků získaných v letech 2006 až 2012 včetně jednorázových měření v letech 2016 a 2018,
- zpracování měřených dat získaných v roce 2019.

3 MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

Podle ČSN 75 0101 „Vodní hospodářství – Základní terminologie“ se pod termínem Vodní nádrž rozumí takový vodní útvar, který vznikl přirozenou nebo umělou akumulací vody. Dále je chápán také jako vymezený prostor vody, který slouží k hospodaření s ní, k akumulaci, zachycení vody za povodní, vytvoření vodního prostředí pro život a k úpravě vody.

Na území České republiky je pojem Malá vodní nádrž definován v ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“. Za MVN se považuje taková nádrž, která splňuje následující dvě kritéria:

- objem po hladinu ovladatelného prostoru (tzv. normální hladinu) není větší než 2 mil. m³,
- největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m [1].

Tato norma se vztahuje na navrhování, výstavbu, rekonstrukci a provoz MVN se sypanými hrázemi.

Největší hloubka nádrže je taková vzdálenost dna nádrže, která je největší od maximální hladiny vody v nádrži a zároveň se neuvažují místní nerovnosti ve dně nádrže, hloubku koryta toku, který napájí nádrž apod. (Šálek, 1996). Normální hladina je taková hladina, která je nejvyšší hladinou ovladatelného prostoru nádrže a je vymezena korunou nehrazeného přelivu nebo horní hranou uzávěru u hrazeného přelivu.

Oproti tomu pojem rybník je malá vodní nádrž, která je určena pro chov ryb, rybářského hospodaření a má možnost úplném a pravidelného vypouštění vody (Šálek, 2001). Pro potřeby rybářského hospodaření jsou upraveny odpovídající technické vybavenosti, uspořádání a provoz.

3.1 SROVNÁNÍ SE ZAHRANIČNÍM

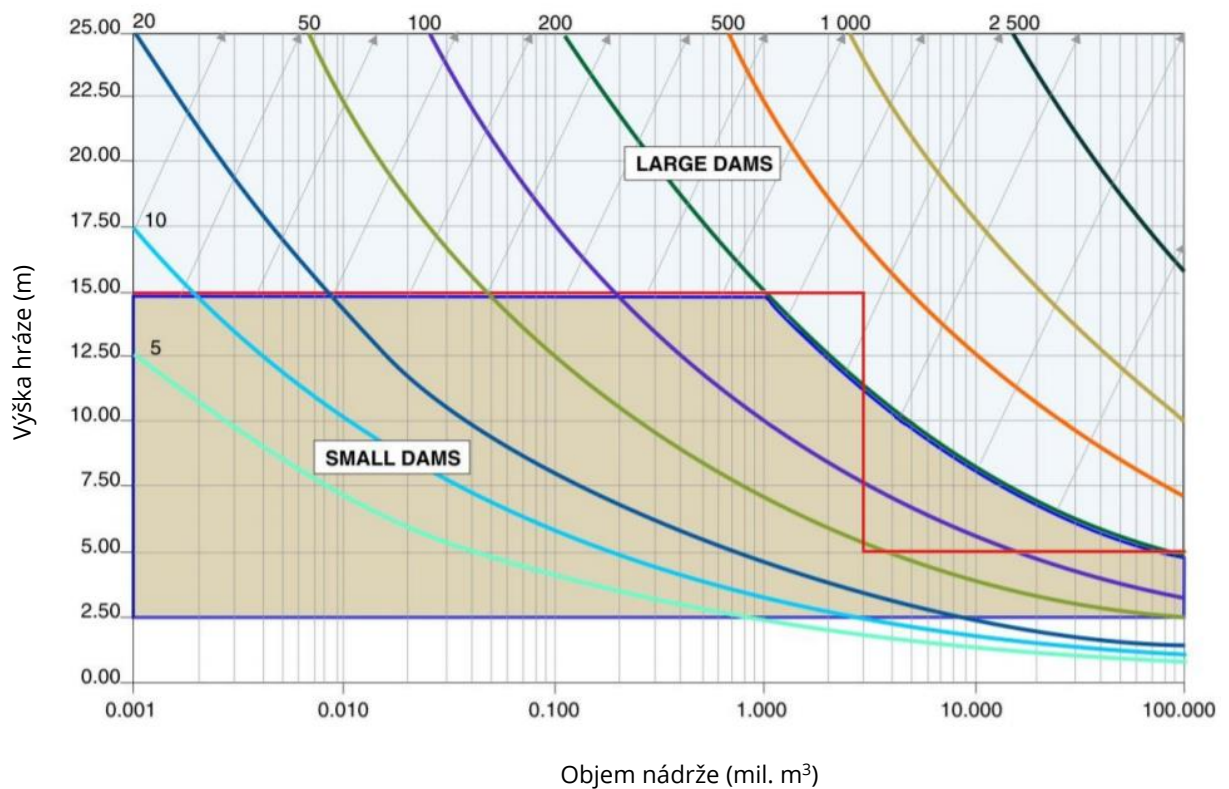
Pojem MVN má ve světě různé významy a vnímání a to bez ohledu na materiál použitý na jejich výstavbu. Pro některé země jsou hráze, které dosahují výšky 20 metrů brány jako MVN, v jiných zemích jsou zařazeny mezi hráze přehrad (ICOLD, 2011).

3.1.1 USA

Podobně jako v ČR se v USA dělí vodní nádrže podle více hledisek. K těm hlavním patří funkce a využití vodní nádrže, hydraulické provedení nebo materiálu, který je využit pro stavbu (Bureau, 1987).

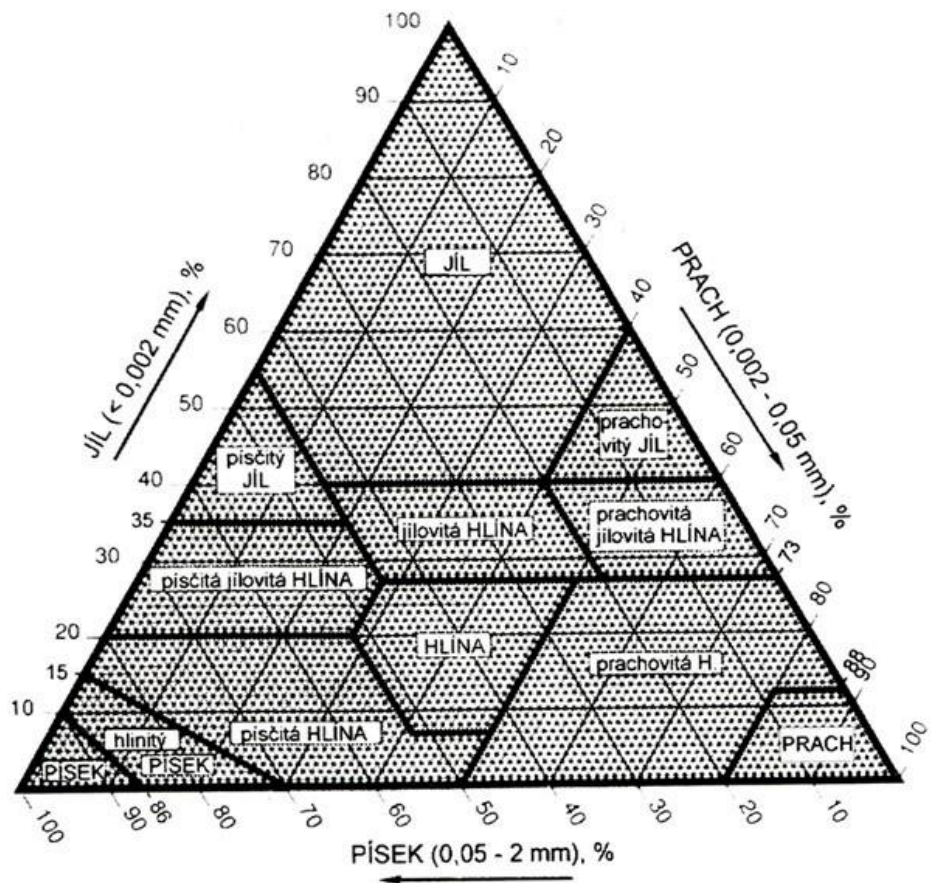
Dělení podle druhu materiálu použitého na výstavbu hráze je nejpoužívanější. Rozpoznává základní typy provedení jako je betonová gravitační přehrada („the concrete gravity dam“), zemní hráze („earthfill“), kamenné hráze („rockfill“) a betonové přehrady („concrete dams“).

Zemní hráz MVN dle definice ICOLD dosahuje maximální výšky 15 m a objem MVN je do 3 mil. m³ (ICOLD, 2011).

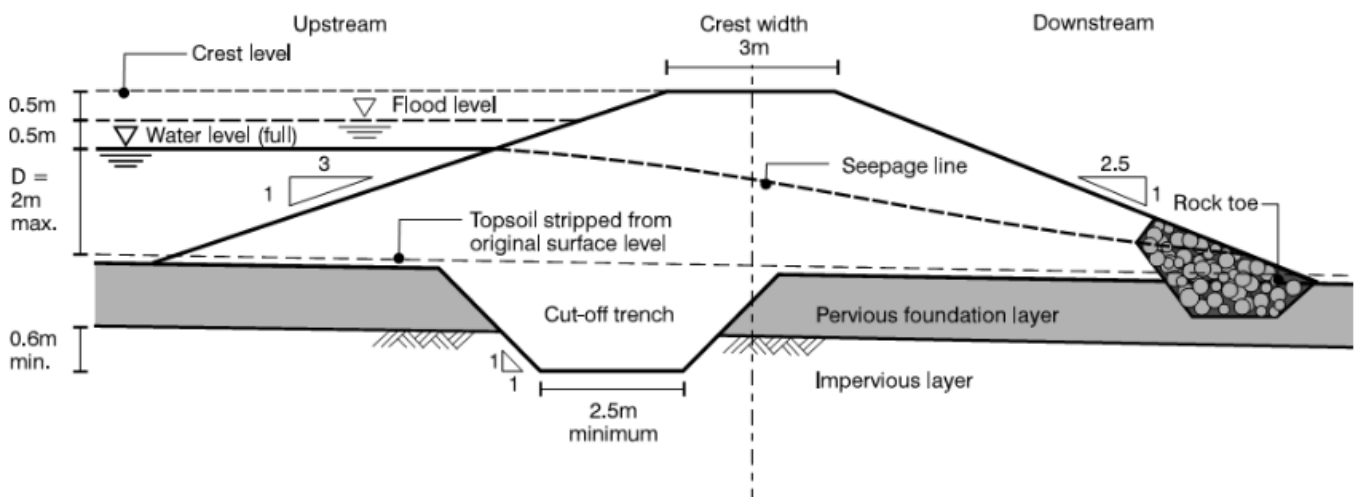


Obr.3.1 – Dělení MVN („Small dams“) a přehrad („Large dams“) dle výšky a objemu [2]

I v USA jsou zemní hráze velmi častou volbou hlavně proto, že jejich konstrukce využívá zeminy, které jsou dostupné v jejich blízkosti. Pro klasifikaci zemin využívají trojúhelníkový diagram.



Obr.3.2 – Trojúhelníkový diagram používaný v USA, přizpůsoben z dokumentu „Supplement to Soil Classification P System (7th Approximation)“, SCS, USDA, 1967 (překlad z www.pedologie.cz)



Obr.3.3 – Příčný řez zemní hráze MVN, USA (Nelson, 1985)

Jednoduché zemní hráze jsou svými parametry navrhovány obdobně jako v ČR. Pokud je hráz vysoká 3 m měla by být hloubka vody do 2 m s 0,5 m rezervou [3]. Sklon návodních svahů se využívá 1:2,5 až 1:3 a u vzdušných 1:2 až 1:2,5 v závislosti na druhu zeminy. Sklony svahů v ČR jsou vyobrazeny v Tab.3.2 v kapitole 3.4.2 Sklony zemních hrází.

3.1.2 Kanada

V Kanadě, oproti USA, se klasifikuje přesná hranice mezi MVN a přehradou jako v ČR. Podle „Small Dam Design And Construction Manual“ je MVN definována tím, že maximální výška hráze měřená od nejnižšího místa v nádrži po vrchol hráze je do 8 m a maximální objem nádrže nepřesahuje 0,4 mil m³ (AG, 1992).

Sklony návodních svahů se navrhují hlavně 1:3, sklony u vzdušných líců jsou v rozmezí od 1:2 až 1:2,5. Sklon 1:2 se využívá, pokud je výška od založení do 2 m.

3.1.3 Etiopie (Afrika)

I v Etiopii se vodní nádrže navrhují ze stejných důvodů jako v ČR, tj. pro zásobu vody, pro využití k zavlažování, pro výrobu energie, pro zadržování povodňových vod, rybolov a další. Stejně jako ve světě je v Etiopii kladen důraz na provoz, údržbu a dohled nad bezpečností MVN a přehrad. Vlastníci vodních staveb mají zodpovědnost za jejich bezpečné provozování a údržbu, musí upozornit na poruchu, která by mohla způsobit poškození hráze či další následky a také má za povinnost nahradit škody způsobené provozem nebo poruchou (AGP, 2011).

MVN a přehrada není konkrétně definovaná v žádné z etiopských předpisů nebo směrnic a neexistuje také žádná obecná norma, která by klasifikovala přehrady. Termín „hráz“ je brána jako umělá bariéra se všemi přidruženými objekty (těleso hráze, přeliv, výpusti a ostatní části). Konstrukce hráze může být ze zeminy nebo dalšího vhodného materiálu (kámen, beton).

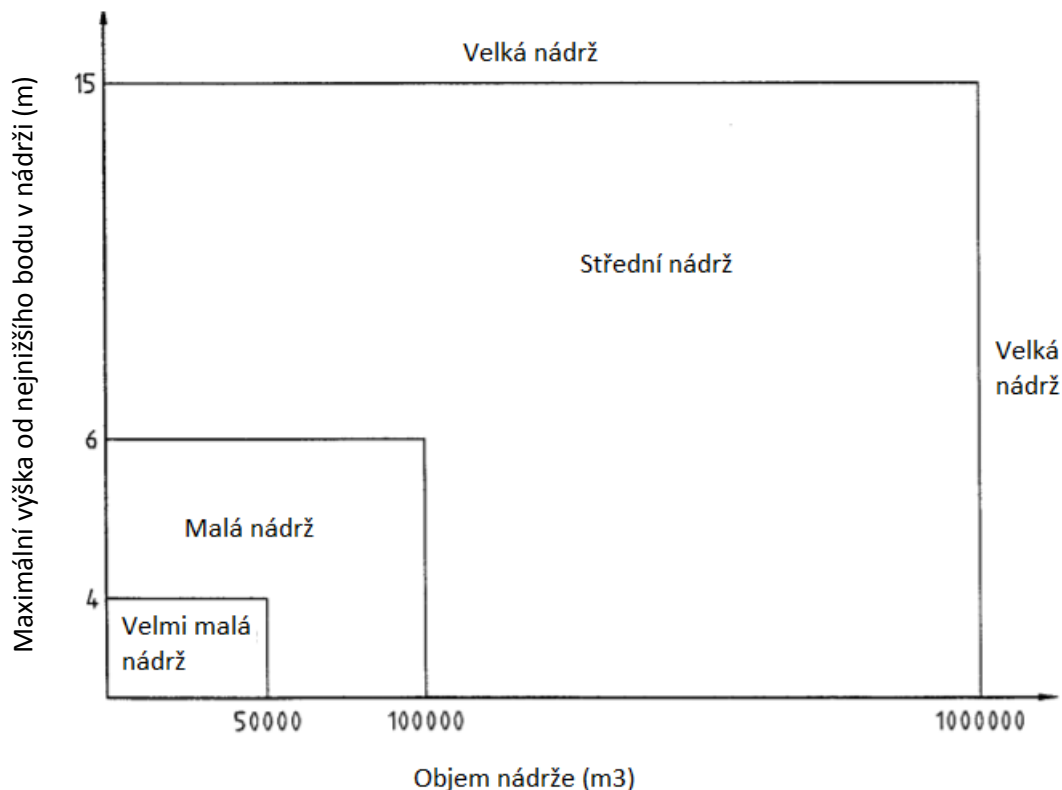
Etiopský sociální fond obnovy a rozvoje („Ethiopian Social Rehabilitation and Development Fund“) definuje MVN jako takovou, která má největší hloubku nádrže do 15 m a objem, který nepřesahuje hranici 3 Mm³.

Dále mají oproti ČR ještě dělení střední hráze s největší hloubkou 15 m až 50 m a objemem (3 až 10) Mm³, ostatní objekty, co přesahují tyto limity, jsou brány jako přehrady (AGP, 2011).

3.1.4 Německo

V Německu se pohled na MVN moc neodlišuje od Česka. Návrh se řídí německou státní normou DIN 19 700 – „Stauanlagen“ (Přehrady), ve které se jasně klasifikuje hranice mezi přehradou, střední hrází, MVN a velmi malou nádrží. Dále se v Německu také řídí při návrhu zjednodušením podle eurokódu 7.

MVN je klasifikována jako taková, jejíž maximální výška od nejnižšího bodu základu hráze nepřesahuje hranici 6 m a objem nádrže 100 000 m³. Velmi malá vodní nádrž je taková, která má maximální výšku hráze od základu do 4 m a objem nádrže je do 50 000 m³. Za střední vodní nádrž se považuje nádrž s výškou hráze od 6 m do 15 m a s objemem 100 000 m³ až 1 mil. m³. Vodní nádrž typu přehrada je nad 15 m a 1 mil. m³ (Obr.3.4).



Obr.3.4 – Dělení hrází, Německo, DIN 19 700-12:2004-07

3.2 DĚLENÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ V ČR

Pro MVN existuje široká řada dělení podle různých kritérií. Za hlavní lze považovat hledisko krajinně ekologické, funkční (účelové) a tvar či uspořádání. MVN je dále ještě možno dělit podle polohy, začlenění do přírodního prostředí nebo také například podle způsobu napájení vodou (Šálek, 2001).

3.2.1 Funkční (účelové) malé vodní nádrže

Dělení podle funkčního hlediska je uvedeno i v ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“ a vychází z účelu MVN. Jedná se o:

- **zásobní nádrže**, které slouží jako vodárenské, průmyslové, závlahové, energetické, kompenzační, zálohové, retardační a aktivační,
- **ochranné (retenční) nádrže**, které slouží jako suché poldry, retenční nádrže s malým zásobním prostorem, protierozní, dešťové, vsakovací a nárazové,
- **rybochovné nádrže**, které slouží jako výtěrové a třecí rybníky, komorové rybníky, hlavní rybníky, speciální komory, sádky a karanténní rybníky,
- **nádrže upravující vlastnosti vody**, které slouží jako chladicí, předeřhřivací, usazovací, aerobní, anaerobní biologické a dočišťovací,
- **hospodářské nádrže**, které slouží jako protipožární, výtopové zdrže, napájecí, plavící, pro chov drůbeže nebo pěstování vodních rostlin,
- **speciální účelové nádrže**, které slouží jako recirkulační, vyrovnávací, přečerpávací, rozdělovací a splavovací,
- **asanační nádrže**, které slouží jako záchytné, skladovací, otevřené vyhnívací, rekultivační a jako laguny,
- **rekreační nádrže**, které slouží jako koupaliště a pro vodní sporty,
- **nádrže na ochranu flory a fauny**,
- **nádrže krajinyotvorné a v obytné zástavbě**, které slouží jako hydromeliorační, okrasné návesní rybníčky a umělé mokřady (Vrána a Beran, 2008).

V dnešní době se MVN navrhuje za účelem zadržení vody v krajině, boji proti suchu a zpomalení odtoku vody po deštích. Obecně lze konstatovat, že každá MVN je polyfunkční, tedy není jednoúčelová, a uplatní se dvě a více funkcí, přičemž jeden účel převažuje jako dominantní (Vrána a Beran, 2008).

3.3 PROBLÉMY MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

V České republice je v současné době vzhledem k dlouhodobému nezájmu veřejnosti o údržbu objektů MVN, ale i minimálním finančním dotacím na provoz a prevenci proti negativním vlivům, mnoho MVN v neuspokojivém stavu (Vrána a Beran, 2008). Problematiku tvoří velký soubor provázaných a ovlivňujících se hledisek a řešení se musí zabývat celým komplexem vodohospodářských problémů povodí.

Tyto problémy se dají rozdělit do několika skupin, které se prolínají a jedná se o problémy vodohospodářské, technické, ekologické (environmentální), ekonomické, etické, majetkoprávní a legislativní.

3.3.1 Problémy vodohospodářské a technické

Z vodohospodářského hlediska se jedná především o problémy zanášení MVN sedimenty. Zanášení prostoru nádrže je převážně způsobováno erozí, která vzniká především na zemědělské půdě. Jev je následkem zemědělské výroby a hospodaření s půdou. Vytvářením velkých ucelených ploch a pěstováním nevhodných plodin (např. kukuřice, řepka) dochází nejen k vyčerpání organické hmoty, ale půda je více náchylná k erozi (větrné i vodní), jejímž důsledkem je transport látek povrchovými toky do nádrží. Negativní dopady na funkci nádrže a kvalitu vody mají sedimenty, které obsahují značné množství živin a toxických látek z průmyslových hnojiv a ochranných látek. Sedimenty zmenšují využitelný prostor nádrže a její objem, což vede ke změnám v hydraulické funkci, k zarůstání obnažených ploch a ke snižování provozuschopnosti funkčních objektů (Vrána a Beran, 2008).

Z technického hlediska se jedná o funkčnost objektů a o údržbu díla. Je třeba sledovat stav výpustných zařízení, opevnění hráze, stav přelivu a koruny hráze, udržování vegetace a sledování zamokření pod hrází, tedy průsak tělesem hráze.

3.3.2 Problémy ekologické (environmentální) a ekonomické

Z ekologického hlediska je nejzávažnější otázka kvality vody, jakost sedimentů, ochrany flory a fauny a vzniklých ekosystémů. Uvedené se samozřejmě prolíná s problémy technickými, ekonomickými a vodohospodářskými (Vrána a Beran, 2008).

V hodnocení ekologického hlediska se posuzuje fyzikální, chemické, biologické a sociální účinky a namísto dřívějšího popisného a pragmatického přístupu se dává důraz na vědecký přístup. Na problematiku pohlíží jako na širší environmentální problém (Peters, 2002).

Kvalitu vody ovlivňují hlavně bodové a plošné zdroje, které se nacházejí v povodí nádrže. Patří mezi ně zemědělská a průmyslová výroba a další lidská činnost. Eliminace těchto zdrojů je nesnadná záležitost, která je nejen časově ale i finančně náročná.

Ekonomické problémy současné doby jsou následkem nevhodné politiky minulých let, kdy hlavním cílem byl chov ryb na úkor nedostačující kapacity ploch a finančních prostředků na provoz a údržbu. V současnosti vlastníci, pokud nejsou finančně podporováni státem, nechávají MVN v katastrofálních stavech (Vrána a Beran, 2008).

Protože účast státu na financování provozu, údržby a oprav MVN je minimální lze předpokládat, že se současný stav v dohledné době nezlepší a většina bude chátrat dále bez možnosti opravy, rekonstrukce či odbahnění nádrže.

3.3.3 Problémy etické

Z etického hlediska se jedná o problémy v oblasti výstavby a provozu, s nimiž je spojeno přesídlování původního obyvatelstva. Uvedený problém se týká hlavně výstavby přehrad, kdy je kvůli velkému záboru plochy nutný odsun velkého počtu obyvatel, kteří tam žijí i několik generací. Dalšímu etickému problému čelí odborníci při rozhodování mezi zájmy odborníka, klienta a společnosti. V ideálním případě je nutno nalézt rovnovážný stav mezi přístupem odborníků, zájmu zadavatele a společnosti a zájmu vysídlovaných obyvatel (Fošumpaurová, 1998).

V případě katastrofy, kdy se poruší nebo prolomí hráz a následně dojde nejen k velkým finančním škodám, ale i ztrátám na životech, je tlak na projektanty, vedoucí a odborníky obrovský. V minulosti se již mnohokrát stalo, že si osoby zodpovědné za návrh nebo provoz zničených děl vzaly život. Kdy psychicky neunesly vzniklou katastrofu. Na území České republiky se jedná například o protržení hráze v Bílé Desné v Jizerských horách roku 1916. Tato katastrofa si vyžádala 65 lidských obětí, 370 osob přišlo o veškerý svůj majetek, přes 1020 osob přišlo o práci a celkově se jednalo o vysokou finanční škodu. Ing. Karel Podhajský, který byl vrchním státním dozorem, spáchal sebevraždu zastřelením poté, co se o katastrofě dozvěděl (Broža, 2005).

3.3.4 Problémy majetkoprávní a legislativní

Problémy v majetkoprávní a legislativní sféře se řeší v novele vodního zákona č. 254/2012 Sb. s novelizací č. 113/2018 Sb. a dalších zákonech.

3.4 ZEMNÍ HRÁZE MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Hráz je nejdůležitějším, nejdražším, nejnebezpečnějším a z hlediska stavebního nejnáročnější částí MVN. Je nutná pečlivá příprava při návrhu, zvážení umístění osy hráze, výběr vhodného materiálu pro stavbu hráze, výběr těsnicího prvku hráze, způsob založení, výběr tvaru hráze. Dále je nutné posouzení průsaků hrází a neškodné odvedení průsakových vod a také způsob výstavby hráze (Vrána a Beran, 2008).

Výstavba rybníků a účelových nádrží se navrhuje ze zemních materiálů soudržných či nesoudržných a hráze mohou být homogenní nebo heterogenní (Šálek, 2001).

3.4.1 Materiál pro stavbu hrází

Výběr materiálu vhodného pro stavbu zemní hráze se řídí inženýrsko-geologickým průzkumem, který určuje zeminy vhodné na výstavbu zemní hráze z blízkých lokalit,

jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti, objem zeminy, těžitelnost, úroveň hladiny podzemní vody. Při výběru zemníku je důležité posoudit jakost materiálu, jeho zásobu v dané lokalitě a je nutné dbát na vlastnické vztahy pozemků, na kterých se zemník nachází. Výhoda je, když se zemník nachází v prostoru budoucí zátopy, vytěžením materiálu se zvětší objem zásobního prostoru nádrže a rekultivace po ukončení těžby je snadnější (Vrána a Beran, 2008).

Materiály se dělí na jemné frakce s velikostí zrn do 0,063 mm, písek se zrny o velikosti 0,063 mm až 4 mm, štěrk o velikosti zrn 4 mm až 63 mm, hrubý štěrk, kameny a balvany o velikosti zrn nad 63 mm (Šálek, 2001).

Tab.3.1 – Vhodnost zemin pro různé zóny hutnění hrází (ČSN 75 2410)

Znak skupiny	Homogenní hráz	Těsnicí část	Stabilizační část
GW	nevhodná	nevhodná	výborná
GP	nevhodná	nevhodná	výborná
G-F	málo vhodná	nevhodná	velmi vhodná
GM	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
GC	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
SW	nevhodná	nevhodná	vhodná
SP	nevhodná	nevhodná	vhodná
S-F	nevhodná	nevhodná	vhodná
SM	vhodná	vhodná	málo vhodná
SC	velmi vhodná	výborná	nevhodná
MG	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
CG	velmi vhodná	výborná	nevhodná
MS	vhodná	vhodná	nevhodná
CS	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
ML-MI	málo vhodná	vhodná	nevhodná
CL-CI	vhodná	velmi vhodná	nevhodná
MI-ME	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná
CH-CE	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná

3.4.2 Sklony zemních hrází

Tvar zemních hrází je v příčném řezu nepravidelný lichoběžník s odlišným sklonem na návodním líci 1:x a vzdušném líci 1:y hráze (Tab.3.2). Sklony svahů jsou voleny podle druhu zeminy vybrané pro výstavbu hráze a také závisí na výšce hráze. Výška zemní hráze bývá dána výškou vzduť hladiny vody v nádrži, které je potřeba docílit a je zvětšená o 0,6 m až 1,1 m nad úroveň nejvyšší hladiny vody v nádrži.

Tab.3.2 – Orientační sklonů svahů hrází (ČSN 75 2410)

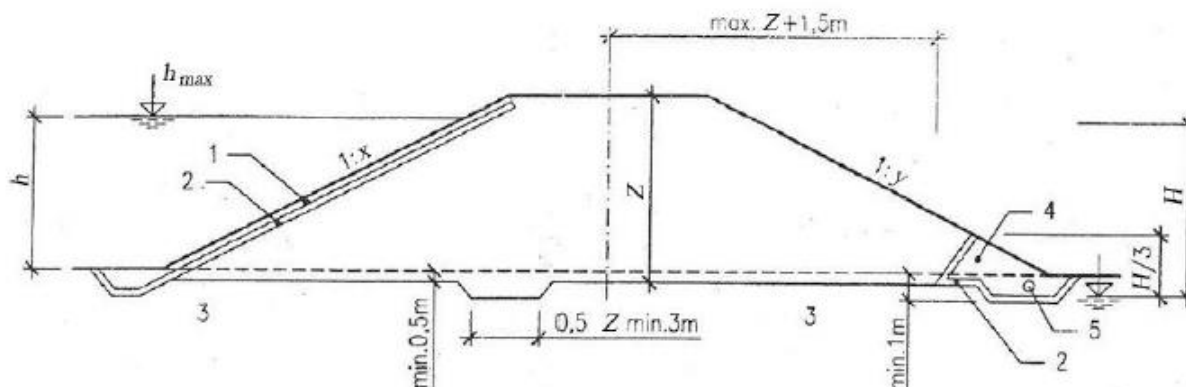
Těsnicí část hráze (jádro) leží v zóně (obrázek 5)	Stabilizační část hráze leží v zóně (obrázek 5)	Zařazení zemín		Svahy	
		Těsnicí část hráze (jádro)	Stabilizační část hráze	návodní 1 : x ⁴⁾	vzdušný 1 : y
A	DB, CE	GM, GC, SM	lom. kámen	1 : 1,75	1 : 1,5
		SC, CG, MG	GW, SW	1 : 2,8 ¹⁾	1 : 1,75
		ML-MI,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

3.4.3 Homogenní zemní hráze

Homogenní hráze jsou budovány z jednoho typu dostatečně nepropustné a konstrukčně stálé zeminy. Nejvhodnější jsou písčité hlíny až hlinitojílovité písky a oproti tomu nevhodnou variantou jsou jílovité zeminy, které jsou náchylné k namrzání, bobtnají a po vysušení vytvářejí preferenční cesty (Vrána a Beran, 2008).

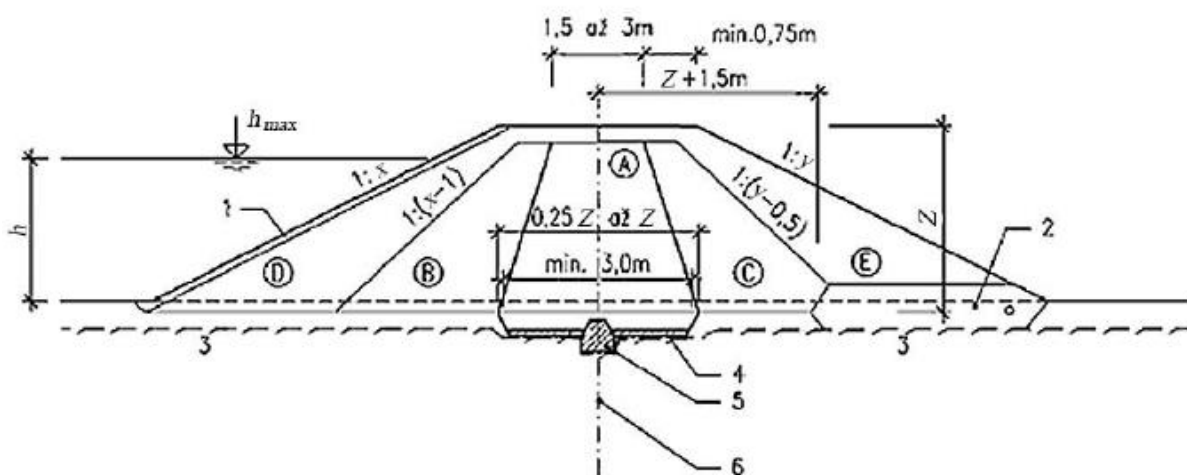
Stavebně jsou homogenní hráze jednoduché a jsou vhodnou volbou, pokud se v blízkosti budoucí hráze nachází dostatečné množství vhodné zeminy. Doporučená výška podle ČSN 75 2410 je do 6,0 m.



Obr.3.5 – Schéma homogenní hráze (ČSN 75 2410), 1 - opevnění, 2 - filtr, 3 - nepropustné podloží, 4 - patní dren, 5 - drenážní potrubí.

3.4.4 Nehomogenní zemní hráze

Nehomogenní zemní hráze se volí v takovém případě, že v blízkém okolí není dostatek materiálu pro výstavbu homogenní hráze. Konstrukčně se skládají ze dvou a více typu zemin, jsou tvořeny těsnicím jádrem, přechodnou stabilizační částí a propustnými stabilizačními částmi. Podle umístění těsnicího jádra se rozlišují hráze se středním tzv. jádrovým těsněním a s návodním těsněním (Vrána a Beran, 2008).



Obr.3.6 – Schéma nehomogenní hráze (ČSN 75 2410), 1 - opevnění, 2 - drenážní prvek, 3 - nepropustné skalní podloží, 4 - betonový vyrovnávací vrstva, 5 - betonová zavazující ostruha, 6 - těsnicí prvek v podloží. A - těsnicí jádro; B a C - přechodové stabilizační části; D a E - propustní stabilizační část.

3.5 OCHRANA PŘED PŘÍVALOVÝMI DEŠTI (POVODNĚMI) A SUCHEM

Ochrana před přívalovými dešti a suchem je v současné době jedním z hlavních a důležitých témat diskutovaných jak veřejností, tak i odborníky z nejrůznějších oblastí.

3.5.1 Ochrana před přívalovými dešti a povodněmi

Za posledních několik let se v České republice, díky silným přívalovým deštům, objevilo mnoho bleskových povodní. Jako první ze základních variant ochrany měst, obcí a majetku před škodami je vhodná výstavba MVN, které by byly schopny zadržet část povodňových objemů, popřípadě výstavbou suchých nádrží tzv. poldrů (Říha, 2014). Jako protipovodňové opatření se nádrž uplatňuje tou částí svého objemu, která za běžného provozu není naplněna vodou.

Suché nádrže (SN) se umísťují zpravidla nad obydlená území a jsou klasifikována jako funkčně specifická vodní díla, která mají zadržovat a akumulovat vodu při povodňových událostech. Svými parametry v řadě případů odpovídají MVN

a navrhují se dle normy TNV 75 2415 – „Suché nádrže“. Pro návrh suchých nádrží jsou potřeba údaje od ČHMÚ, které určují hydrologické podklady, ze kterých lze zjistit údaje o průtocích a o objemech povodňových vln (Říha, 2014).

Nejextrémnější povodně byly v červenci 1997, v srpnu 2002, na jaře 2006, v červnu a červenci 2009. Rok 2009 se od ostatních liší v tom, že se nejedná o jednu povodňovou událost, ale o několik událostí na různých místech státu, které probíhaly nezávisle na sobě a hydrologicky se navzájem neovlivňovaly. Jediným spojením je meteorologická situace, kdy v některých horských oblastech intenzita srážkových úhrnů dosahovala více než 50 mm za den. Z těchto důvodů je potřeba věnovat pozornost výstavbám MVN a SN pro zmírnění dopadu v nižších oblastech [4].

Ve srovnání například s přehradami či MVN mají suché poldry vyšší tzv. retenční kapacitu. Sto procent objemu poldru slouží k zachycení vody z povodňové vlny. Je možné, aby na ploše, která je určena k zaplavení přibíhala zemědělská činnost. V mnoha případech jsou poldry zatravněné nebo spojené s mokřady a tvoří tak součást širších biokoridorů [5]. Kromě protipovodňové funkce slouží poldry také k záchytu půdních smyvů.



Obr.3.7 – Poldr nad obcí Hati na Opavsku (<http://zitkrajinou.cz/voda-a-sucho/poldry-hati-brani-povodnim/>)

3.5.2 Ochrana před suchem

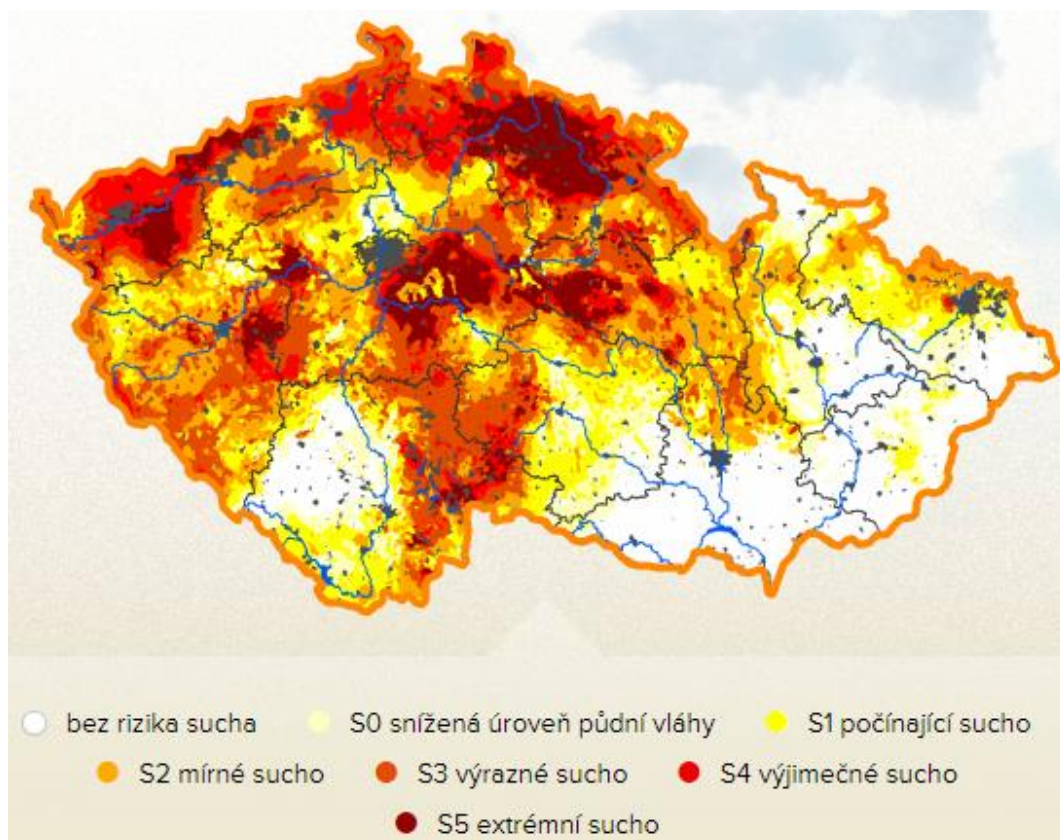
Sucho je odedávna jednou z nejobávanějších přírodních katastrof, které se mohou přihodit. Hydrologické sucho je zásadní problém, který vzniká zejména jako deficit srážek a projevuje se jako nedostatek zdrojů povrchových a podzemních vod.

Vznik hydrologického sucha je však ovlivněn i způsobem lidského užívání vody, a proto je nutno na hydrologické sucho pohlížet jako na přírodní fenomén, který může být prohlouben lidským působením. Výrazně jej může zhoršit například neuvážené zalévání v době sucha či napouštění bazénů. Na hydrologické sucho lze pohlížet z různých hledisek, např. v případě vodních toků je za sucho považována situace, kdy průtok poklesne pod kritickou mez, kterou je hodnota tzv. 355denního průtoku Q_{355} . Za stav sucha jsou tedy označena přibližně 3 % nejméně vodných dní. V případě podzemní vody je za sucho považována situace, kdy hladina poklesne pod 85% měsíční kvantil, hodnocení nasycení půdy vodou je prováděno z hlediska rizika vzniku potenciálního rychlého odtoku vody z krajiny. Účelem hodnocení není identifikace stavu sucha v půdě, ale spíše vyhodnocení aktuálního zaplnění retenční kapacity půdy z pohledu jeho vlivu na odtokový proces při následujících srážkách [6].

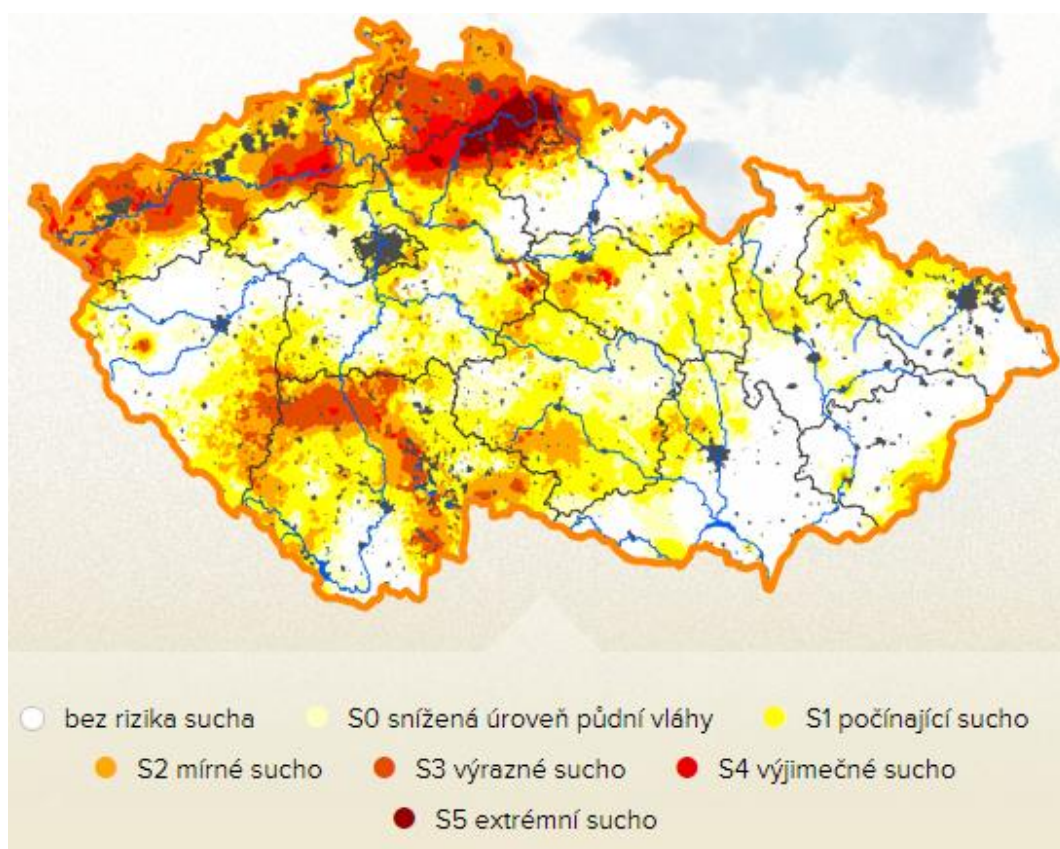
Mezi významné dopady nedostatku vody patří především ohrožení zdrojů surové vody pro úpravu na pitnou vodu, ohrožení jakosti povrchové i podzemní vody, ohrožení zdrojů pro závlahové systémy a mnoho dalších [7].

MVN napomáhají udržovat vodu v krajině, dotují podzemní vodu, výpar z vodní hladiny podporuje mikroklima ve svém okolí a napomáhá malému koloběhu vody. Dále se využívají zásoby vody na závlahy, působí tak kladně na vegetaci a další přímé využití [8].

Ze stavu na Obr.3.8 a Obr.3.9 je poukázáno na rozsah sucha a je zřetelné, že například v Jižních Čechách či na Jižní Moravě, kde je široká síť rybníků je situace příznivější než například na Liberecku, kde je síť MVN minimální.



Obr.3.8 – Stav sucha 2.9.2018 (<https://www.intersucho.cz/>)



Obr.3.9 – Stav sucha 1.9.2019 (<https://www.intersucho.cz/>)

4 PORUŠENÍ ZEMNÍCH HRÁZÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

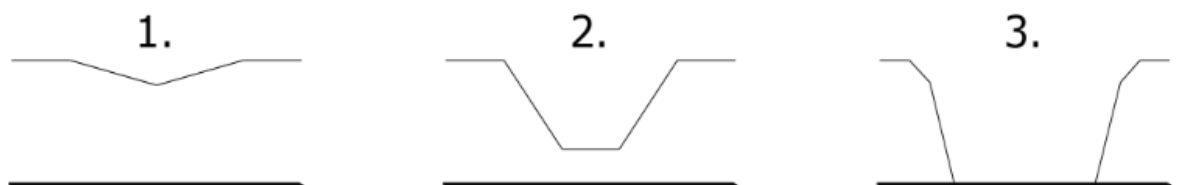
Riziko porušení zemních hrází je s jejich výstavbou a provozem spojeno vždy. Porušení konstrukce může mít za následek povodňovou vlnu, která může mít katastrofické dopady nejen na majetku, ale i na lidských životech (Jandora a Říha, 2002). Žádný návrh nemůže zajistit úplnou bezpečnost vodního díla.

Důvodů vzniku poruch zemních hrází MVN je mnoho a jsou to většinou kombinace následujících faktorů:

- nevhodná projektová dokumentace,
- špatně provedený či podceněný inženýrsko-geologický průzkum,
- nekvalitní výstavba a technologické postupy,
- nevhodně zvolený materiál,
- sedání hráze,
- nedostatečná kapacita bezpečnostních přelivů a následná špatná manipulace s nimi,
- zanedbání údržby,
- eroze vnější a vnitřní,
- stárnutí technologických částí,
- chybné manipulační a provozní řády,
- působení negativních klimatických jevů a živočichů,
- úmyslné poškození.

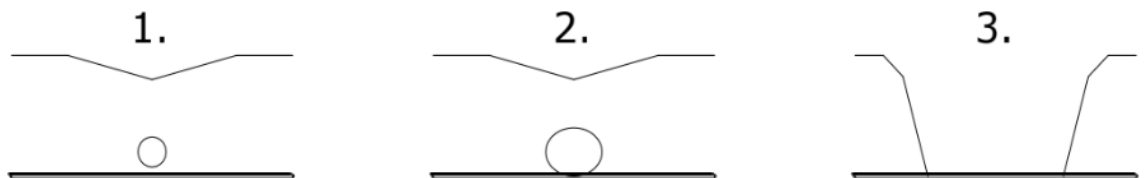
Poruchy vzniklé na základě působení erozivní činnosti vody lze rozdělit na poruchy způsobené přelitím hráze, působením vln, vodním proudem a povrchovou erozí při intenzivním dešti (Jandora a Říha, 2002).

Hráze MVN nejsou navrhovány jako přeléváné a mají proto omezenou odolnost vůči povrchové erozi a v případě nedostatečného opevnění návodního líce může dojít k abrazi způsobené vlnami.



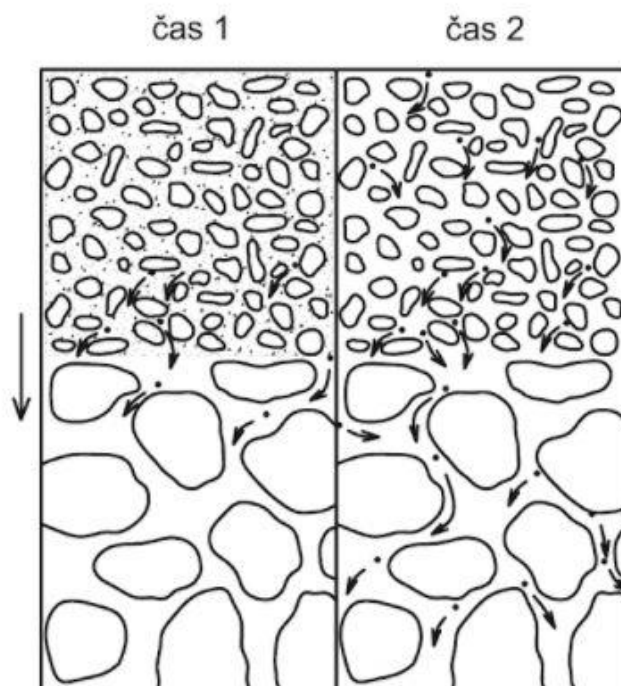
Obr.4.1 – Postup porušení koruny zemní hráze v důsledku přelití (Jandora a Říha, 2002)

Poruchy vzniklé na základě působení filtrační deformace mohou nastat v případě nekontrolovaného průsaku tělesem zemní hráze nebo jejím podložím. Takto vzniklé poruchy se evidují až z 40% všech poruch sypaných zemních hrází (Jandora a Říha, 2002). U mnoho historických MVN se vyskytuje zamokřený terén v podhrází, který je zapříčiněn špatným odtokem srážkových nebo průsakových vod (Malé vodní nádrže – rybníky, 2016).



Obr.4.2 – Postup porušení zemní hráze v důsledku filtrační deformace (Jandora a Říha, 2002)

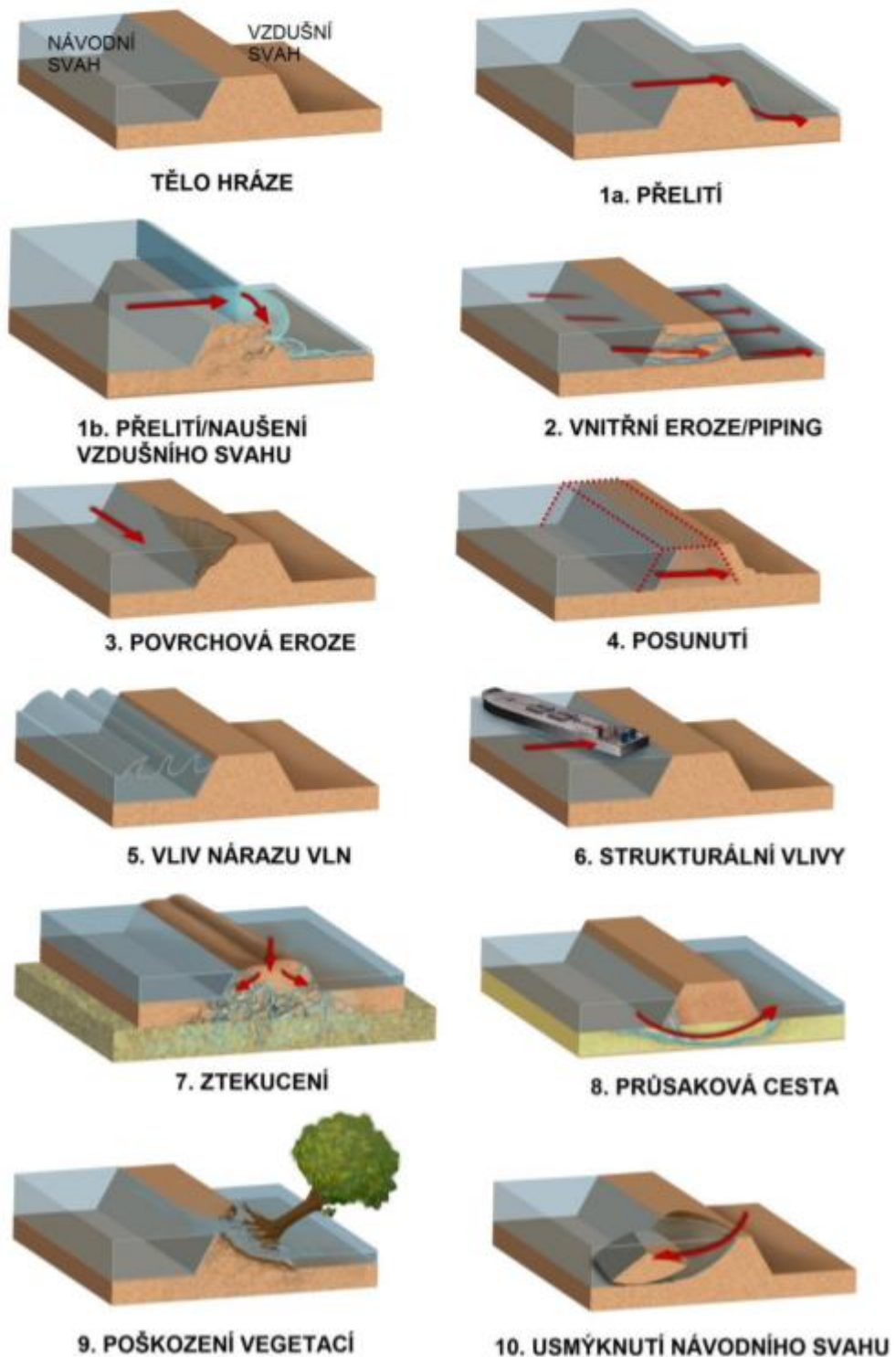
Sufoze je děj, při kterém dochází k vyplavování jemnozrnných částic materiálu a následně dochází ke zvýšení propustnosti materiálu. Narušením struktury vznikají dutiny a průsakové kanály.



Obr.4.3 – Postup kontaktní sufoze (Říha, 2008)

K dalším možným poruchám patří i ztráta stability (Jandora a Říha, 2002). Sesuv může postihnout návodní nebo vzdušný svah hráze. V případě sesuvu zeminy na návodním svahu může dojít k náhlé změně úrovně hladiny vody v nádrži. V případě vzdušného svahu je vhodné zpevnit hráz výsadbou stromů a keřů. I toto opatření

sebou ale nese rizika, kořenový systém často vede k porušení hráze filtrační deformací a po vyvrácení stromu mohou vznikat nátrže na svazích hráze.



Obr.4.4 – Dělení typu poruch podle National Sciens Foundation, dostupné z: <https://nsf.gov/> (překlad Hošková [9])

5 MONITOROVÁNÍ ZEMNÍCH HRÁZÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Z důvodů možnosti porušení zemních hrází je nutné věnovat pozornost jejich monitorování. Pozorování a měření je nezbytnou součástí péče o MVN a o jejich provoz. Hráze, které jsou umístěné nad důležitými místy (průmyslové závody, městy, apod.) vyžadují zvýšený dozor a kontrolu (Šálek, 1996).

Monitorování MVN se provádí hlavně tehdy, pokud se při inženýrsko-geologickém průzkumu (IGP) stanovila riziková místa nebo se tato místa objevila v průběhu provozování díla. Pro monitorování je možné zvolit měřicí metody přímé a nepřímé.

5.1 PŘÍMÉ MĚŘICÍ METODY

Přímé měřicí metody využívají hlavně geologické sondování. To je prováděno buď jako ruční, nebo mechanické, kdy je nutné vybudovat měřicí šachtu, štolu, odkryv nebo odebrat vzorky k laboratornímu rozboru.

Přímé měřicí metody se řadí do metod destruktivních. Při jejich využívání může dojít k nevhodnému zásahu do konstrukce a tento zásah může mít negativní následky ve smyslu stability konstrukce nebo bezpečného provozu.

5.2 NEPŘÍMÉ MĚŘICÍ METODY

Nepřímé měřicí metody se v posledních dobách využívají častěji. S rozvojem technologií a měřicích aparatur využívajících elektrické a elektronické prvky jsou nepřímé měřicí metody přístupnější.

Nepřímé měřicí metody se řadí do metod nedestruktivních a jsou zpravidla šetrnější ke konstrukci. Většinou využívají znalosti reakce sledovaných materiálů na různé podněty (hlavně elektrické impulzy). Poněvadž se neměří přímo hodnota sledované veličiny, je při požadavku její znalosti nutné buď provádět kalibrace na požadovanou veličinu, nebo sledovat relativní změny měřeného prostředí.

6 METODA ELEKTRICKÉ IMPEDANČNÍ SPEKTROMETRIE (EIS)

Metoda elektrické impedanční spektrometrie (EIS) je nepřímá měřicí metoda, která využívá měření elektrické impedance Z k posuzování charakteristik zemin (Pařílková a kol., 2015). Metoda umožňuje sledování změny obsahu vody v zemině. Je možné měřit teplotu prostředí, změnu struktury, vlhkosti, ulehlosti zeminy. Odhaduje velikost zrn a další parametry, které charakterizují zeminu. Budicím zdrojem energie pro sledování zemin je střídavý harmonický elektrický signál. Každá zemina se projevuje určitým elektrickým odporem vůči průchodu elektrického proudu (Pařílková a kol., 2012).

Metoda EIS je založena na měření elektrické impedance Z zemin definované Ohmovým vztahem (6.1) pro střídavé obvody, tedy poměrem fázoru elektrického napětí U a fázoru elektrického proudu I (Pařílková, 2013), kde fázor elektrického napětí U je vyjádřen ve voltech [V], fázor elektrického proudu I v ampérech [A] a elektrická impedance Z je v ohmech [Ω].

$$Z = \frac{U}{I} [\Omega], \quad (6.1)$$

Elektrická impedance Z je fyzikální veličina charakterizovaná dvěma složkami (reálnou a imaginární). Lze ji vyjádřit komplexním číslem (6.2), kde reálná část elektrické impedance je elektrický odpor nebo-li rezistance R , imaginární část je reaktance X a j je imaginární jednotka (Pařílková a Radkovský, 2016).

$$Z = R + jX, \quad (6.2)$$

Rezistance R se v ideálním případě nemění v závislosti na frekvenci budicího signálu. Reaktance X , která tvoří složku imaginární, je odpor zeminy, který se v závislosti na frekvenci budicího signálu mění.

Elektrickou impedanci lze považovat za dvojpól, který obsahuje rezistory a akumulační prvky (jako jsou např. kapacity), které popisují zdánlivý odpor zeminy a fázový posuv elektrického napětí proti elektrickému proudu při průchodu střídavého harmonického elektrického signálu dané frekvence.

K prohloubení znalosti resp. vhodnějšímu popisu zkoumaného zemního prostředí se využívají i veličiny odvozené z měřené elektrické impedance a jejích složek (Sedlák a Štoll, 2002) (Viček, 2007). Např. převrácená hodnota elektrického odporu (6.3) měřené zeminy je fyzikální veličina, která se nazývá konduktance (elektrická vodivost), jejíž jednotkou je Siemens.

$$G = \frac{1}{R} [S], \quad (6.3)$$

Při syčení zeminy vodou je elektrická vodivost způsobena pohybem elektronů či iontů. Lze konstatovat, že suchá nebo zmrzlá zemina špatně vede elektrický proud, zatím co nasycená zemina vede elektrický proud dobře. Voda, mimo jiné chemické prvky, zpravidla obsahuje určité množství rozpuštěných minerálních solí, a proto se řadí mezi vodiče. Je charakteristická svým elektrickým odporem R [Ω] (což je reálná část elektrické impedance \mathbf{Z}) resp. jeho převrácenou hodnotou elektrickou vodivostí G [S]. Dalším zdrojem podílejícím se na elektrické vodivosti zeminy jsou inoty vyskytující se přímo v měřeném prostředí zeminy.

Kmitočtová charakteristika je dána závislostí

$$\mathbf{Z} = R + j \omega X, \quad (6.4)$$

kde modul vektoru impedance $|\mathbf{Z}|$ je vyjádřen z Pythagorovy věty

$$|\mathbf{Z}| = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (6.5)$$

fázový posuv φ [rad] je dán vztahem

$$\varphi = \arctan\left(\frac{X}{R}\right) \quad (6.6)$$

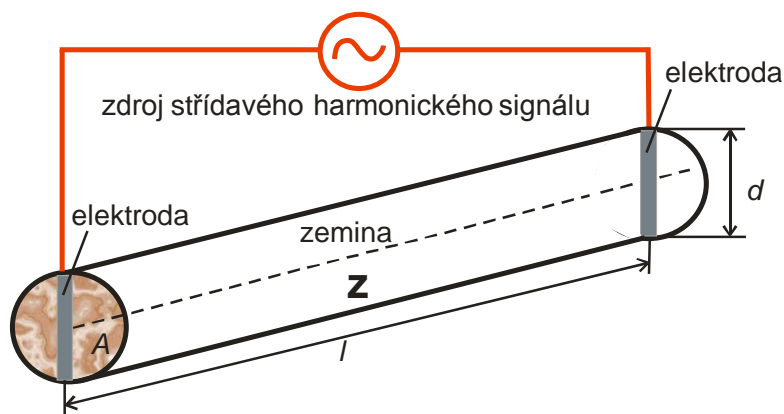
a úhlová frekvence

$$\omega = 2\pi f, \quad (6.7)$$

kde f [Hz] je frekvence měřicího signálu.

6.1 PRINCIP MĚŘENÍ

Měření elektrické impedance zeminy vychází z paralelního umístění dvou elektricky vodivých elektrod do zeminy ve vzdálenosti $l \leq 2$ m. Hranice maximální vzdálenosti byla stanovena z praktických zkušeností z měření a důvodem je omezení vlivu geoelektromagnetického pole Země, který vychází vždy z podmínek na měřené lokalitě. Dvě elektrody délky d tvoří jeden snímač sondy EIS. Střídavý elektrický signál procházející zeminou mezi v ní zabudovanými elektrodami generuje elektrické pole a kolmo na něj je generováno magnetické pole. Zemina však průchodu elektrického proudu klade elektrický odpor, což vyjadřují měřené složky elektrické impedance \mathbf{Z} – rezistance R a reaktance X . Zemina se tak stává elektrickým vodičem o ploše A a délce určené vzdáleností elektrod l .

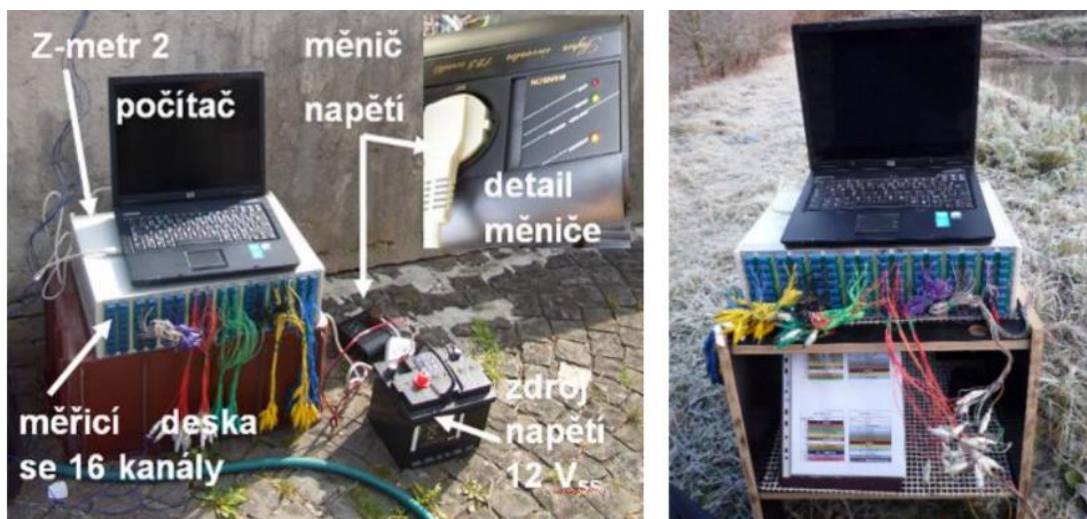


Obr.6.1 – Schéma měření elektrické impedance zeminy

6.2 MĚŘICÍ APARATURA

6.2.1 Z-metr II

Monitorování zájmové lokality se v letech 2006 až 2012 provádělo přístrojem Z-metr II. Tento přístroj byl koncipován jako laboratorní, a proto jej při polním měření bylo nutno vybavit napěťovým měničem a místo síťového zdroje byla využívána autobaterie (Obr.6.2 vlevo). Následně byl napěťový zdroj integrován do zapouzdření přístroje a zařízení bylo uzpůsobeno bateriovému napájení (Obr.6.2 vpravo).



Obr.6.2 – Z-metr II, vlevo rok 2006 a vpravo rok 2011 (Pařílková)

Tab.6.1 – Základní parametry pro Z-metr II (Pařílková, 2006)

Parametr	Z-metr II
Rozsah impedance	10 Ω - 1 M Ω
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 měřících míst

6.2.2 Z-metr IV

Přístroj Z-Metr IV byl navržen a realizován v rámci řešení projektů programu EUREKA (Pařílková, 2016) jako čtvrtá generace přístroje Z-metr a je určený pro měření elektrické impedance pórovitých materiálů.

Z-metr IV je tvořen 32 bitovým výkonným mikroprocesorem s jádrem Cortex-M3 (Pařílková, 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 kontinuální intenzivní provoz. Dobíjení probíhá pomocí 5V/1A napájecího adaptéru ze síťového zdroje nebo přes rozhraní USB např. z powerbanky, počítače či jiného zařízení. Pro komunikaci s uživatelem je přístroj vybaven displejem LC a klávesnicí, z níž je možné nastavení přístroje, a to včetně automatického autonomního provozu (Pařílková, 2013), nastavit.

Rozhraní Bluetooth umožňuje propojení přístroje ke vzdálenému ovládní a manipulaci s daty (Pařílková, 2013). Přístroj je stavěn pro Globální Systém Mobilní komunikace (GSM) s bezdrátovým připojením k Wi-Fi. Naměřená data jsou ukládána na paměťovou kartu SD v textovém souboru, kterou lze přes komunikační rozhraní USB kabelem propojit k počítači. V automatizovaném provozu se data přes Bluetooth ukládají na server. Zpracování dat se obvykle provádí v programu MS Excel.



Obr.6.3 – Příklad přístroje Z-metr IV (Pařílková)



Obr.6.4 – Konstrukce sond EIS (Pařílková, 2017)

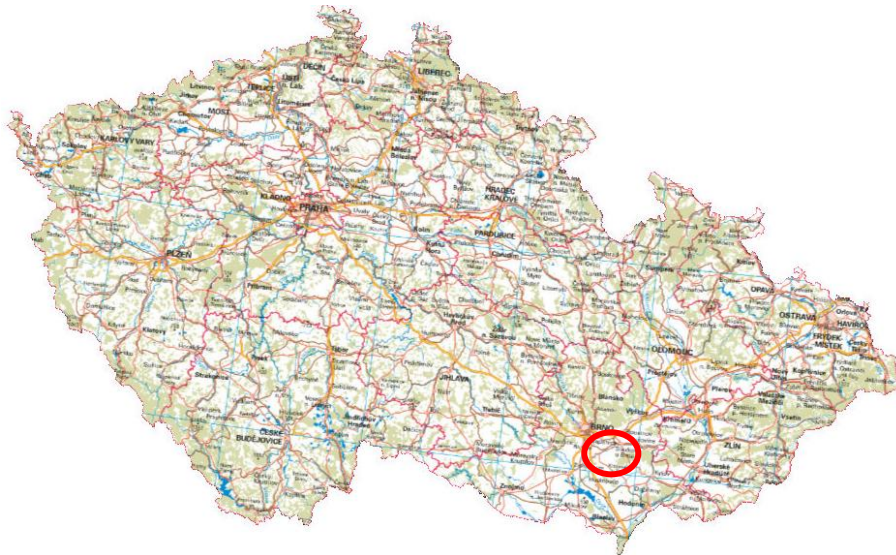
Pro připojení snímačů sond EIS k přístroji Z-metr IV se využívají dva 25 pinové konektory typu CANON. Specifikace základních parametrů přístroje Z-metr IV jsou uvedeny v následující tabulce (Pařílková, Radkovský, 2016).

Tab.6.2 – Základní parametry přístroje Z-Metr IV (Pařílková, Radkovský, 2016)

specifikace elektrické měřicí části	
měřicí rozsah impedance	10 Ω – 1 M Ω
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	
specifikace komunikace s okolím	
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)	
napájení	
napájení	bateriové s dobíjecími články
doba kontinuálního provozu [h]	16
napájecí napětí [V]	3,7
maximální napájecí napětí [V]	5

7 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉ LOKALITY

Zájmová lokalita MVN Bezedník III se nachází v povodí Litavy, na katastrálním území obce Kobeřice u Brna v Jihomoravském kraji na území okresu Vyškov. Obec spadá pod správu města s rozšířenou působností Slavkov u Brna.

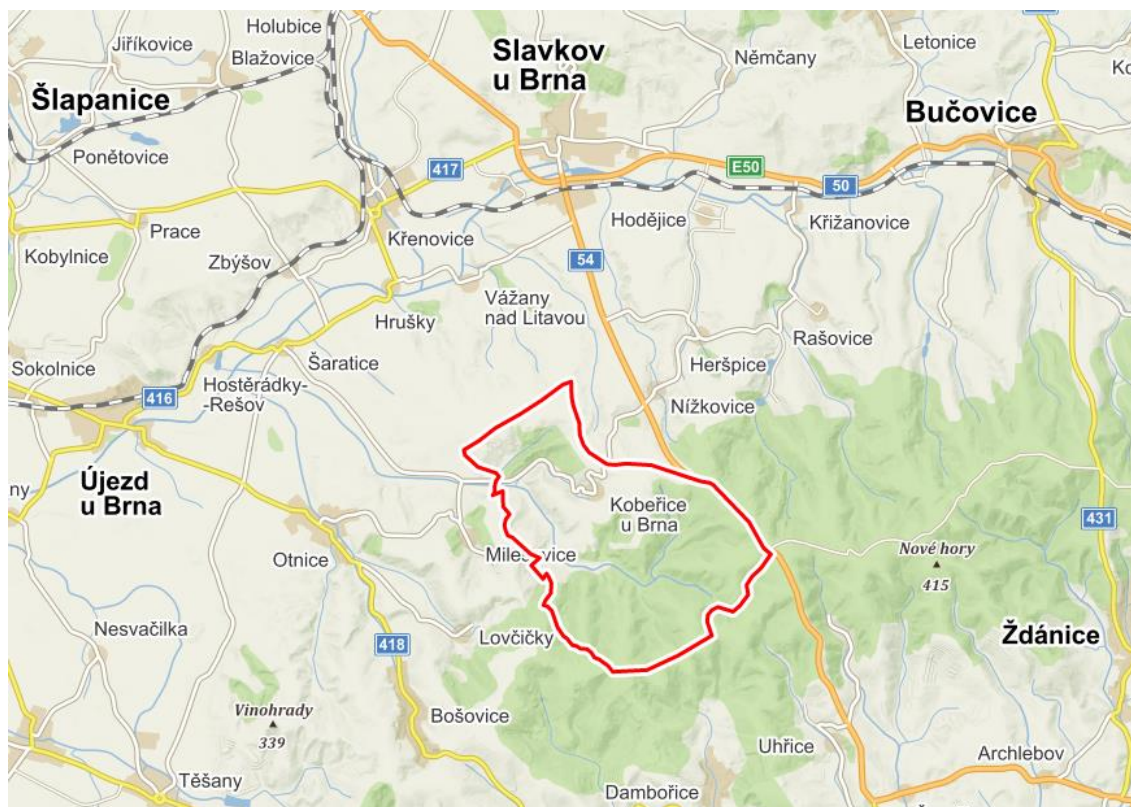


Obr.7.1 – Umístění zájmové lokality v rámci ČR (<https://geoportal.cuzk.cz>)

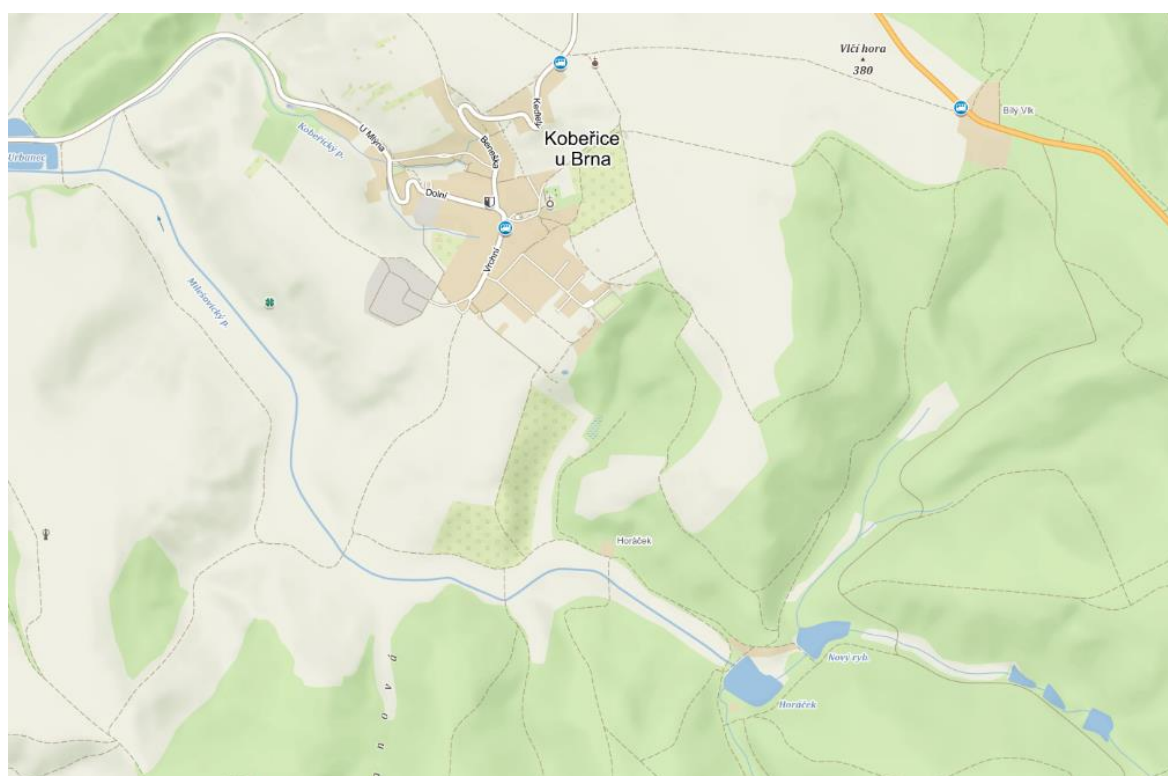
7.1 OBEC KOBEŘICE U BRNA

Obec Kobeřice se nachází přibližně 8 km jižně od Slavkova u Brna a 29 km jihovýchodně od Brna v kopcovité krajině západně od Ždánického lesa, který byl prohlášen za Přírodní park. Rozkládá se na jižním svahu členitého údolí Milečovického potoka. V obci žije 710 obyvatel. Výškové rozmezí obce je 260 a 340 m n.m. [10].

Katastr obce (Obr.7.2 a Obr.7.3) je o rozloze 1 676 ha, z toho 901 tvoří les, 23 ha rybníky a vodní plochy, které jsou kaskádovitě uspořádány v lesním údolí. Ráz krajiny je určován souvislým pásem Ždánického lesa, ve kterém se nachází soustava 3 rybníků a 4 vodních nádrží [10] (Obr.7.4).



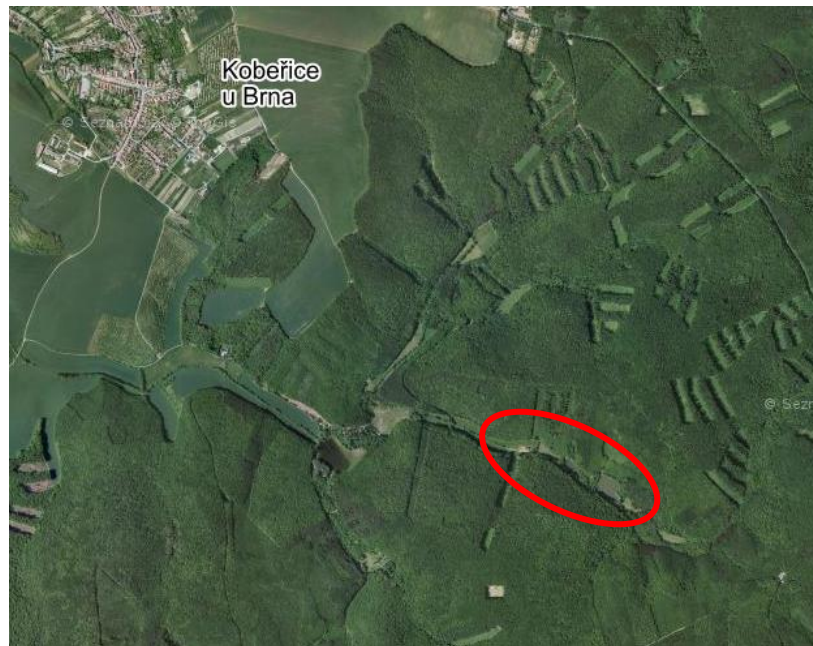
Obr.7.2 – Katastrální území obce Kobeřice u Brna (<https://mapy.cz>)



Obr.7.3 – Obec Kobeřice u Brna (<https://mapy.cz>)

7.2 MVN BEZEDNÍK III

Zájmová MVN Bezedník III byla vystavěna v roce 1979 na Milešovickém potoce (Obr.7.5). Nádrž je svým charakterem průtočná. Správcem a uživatelem soustavy nádrží jsou Lesy České republiky, s.p., Lesní správa Bučovice. Z pohledu společnosti věnující se bezpečnosti vodních děl VD-TBD a.s. Brno, je Bezedník III klasifikován jako vodní dílo kategorie IV, tedy vodní dílo s nízkou pravděpodobností vzniku škody při hypotetické havárii.



Obr.7.4 – Letecký snímek situování MVN Bezedník III od Kobeřic u Brna (<https://mapy.cz/>)



Obr.7.5 – MVN Bezeník III na Milešovickém potoce (<https://mapy.cz/>)

7.2.1 Výstavba

Vybudováním nádrže vznikla možnost zavlažování níže položených pozemků lesního závodu, využití pro protipožární ochranu, také na chov ryb a v neposlední řadě jako zdroj vody pro lesní zvěř. Jedná se tedy o víceúčelovou nádrž [A] a estetický krajinnotvorný prvek.

Bezedník III se nachází na flyšojdním podkladu s olasovým vývojem jílovců a pískovců, které jsou překryté hlínou a jílovitou hlínou. Dále se v mělkých místech vyskytují černé organické půdy, často zrašeliněné. Z hydrogeologického hlediska je lokalita umístěna v místě s poměrně malou jímavostí vody.

Zemní hráz nádrže byla navržena jako sypaná, homogenní, kolmo na podélnou osu údolí. Materiál hráze byl volen z místních zemin nacházejících se v údolí. Jedná se o zeminu hlinitojílovou s příměsemi písku. Návodní líc byl zpevněn betonovými prefabrikáty, které byly uloženy do betonového lože se štěrkopískovým ložem a jílovým těsněním. Zpevnění bylo zajištěno založením do kamenných patek na cementovou maltu. Zpevnění líce bylo spojeno se zpevněním komunikace v koruně hráze. V koruně byla plánovaná výstavba vozovky, avšak od tohoto záměru bylo upuštěno, protože se objevilo nebezpečí jejího enormního zatěžování v průběhu lesních prací, a proto byla komunikace ponechána pouze se štěrkovým podkladem. Vzdušný líc byl zpevněn výsadbou vegetace [A].

Výpustné zařízení bylo navrženo jako celokovový požerák (Obr.7.10). Odpadní potrubí bylo navrženo z tlakových trub o průměru DN300. Vtok byl osazen česlemi a odvodňovací příkop od výústě byl zpevněn dlažbou na cementovou maltu. Bezpečnostní objekt nebyl navržen [A].

V roce 1980 se uskutečnilo napuštění nádrže vodou za využití pozdních zimních a jarních srážek a také napomohla vysoká hladina podzemní vody. Začaly se objevovat ztráty vody mimo vypouštěcí potrubí. Předpokládalo se, že závada je v těsnicím jádru. Z tohoto důvodu byl proveden geologický průzkum 3 sondami do hloubky 0,1 m až 0,15 m a bylo zjištěno, že předpokládaný profil v základové spáře byl v některých místech odlišný od skutečného stavu v provedené spáře. Tato závada byla odstraněna přidáním těsnicí vrstvy z jílovité hlíny na návodní líc [A].

Závada se později opět objevila a v roce 1997 byl proveden další návrh opravy. Z návodního líce bylo odstraněno původní opevnění betonovými prefabrikáty a stávající štěrkopískové lože bylo vyrovnáno a doplněno. Na tuto vrstvu byla položena geotextilie a na ni byla položena hydroizolační folie z měkčeného PVC. Na PVC folii byla následně uložena vrstva hlinitopísčité zeminy. V patě hráze byla provedena patka z lomového kamene položena na cementovou maltu, která slouží

jako podpora pro betonové prefabrikáty. Návodní líc nad maximální hladinou, vzdušný líc a koruna hráze byly zpevněny travní směsí [A].

V roce 1998 byla opět provedena oprava těsnicího prvku návodního líce hráze využitím fólie HDPE tloušťky 1,5 mm, která byla uložena oboustranně v ochranném štěrkopískovém loži. Bylo opraveno také opevnění z tvárnic IZT, část líce byla opevněna polovegetačními tvárnicemi s výplní štěrku a v oblasti zavázání do terénu se doplnila kamenná rovnanina. Koruna hráze byla opevněna drceným kamenivem. Dalším prvkem opravy bylo vybudování nového sedimentačního prostoru, který byl umístěn před výpustný objekt (požerák). Současně s opravou hráze byl na levé straně hráze vybudován bezpečnostní přeliv dimenzovaný na Q_{100} se sklony svahu 1:5 (Obr.7.6). Tímto se zvýšila hladina v nádrži místy až o 0,4 m. Přeliv je příčně přejezdný a opevněný kamennou dlažbou s vyspárováním, uložený do betonového lože. Vývar je upraven kamenným záhozem ukončený příčným prahem a návodní líc je přístupný přes kamenné schody [A] (Obr.7.7).

Opět v roce 2006 se na hrázi objevilo prosakování vody. Z uvedeného důvodu byl vznesen požadavek na dlouhodobé sledování zemní hráze z hlediska změn obsahu vody v zemině a na návodní líc byly osazeny sondy metody EIS poprvé mimo laboratorní šetření. V říjnu 2006 byla nádrž vypuštěna. Proběhla oprava návodního líce hráze podsypáním a přeložením tvárnic IZT a také polovegetačních tvárnic.



Obr.7.6 – Hráz a kamenný bezpečnostní přeliv MVN Bezedník III



Obr.7.7 – Schody na návodním líci, součást bezpečnostního přelivu



Obr.7.8 – Opevňení návodního líce



Obr.7.9 – Výpustný objekt (požerák)



Obr.7.10 – Výpustné potrubí požeráku na vzdušném líci

V současné době se na VD nachází funkční bezpečnostní přeliv, sedimentační prostor před výpustným objektem a výpustný objekt (požerák). Výpustní objekt se skládá ze dvou trubek umístěných jako mezikružší a je kryté ocelovým plechem. Do provozu se uvádí pootočením šoupěte, které je umístěné ve vnitřní části válce. Vnitřní válec definuje hladinu stálého nadržení a jako ochrana proti neoprávněné manipulaci je zabezpečen uzamykatelným zařízením.

7.2.2 Základní hydrologické údaje

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

Tab.7.1 – M-denní průtoky

M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q_m [l/s]	13	8	6	5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,1

Tab.7.2 – N-leté průtoky

N	1	2	5	10	20	50	100
Q_N [m ³ /s]	0,5	0,9	1,7	2,5	3,5	5	6,5

Tab.7.3 – Hydrologické údaje

Povodí	Litavy
Hydrologické pořadí	4-15-03-084
Plocha povodí	2,12 km ²
Plocha zátopy	3 586 m ²

7.2.3 Základní technické údaje

Tab.7.4 – Rozměry nádrže

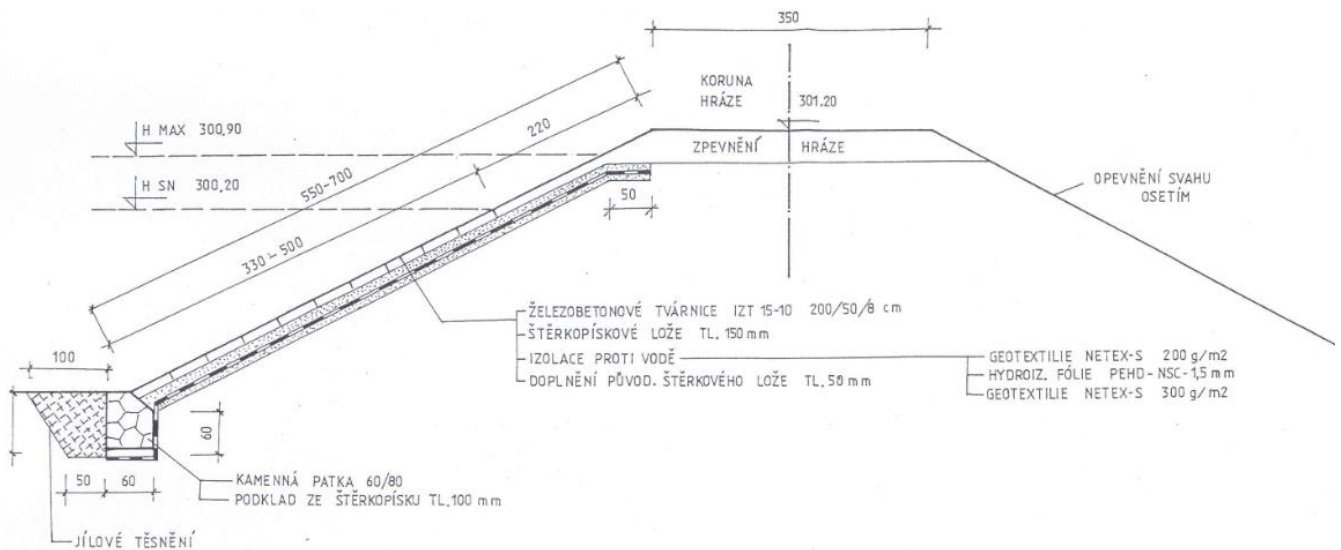
Šířka hráze v koruně	3,5 m
Délka hráze	15 m
Výškové umístění koruny hráze	301,20 m n. m.
Výškové umístění max. hladiny	300,90 m n. m.
Sklon návodního líce	1:3
Sklon vzdušného láce	1:2 - 1:2.5
Celkový objem nádrže	7 350 m ³
Maximální hloubka	2,0 m
Objem stálého nadržení	4 792 m ³
Neovladatelný retenční prostor	2 558 m ³
Sklon výpusti	2%
Světlost výpusti	DN 300

Tab.7.5 – Průtokové charakteristiky

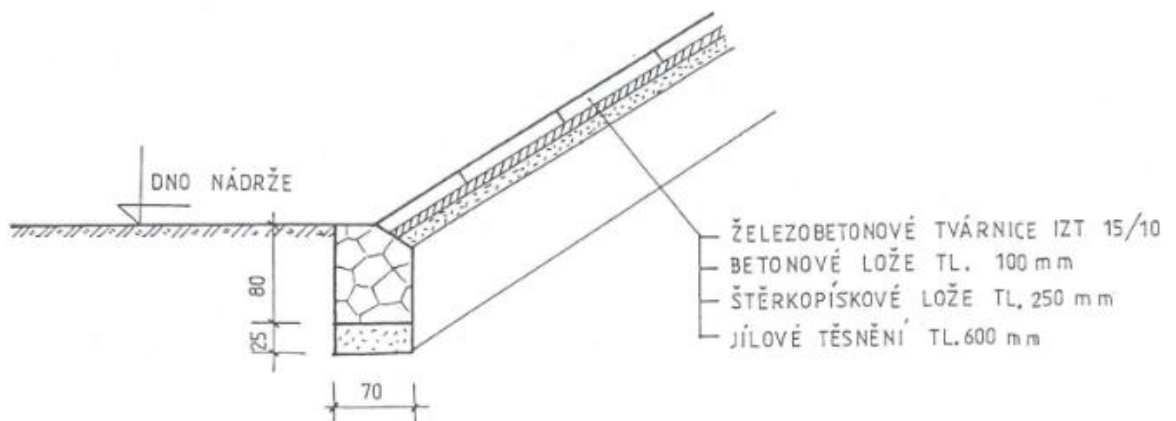
Průměrný roční průtok Q_a	0,005 m ³ /s
Odtok návrhového množství Q_{100}	6,5 m ³ /s
Kapacita spodní výpusti Q_v	0,126 m ³ /s

Zdroje vody pro dotování nádrže jsou ze stávajícího toku a z atmosférických srážek. Větší průtoky se převádějí přes vybudovaný bezpečnostní přeliv. Vypouštění se provádí výpustným zařízením v požeráku [A].

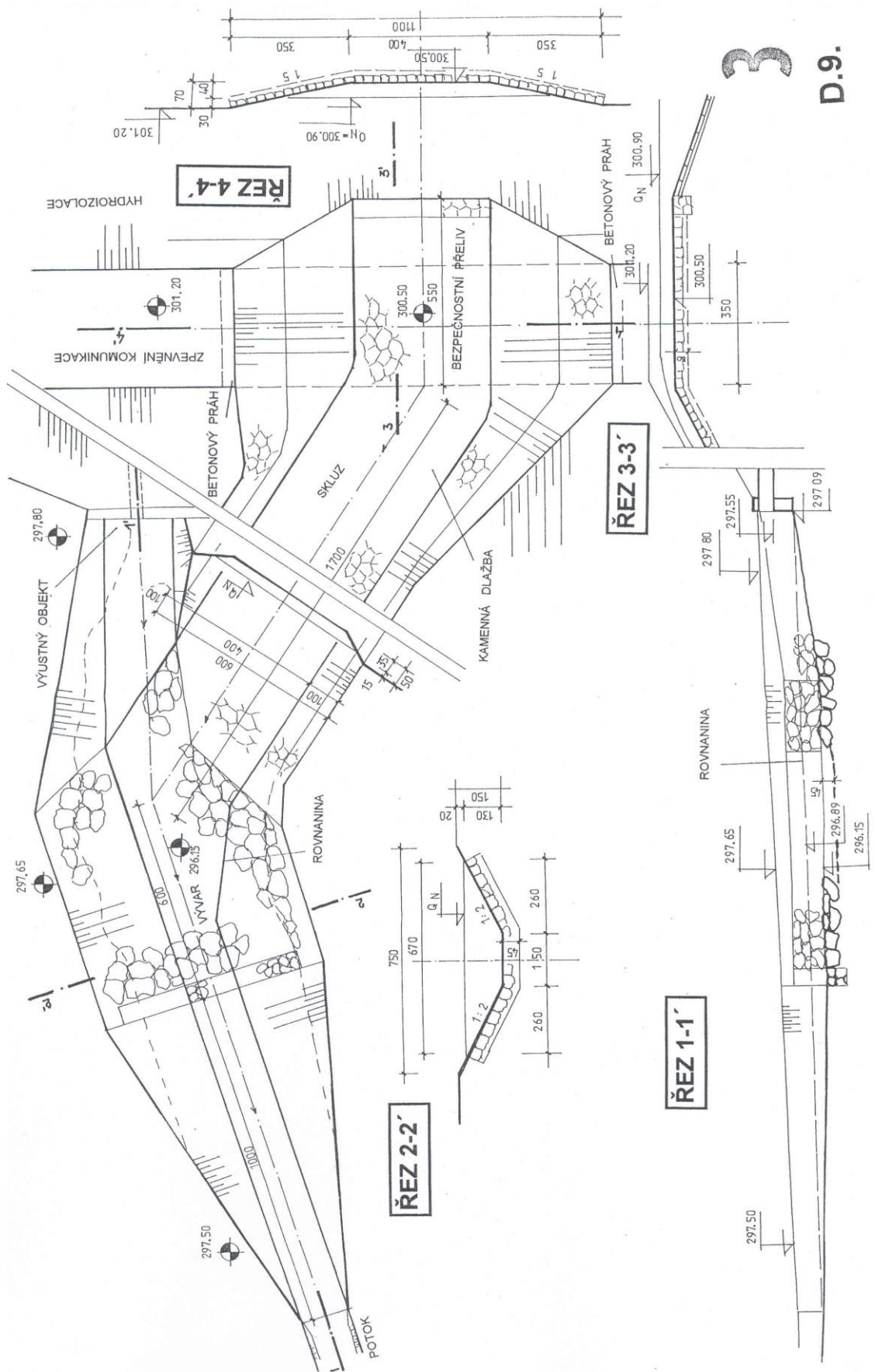
Tok pod hrází není dimenzován na maximální průtok a pro převedení velkých vod se předpokládá rozliv na louku pod hrází [A].



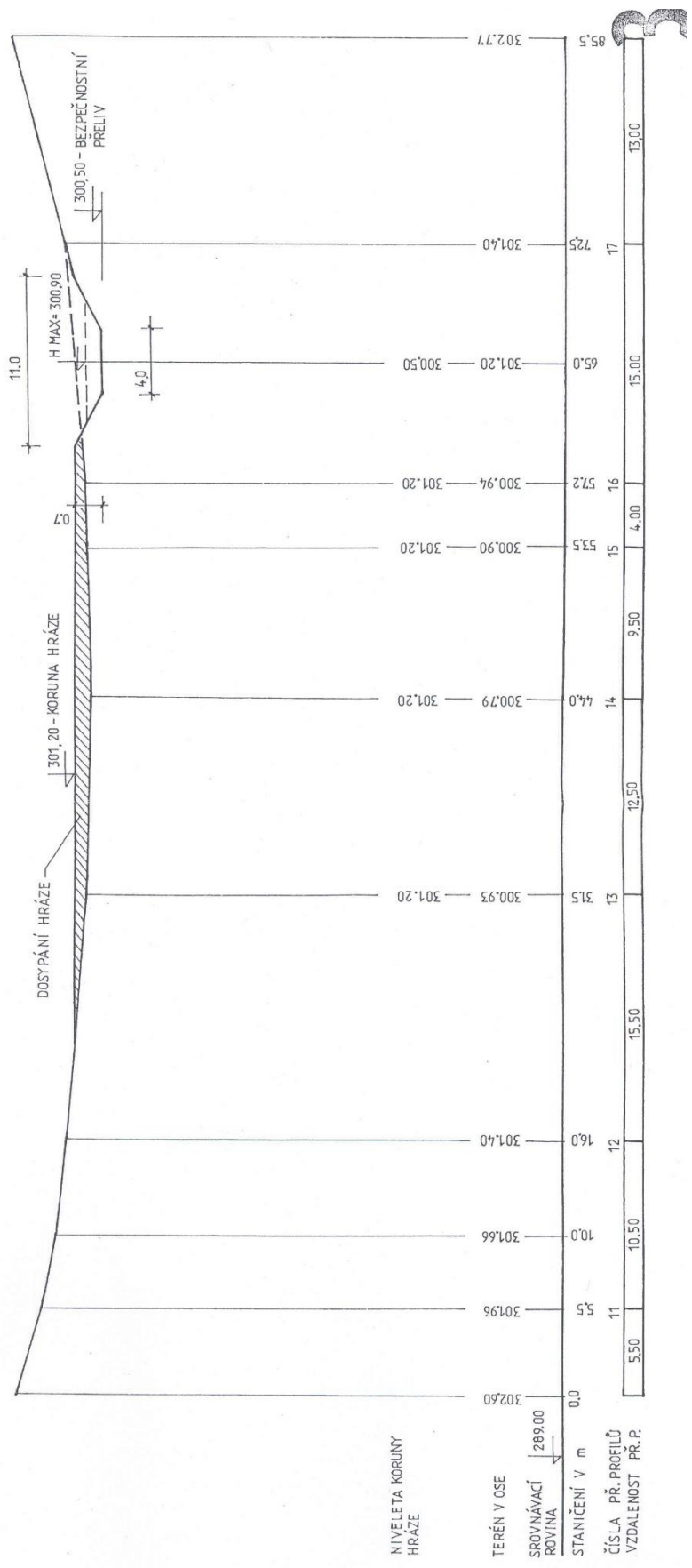
Obr.7.11 – Vzorový příčný řez hrází [A]



Obr.7.12 – Detail původního opevnění návodního líce [A]



Obr.7.13 - Půdorys hráze s bezpečnostním přelivem [A]



Obr.7.14 – Podélný profil hráze [A]

8 MONITOROVÁNÍ HRÁZE BEZEDNÍK III

Monitorování zemní hráze MVN Bezedník III se uskutečnilo na žádost správce objektu, Lesy České republiky, s. p., lesní správa Bučovice z důvodu pozorovaných výronů vody v patě vzdušného líce tělesa zemní hráze a obavám ze vzniku privilegovaných cest. Obavy byly podloženy skutečností, že hladina vody v nádrži často kolísala a v podhrází se objevilo silné podmáčení, velký rozvoj mokřadů s odpovídající vegetací.

Z uvedených důvodů bylo žádosti vyhověno a v červnu roku 2006 se začalo s monitorováním. Byla osazena přibližně polovina délky zemní hráze na návodním líci tyčovými sondami tak, aby v červenci 2006 mohlo být zahájeno měření metodou EIS. Při monitorování byly sledovány hlavně změny reálné složky elektrické impedance, protože změna těchto hodnot souvisí se změnou obsahu vody v zemině. Je-li hodnota konduktance v měřeném profilu vysoká, znamená to, že zemina je dobrým elektrickým vodičem. Příčinou uvedeného jevu mohou být fyzikálně chemické vlastnosti zeminy (druh, obsah solí apod.) nebo právě vyšší obsah vody.

Kalibraci měřicích sond na obsah vody v zemině případně vlhkost či stupeň saturace zeminy vodou nebylo možné provést, neboť využití přímé měřicí metody (odběr vzorku zeminy z tělesa hráze) by bylo ekonomicky náročné a znamenalo by to provést zásah do sledovaného prostředí. Proto bylo, na základě pozorování vzdušného líce, monitorování metodou EIS zaměřeno na detekování změn souvisejících se změnami obsahu vody v zemině a elektrody i tyčové sondy byly osazeny v odpovídajících úrovních. Monitorování vycházelo z předpokladu podpořené technickou dokumentací konstrukce tělesa zemní hráze, že se jedná o hráz homogenní, tedy, že na její vybudování byla použita jedna zemina z lokality v místě objektu. Dále bylo dohodnuto, že bude využita metoda relativního hodnocení změn, tj. budou v jednotlivých měřeních hodnoceny změny vůči prvotnímu měření. Uvedeným přístupem bylo možné provést posouzení chování tělesa zemní hráze bez nutnosti kalibrace měřidla. Relativní hodnocení změn se ukázalo vhodné i z jiného hlediska. Ačkoliv zemina použitá na výstavbu hráze byla z jedné lokality, nebyla odebírána z jednoho místa a měření prokázala, že z hlediska elektrických parametrů hráz homogenní nebyla.

8.1 UMÍSTĚNÍ A INSTALACE MĚŘICÍCH SOND

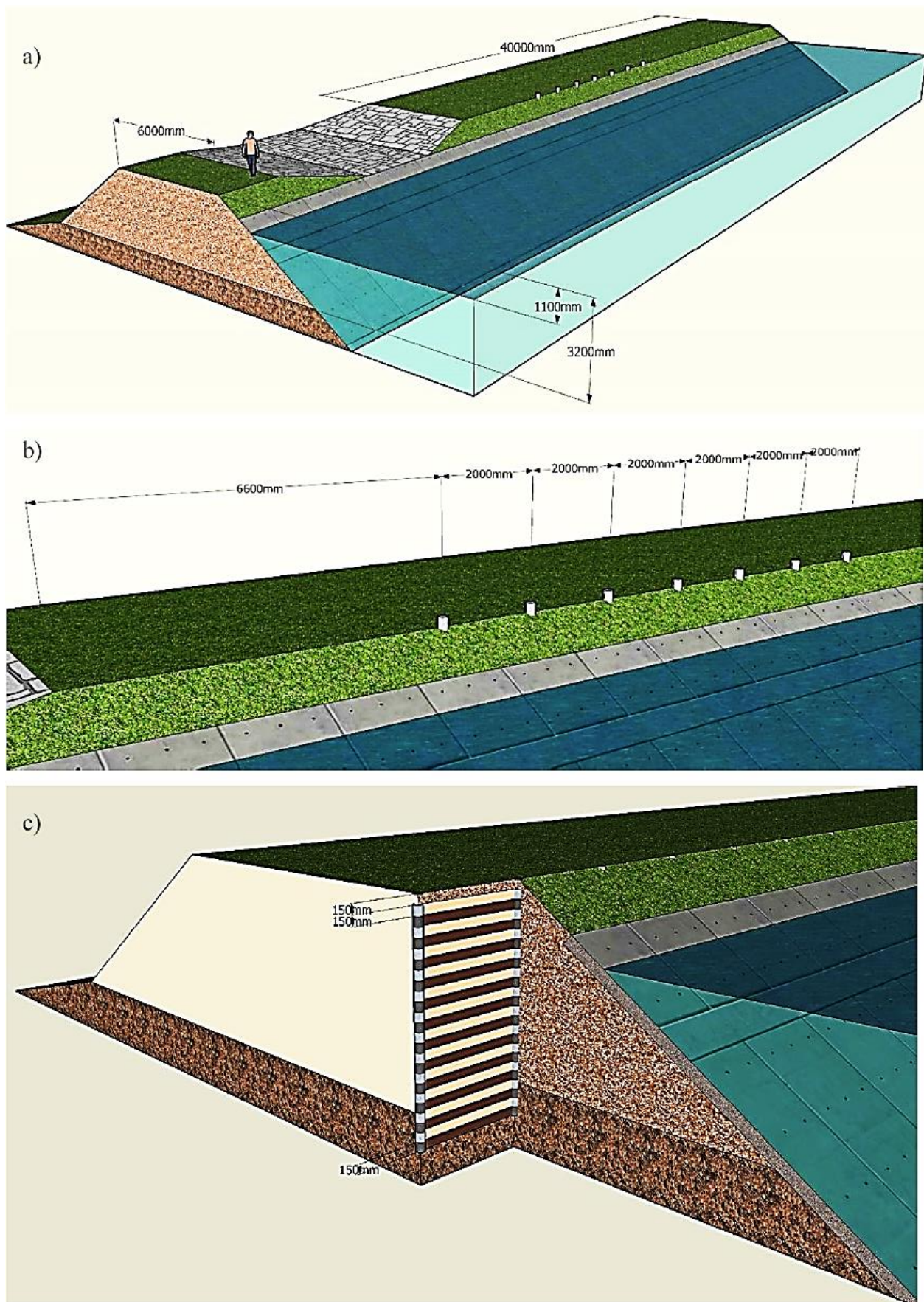
Soustava měřicích sond byla do tělesa hráze instalována ve dvou etapách. První etapa proběhla v červnu 2006, kdy se do koruny hráze na návodním líci hráze paralelně instalovalo 7 vertikálně dělených trubíc, každá se 12 elektrodami (Obr.8.2). Trubice byly označeny čísly 0 až 6, jsou od sebe vzdáleny v rozestupu 2,0 m a každá je dlouhá 3,53 m. Druhá etapa proběhla v červnu roku 2009 a instalovaly se nové 3 trubice na vzdušném líci hráze, s číselným označením (3a, 4a a 6a) a s rozestupem 2,0 m (Obr.8.1). Záměrem bylo osadit na vzdušném líci z koruny hráze trubice identicky jako na návodním líci. Vzhledem k vegetaci (stromy, keře) rostoucí na vzdušném líci hráze a manuálnímu způsobu instalace tyčí s elektrodami do zeminy hráze se uvedený záměr nepodařilo v plném rozsahu realizovat.



Obr.8.1 – Umístění měřicích sond, červen 2009 (Pařílková, 2013)

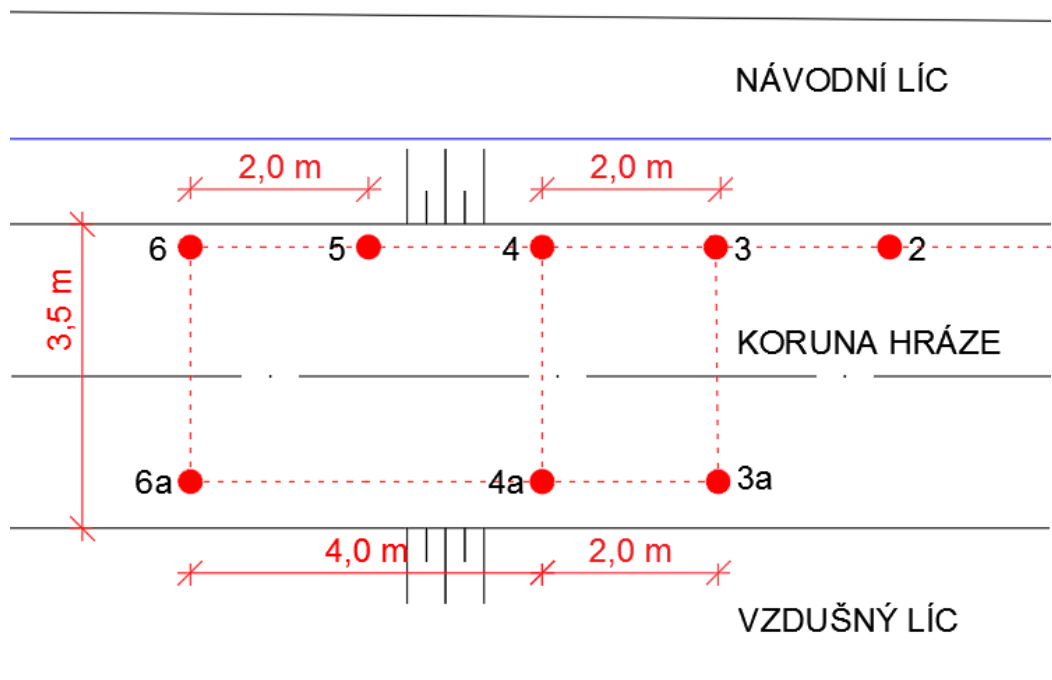
Situování sond 3a, 4a a 6a na vzdušném líci se volilo tak, aby bylo možné měřit i příčné profily hrází. Dalším důvodem volby pouze třech sond byla velká míra výskytu náletových dřevin (Obr.7.6) a jejich kořenový systém byl problém při manuální instalaci sond.

Trubice s elektrodami jednotlivých sond byly konstruovány identicky a umístěny tak, aby podle možností bylo možno měřit i příčné profily. Dvě elektrody umístěné paralelně proti sobě na dvou trubících tvoří vždy jeden snímač sondy. Sondy jsou dělené, to znamená, že se střídá pravidelně snímač a izolační distanční prvek.



Obr.8.2 – a) schéma zemní hráze, b) situace měřících sond na návodním líci, c) detail umístění snímačů (Pařílková, 2006)

Měřicí sondy jsou umístěné 0,15 m pod úrovní koruny hráze (Obr.8.2) z důvodů minimalizace rizika poškození např. lesní zvěří. Sondy mají 12 snímačů z nerezavějící oceli o vnitřním průměru 0,025 m a 11 elektricky nevodivých polyamidových částí. Délka jedné elektrody snímače je 0,15 m a izolační část je stejně dlouhá. Celková délka sondy je 3,53 m. Hráz je vysoká 3,2 m a vzhledem k délce sond je monitorováno i prostředí podloží hráze.



Obr.8.3 – Půdorysné umístění měřicích sond

Z průběhu instalace prvních sond (0 až 6) bylo zřejmé, že se hráz skládá z různých struktur materiálu. Do hloubky 1,5 m bylo možné speciální vrtací soupravu, vyvinutou v LVV ÚVST, zatlačit do zeminy holou rukou. V hloubce přibližně 2,9 m se objevila hutnější, tvrdší zemina v tenké vrstvě a po jejím provrtání bylo možno elektrody opět dotlačit manuálně. Ve vrtech se hned začala objevovat voda a instalace sond na návodním líci proběhla bez větších problémů (Pařílková, 2006).

8.2 PRŮBĚH MONITOROVÁNÍ

V roce 2006 v červnu bylo zahájeno monitorování návodního líce Z-Metrem II v profilech 0_1, 1_2, 2_3, 3_4, 4_5 a 5_6. Proběhla pouze 4 měření, protože v polovině listopadu 2006 se uskutečnily opravy návodního líce a nádrž byla vypuštěna. Z tohoto důvodu bylo měření pozastaveno a obnoveno až v srpnu roku 2007. V následujících letech již k žádné dlouhodobější odstávce monitorování nedošlo. Od září 2009 se začalo s monitorováním i v příčných řezech (Obr.8.3).

Měření se provádělo pravidelně vždy 1× za měsíc, monitorovaly se změny elektrické vodivosti zeminy, úroveň hladiny vody v nádrži, teplota vzduchu a také čas proběhlého měření.

Na jaře 2008 došlo k poničení sody č.1 vandalem, kdy byly přestřiženy vodiče vedoucí ze sondy a ta byla tak do budoucna nepoužitelná. Při měření se ukázala skutečnost, že i přes překonání doporučeného rozchodu 2 m mezi sondami na dvojnásobek, nedošlo ke zkreslení měření a nadále se využíval pro měření profil 0_2.

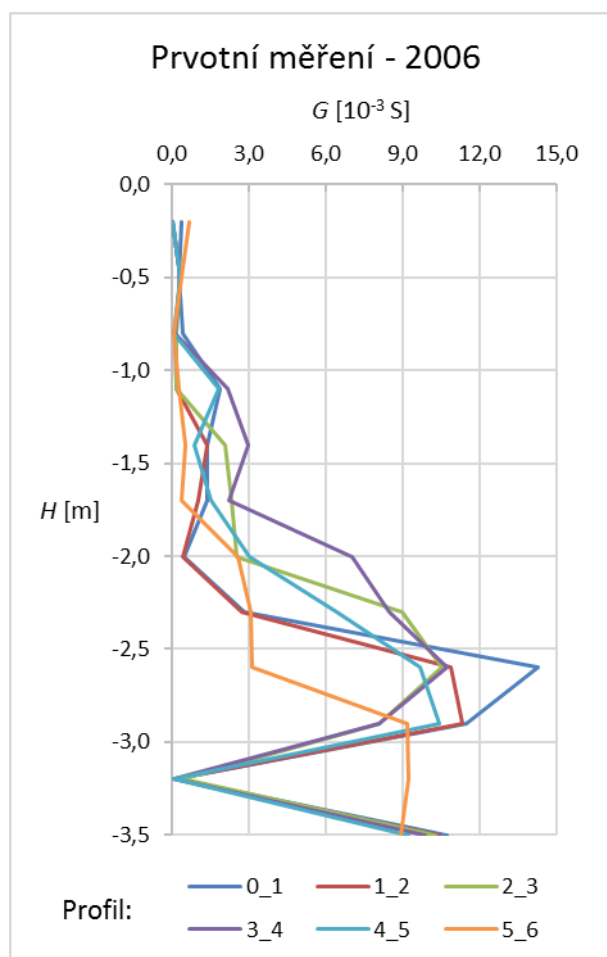
Projekt, kterým bylo pravidelné měření realizováno, byl ukončen v roce 2012. Z důvodu ověření životnosti a funkčnosti měřicího systému po 10-ti letech a jeho adaptability na nové přístroje třetí a čtvrté generace proběhlo jednorázové kontrolní měření v roce 2016. Další měření se uskutečnila v roce 2018 a 2019 a využil se Z-metr VI. Četnost těchto měření se snížila na 1× za rok.

9 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

V rámci své diplomové práce jsem se zaměřila na vyhodnocení měření na zemní hrázi MVN Bezedník III realizovaných v letech 2006 až 2012 a 2016, 2018 a 2019. Z důvodu možné korelace zjištěných výsledků, jsem v řadě vybrala měření v měsíci květen, neboť v tomto měsíci jsem sama jednorázové měření v roce 2019 realizovala. Srovnávala jsem hodnoty konduktance G zeminy hráze, což je převrácená hodnota elektrického odporu (Kap. 6, vzorec 6.3) měřené elektrické impedance.

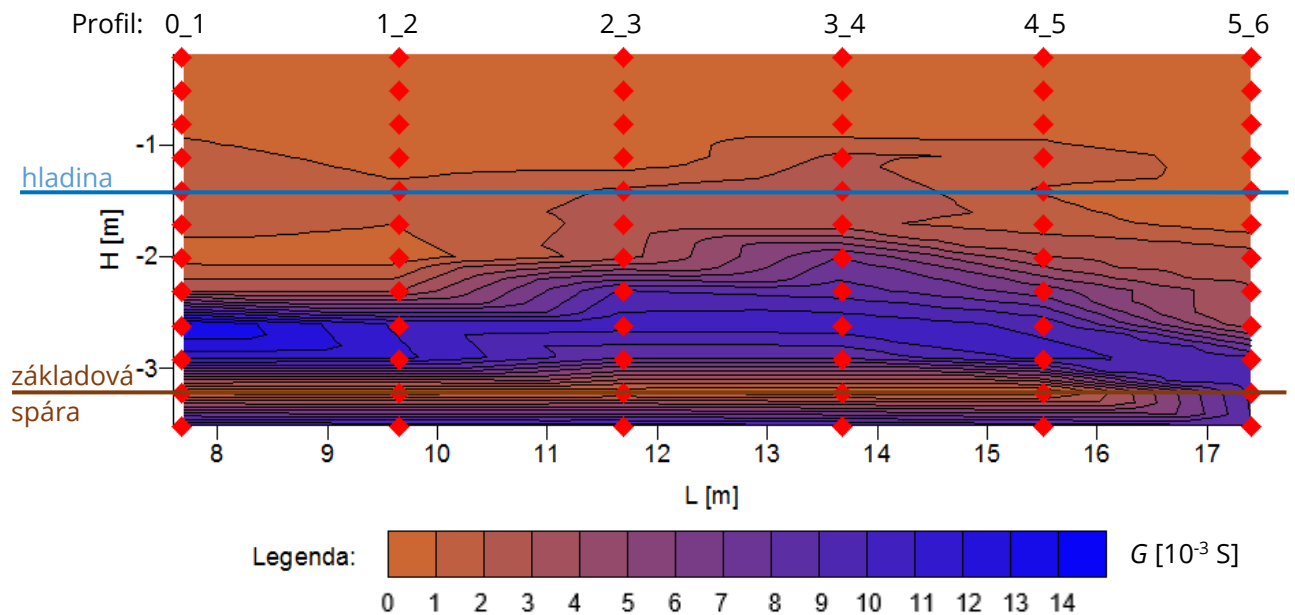
9.1 ROK 2006

Pravidelné měření na zájmové lokalitě bylo zahájeno dne 18.07.2006, hodnoty z tohoto dne měření se berou jako prvotní (nulté). V den měření bylo na zájmové lokalitě v dopoledních hodinách 18°C . Koruna hráze je na úrovni 301,20 m r. v. (relativní výškový systém místní souřadnicové soustavy), hladina vody v nádrži byla v den měření 299,60 m r. v. a podloží je v 298,20 m r. v..



Obr.9.1a – Prvotní měření konduktance na návodním líci hráze červenec 2006

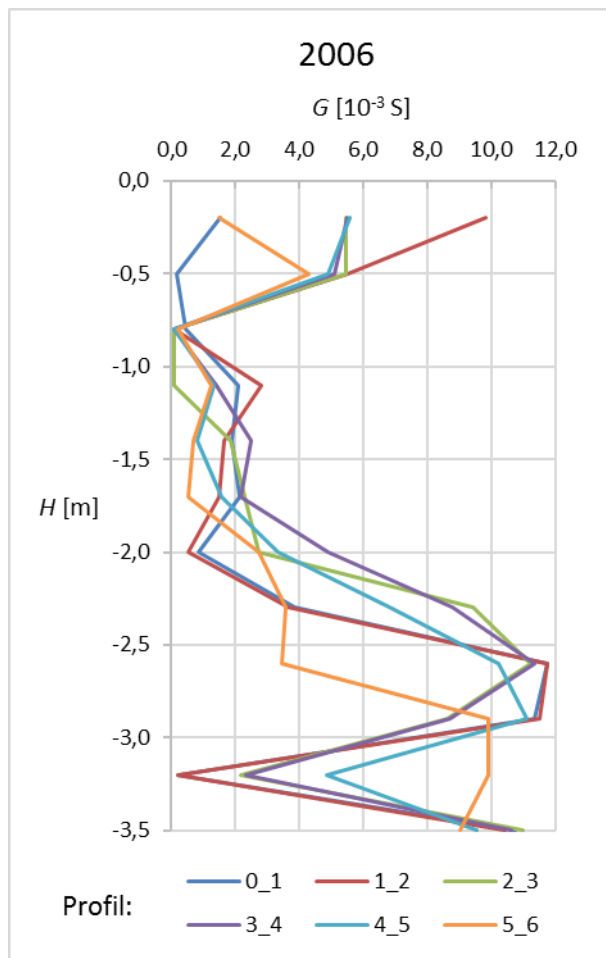
Z průběhů prvotního měření hodnot konduktance G je zřejmé, že největší pravděpodobný obsah vody v zemině hráze vedoucí k výronu vody na vzdušném líci hráze je v hloubce -2,6 m až -2,9 m. Další oblast s vyšším obsahem vody v zemině byla detekována v hloubce -3,5 m, tedy v podloží tělesa hráze. Odlišný charakter průběhu křivky $G = f(H)$ v hloubce -2,6 m monitorovaného profilu 5_6 zemní hráze pravděpodobně může být způsoben vlastnostmi zeminy použité na konstrukci hráze v této části. V hloubce -3,2 m se hodnoty G přiblížily téměř k nule, jedinou odchylku vykazuje opět profil 5_6, kde jsou hodnoty G o průměrně 98 % vyšší.



Obr.9.1b – Podélný profil prvotního měření konduktance červenec 2006 (program Surfer 8)

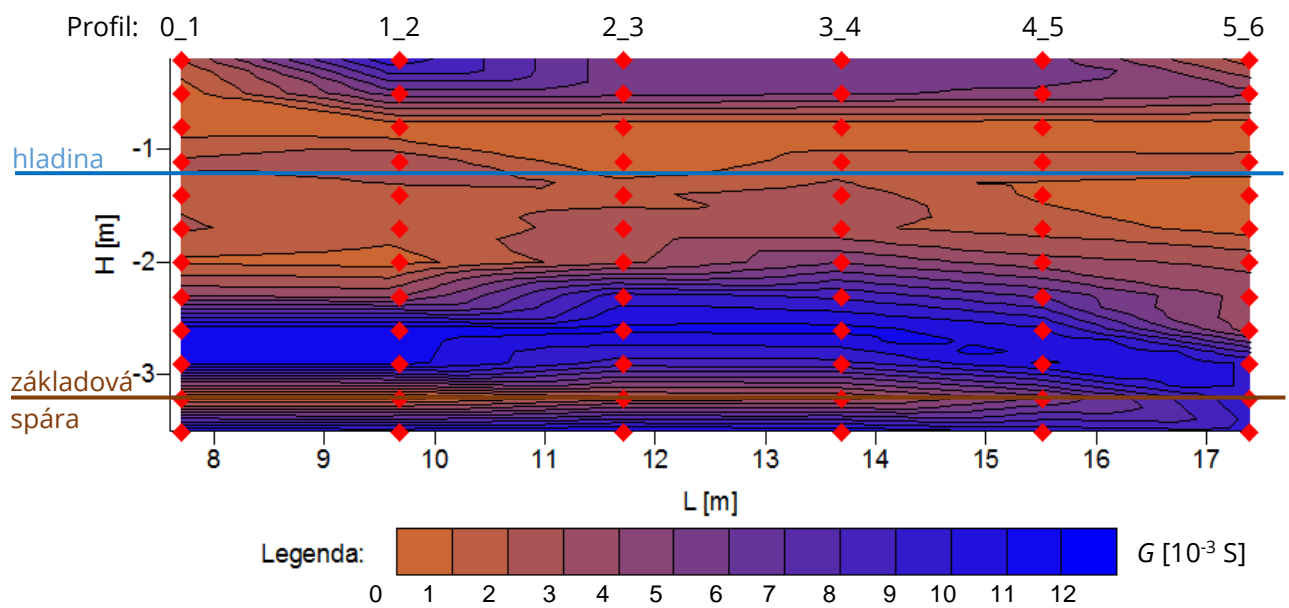
Obsah vody v zemině je také znázorněn v podélném řezu (Obr.9.1b), hodnoty vykreslené programem Surfer 8 korespondují s hodnotami na Obr.9.1a. Hodnoty vodorovné osy jsou vzdálenosti měřicích sond měřené od hrany bezpečnostního přelivu. Barevná škála je volena tak, že nízký obsah vody v zemině hráze je znázorněn hnědou barvou tj. nízké hodnoty konduktance a čím vyšší je obsah vody v zemině tj. čím vyšší jsou hodnoty konduktance, tím se zbarvení mění do modré. Z obrázku je patrné, že hodnoty konduktance jsou v hloubkách -2,6 m a -2,9 m vyšší. Hodnoty obsahu vody v zemině v hloubce -3,2 m, kde se nachází základová spára, jsou blízké nule, oproti tomu v profilu 5_6, který leží nejdále od bezpečnostního přelivu jsou hodnoty mnohonásobně vyšší.

V srpnu 2006 v den měření 19. srpna byla teplota vzduchu 21°C a hladina vody v nádrži byla na úrovni 299,70 m r. v..



Obr.9.2a – Měření konduktance na návodním líci hráze srpen 2006

Z průběhů měření konduktance je zřejmé, že v úrovni terénu se hodnoty oproti prvotnímu měření zvýšily, což je pravděpodobně zapříčiněné srážkovým úhrnem, po kterém voda v koruně hráze infiltrovala přibližně do hloubky -0,2 m. V hloubce -2,9 m a -3,5 m jsou opět hodnoty konduktance vyšší. V hloubce -2,6 m dosahují nejvyšších hodnot až 11,77 mS pro profily 0_1 a 1_2. Jedinou výraznou odchylku v této hloubce vykazuje poslední měřený profil 5_6 (nejblíže středu hráze), kde hodnoty v hloubce -2,6 m jsou o 67 % nižší než u ostatních profilů. Obdobný výkyv je také v hloubce -3,2 m, kde profil 5_6 je o průměrně 53 % vyšší než ostatní. Oproti tomu v hloubce -0,8 m pod terénem jsou hodnoty konduktance blízké nule ve všech měřených profilech, což může být způsobeno např. hutněním podloží a prvních vrstev budované zemní hráze nebo vyšší podílem jílové složky v podloží hráze apod.



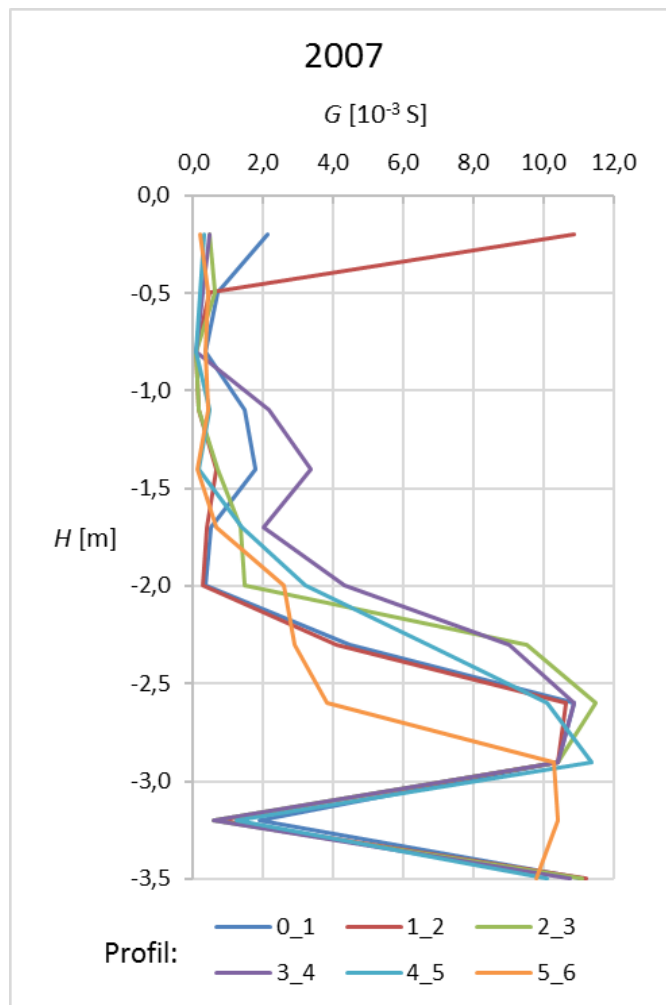
Obr.9.2b – Podélný profil měření konduktance srpen 2006 (program Surfer 8)

Z Obr.9.2b je znatelné, že v hloubce -3,2 m, kde se nachází založení zemní hráze je obsah vody v zemině nízký, až na profil 5_6. Oproti tomu v hloubce -3,5 m, tedy pod hrází je obsah vody znatelně vyšší a propojený se zmíněným problémovým profilem 5_6. V tomto profilu se pravděpodobně nachází odlišný druh zeminy s jinými vlastnostmi, minimálně z hlediska elektrické vodivosti.

V roce 2006 se uskutečnila ještě dvě měření, v říjnu a listopadu. Další měření se z důvodů oprav hráze a vypuštění nádrže neuskutečnila.

9.2 ROK 2007

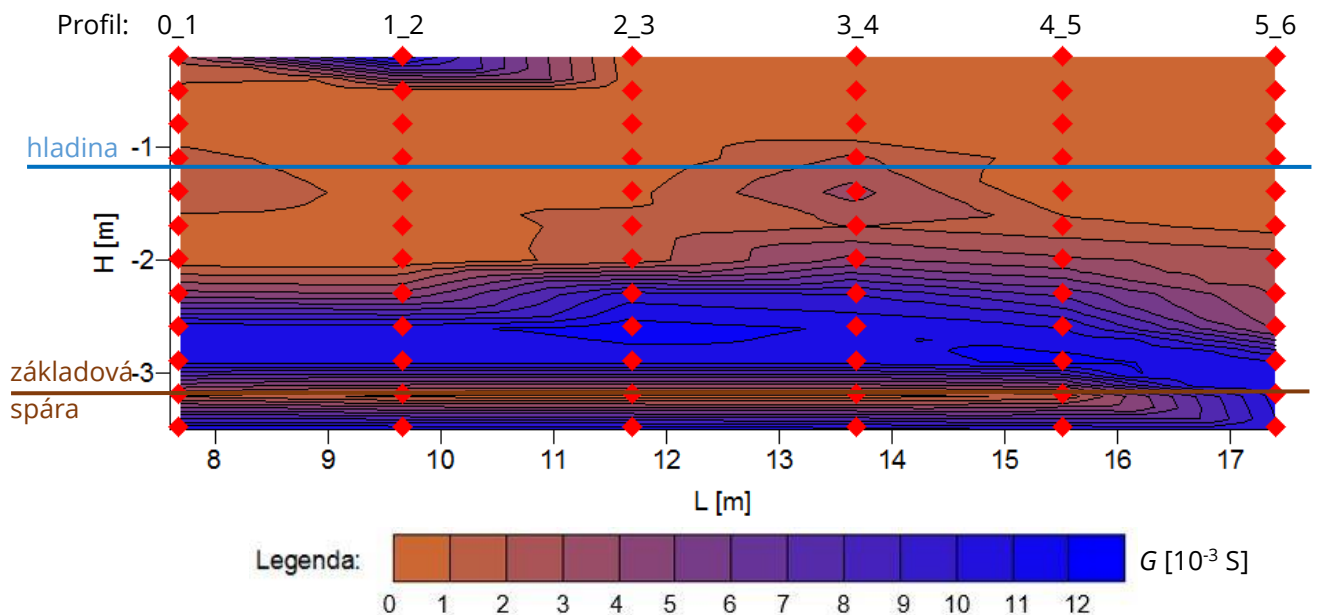
V roce 2007 bylo, po opravě hráze, obnoveno měření 18. srpna. V den měření byla teplota vzduchu na lokalitě 19°C a hladina vody na úrovni 299,75 m r. v..



Obr.9.3a – Měření konduktance na návodním líci hráze srpen 2007

Z výsledků měření (Obr.9.3a) je zřejmé, že i po roční přestávce v měření, problémové oblasti vyššího obsahu vody v zemině hráze zůstávají v hloubkách -2,6 m, -2,9 m a pod hrází v hloubce -3,5 m. Profil 5_6 v hloubce -2,6 m opět vykazuje odchylku o 65 % proti ostatním profilům a také v hloubce -3,2 m má odlišný charakter průběhu křivky $G = f(H)$, a to až o 87 %. Oproti tomu v hloubce -2,9 m jsou hodnoty konduktance ve všech měřených profilech velmi podobné a jen profil 4_5 se odlišuje přibližně o 9 %. Nízké hodnoty konduktance se nacházejí v hloubce -0,8 m a v hloubce -0,2 m, ve které profil 1_2 je o až 93 % vyšší. Toto je pravděpodobně zapříčiněné vegetací v daném místě, která drží vodu v půdě. Je možné konstatovat, že rekonstrukční postupy realizované z koruny hráze a zaměřené na úpravu návodního líce se zřetelem snížení vsakování vody do zemin hráze byly do úrovně

cca -2,0 m relativně úspěšné. Mírně vyšší hodnoty G i po opravě zůstávají v profilu 3_4 a 4_5, kvalitativně však charakter křivek zůstává i po opravě hráze stejný.



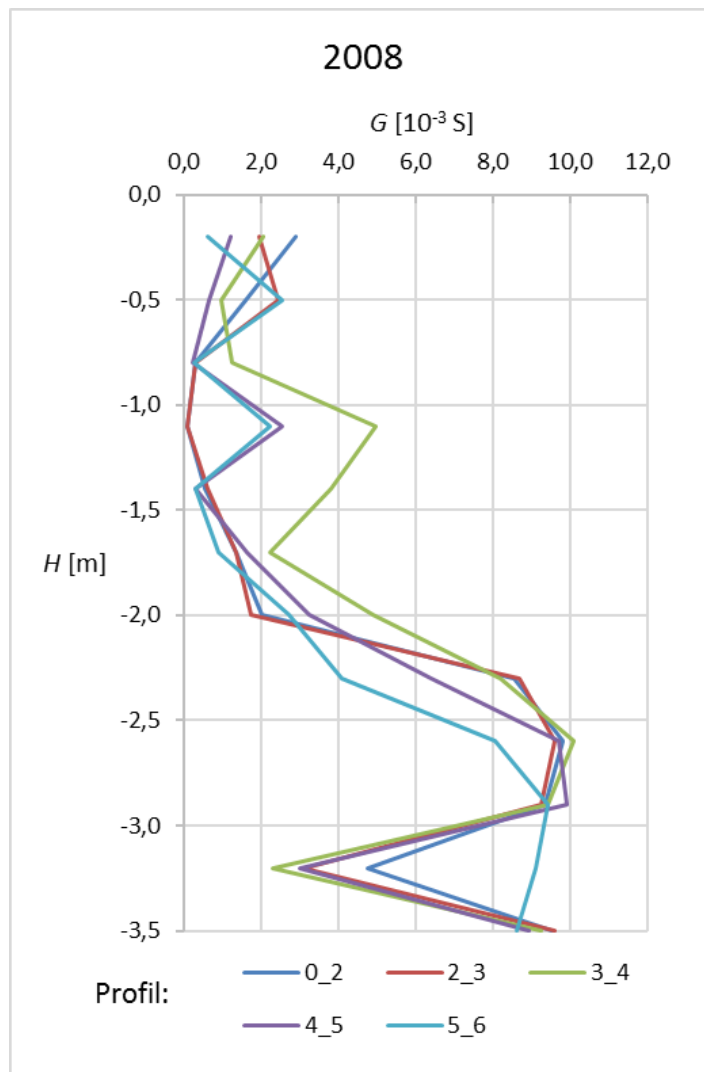
Obr.9.3b – Podélný profil měření konduktance srpen 2007 (program Surfer 8)

Na Obr.9.3b je zřetelný obsah vody v profilu 1_2 v hloubce -0,2 m pod terénem. V hloubkách -2,6 m a -2,9 m je obsah vody v zemině vyšší u všech měřených profilů a v profilu 5_6 je zřejmé, že v hloubce -3,2 m tj. úroveň základové spáry je obsah vody také vysoký a propojuje se s podložím.

9.3 ROK 2008

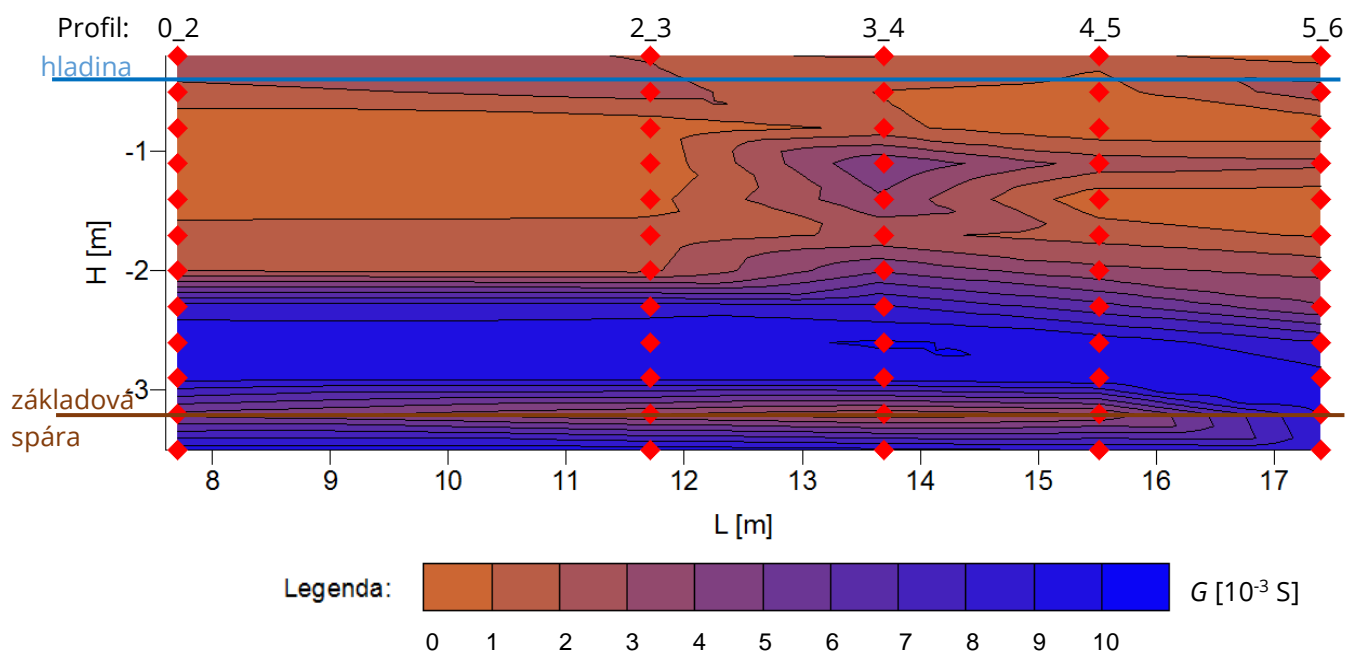
V roce 2008 probíhalo měření bez odstavek každý měsíc. Jak již bylo zmíněno v kap.8.2. na jaře tohoto roku došlo ke zničení jedné ze sond, proto je měřeno v profilech 0_2, 2_3, 3_4, 4_5 a 5_6. Pro vyhodnocení jsem zvolila měsíc květen z důvodu návaznosti měření v dalších letech.

Měření se uskutečnilo dne 17. května, v tento den byla teplota vzduchu na zájmové lokalitě 19°C a hladina vody v nádrži byla na úrovni 300,50 m r. v.. Uvedená úroveň hladiny vody v nádrži odpovídá úrovni koruny bezpečnostního přelivu.



Obr.9.4a – Měření konduktance na návodním líci hráze květen 2008

Z Obr.9.4a je měřený nárůst obsahu vody v zemině v nižších hloubkách než v předchozích letech, toto je zapříčiněné častými srážkami v měsíci květnu. Od hloubky -2,0 m se hodnoty obsahu vody v zemině opět zvyšují až do úrovně -2,9 m. V tomto období poslední měřený profil 5_6 nevykazuje tak výrazné změny průběhu křivky $G = f(H)$ oproti ostatním profilům. Výjimkou je opět hloubka -3,2 m, kde jsou hodnoty v tomto profilu o cca 37 % vyšší než u ostatních. V hloubce -2,9 m jsou hodnoty všech měřených profilů podobné s rozptylem do 5 %.

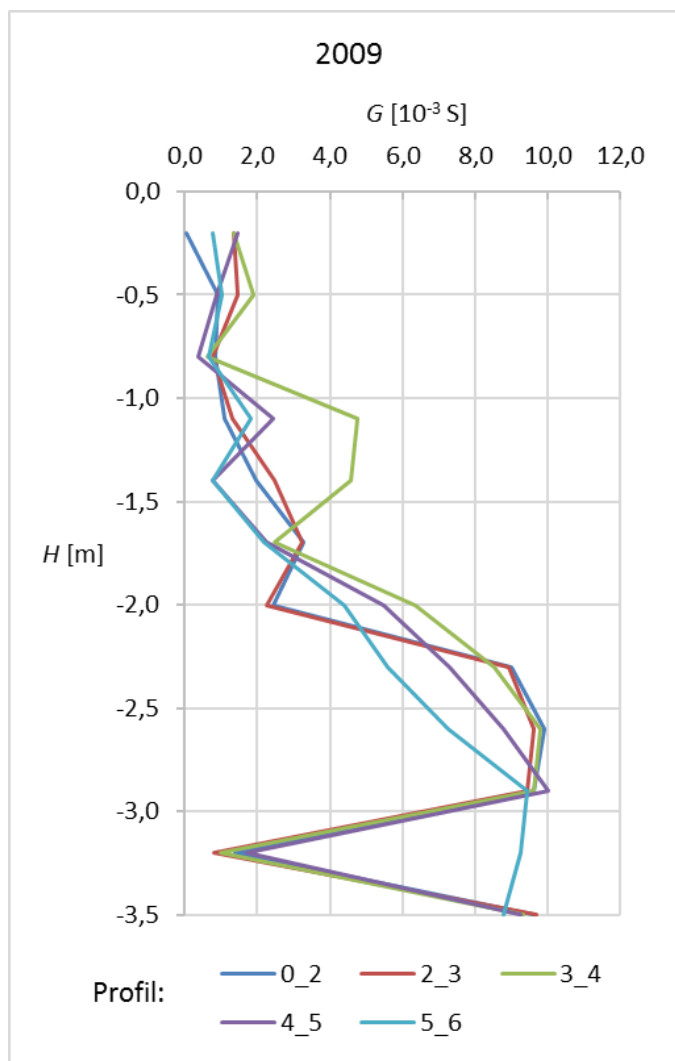


Obr.9.4b – Podélný profil měření konduktance květen 2008 (program Surfer 8)

Z podélného profilu je zřejmé, že v tělese hráze se objevil značný nárůst obsahu vody v zemině. Základová spára v profilu 5_6 obsahuje vysoké procento vody oproti zbylé sledované části. V profilu 3_4 se objevuje vyšší obsah vody i v hloubce -1,1 m a -1,4 m. Uvedené skutečnosti lze vysvětlit vysokým srážkovým úhrnem v daném měsíci, což se projevilo i vysokou úrovní hladiny vody v nádrži.

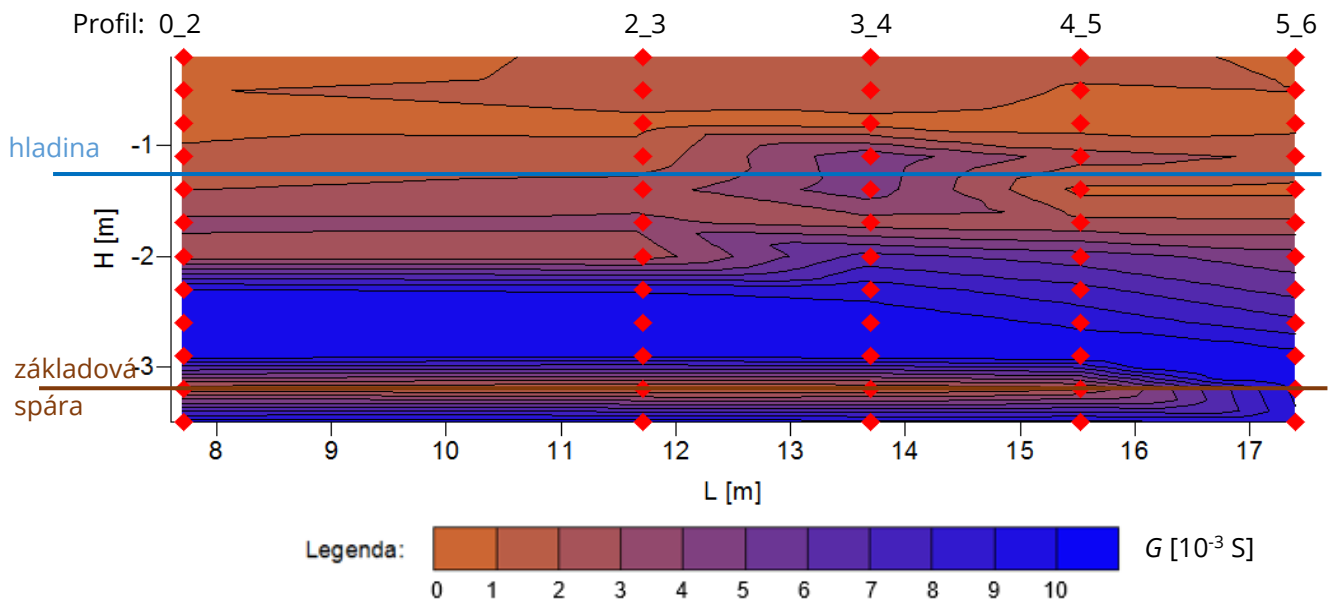
9.4 ROK 2009

V létě roku 2009 byly nainstalovány 3 nové měřicí sondy 3a, 4a a 6a na vzdušném líci hráze pro měření příčných řezů. Vybrané měření se uskutečnilo 20. května, ještě před instalací nových sond. Teplota vzduchu byla 24°C a hladina se nacházela na úrovni 299,60 m r. v..



Obr.9.5a – Měření konduktance na návodním líci hráze květen 2009

V květnu 2009 se na lokalitě objevilo několik dešťových srážek, z tohoto důvodu jsou v úrovních -0,2 m a -0,5 m zvýšené hodnoty konduktance od infiltrované vody do zeminy. V horní polovině měřeného podélného profilu vykazuje největší odchylky od průběhu křivek profil 3_4, který se v hloubce -1,1 m liší od ostatních profilů o průměrně 32 % a v hloubce -1,4 m o 33 % v obsahu vody. Profil, který v dřívějších letech nejvíce vykazoval změny ve spodní polovině měřeného profilu je stále 5_6. To ukazuje skutečnost, že se v úrovni podloží opravdu vyskytuje jiná struktura materiálu. V hloubce -2,6 m se odlišují od průběhu dva profily, 4_5 je o 12 % nižší a 5_6 je o 25 % nižší. V hloubce -2,9 m jsou hodnoty změřené konduktance prakticky totožné. V hloubce -3,2 m jsou největší rozdíly v porovnání průběhu křivek, kdy většina dosahují obdobných hodnot a profil 5_6 je o 87 % vyšší v obsahu vody v zemině.

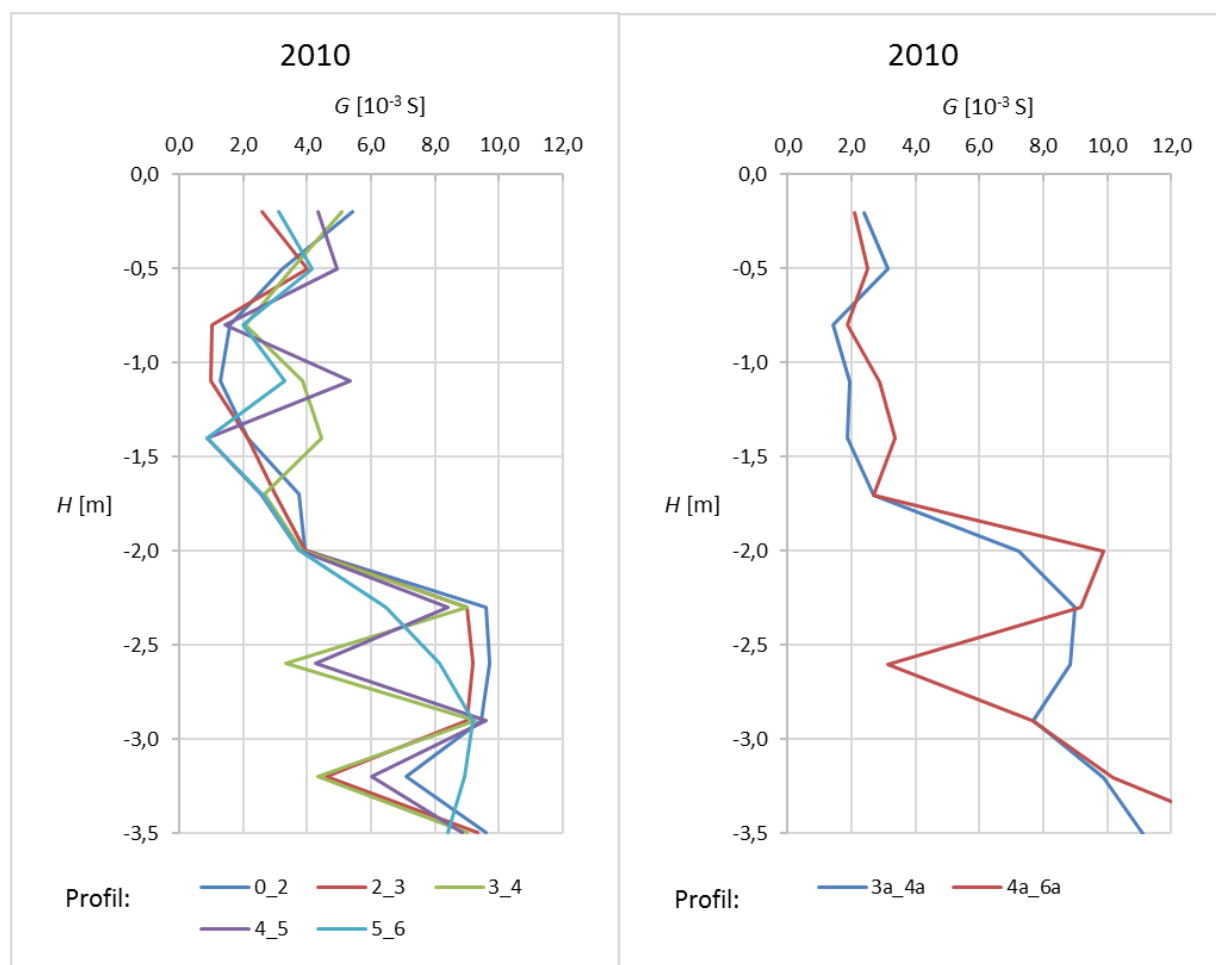


Obr.9.5b – Podélný profil měření konduktance květen 2009 (program Surfer 8)

Z Obr.9.5b je patrné, že profil 5_6 je stále propojen s podložím v hloubce -3,2 m tj. v základové spáře dosahuje vyšších hodnot konduktance. Plocha vznikající u profilu 3_4 v hloubce -1,1 m až -1,4 m se již objevila v roce 2008 (Obr.9.4b) a v roce 2007 (Obr.9.3b).

9.5 ROK 2010

V roce 2010 proběhlo měření 20. května. Teplota vzduchu byla 11°C a hladina vody v nádrži dosahovala úrovně 300,20 m r. v..



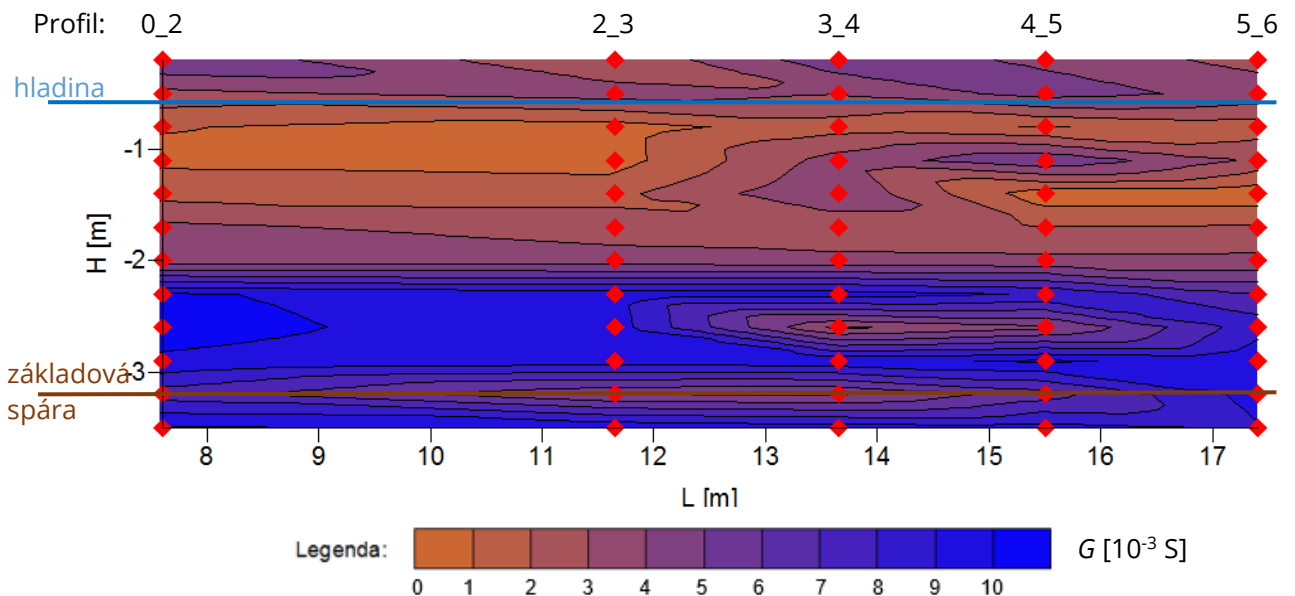
Obr.9.6a – Měření konduktance květen 2010, vlevo návodní líc a vpravo vzdušný líc

Srážkový úhrn v květnu 2010 byl dvojnásobně vyšší než v předchozích sledovaných letech. Z toho důvodu je infiltrace vody do hloubky -0,5 m značně vyšší ve všech měřených profilech na návodním líci.

V hloubce -2,0 m je obsah vody v celém monitorovaném profilu shodný bez větších odchylek. V hloubce -2,6 m se vyskytl poprvé stav, kdy profily 3_4 a 4_5 dosahují nižších hodnot než ostatní profily, a to o 45 % v případě profilu 3_4 a 41 % v profilu 4_5. Hloubka -2,9 m vykazuje podobné hodnoty obsahu vody ve všech měřených profilech s rozptylem hodnot 5 %. Profil 5_6 vykazuje stále vyšší hodnoty v hloubce -3,2 m, průměrně o 38 %. V podloží hodnoty G vykazují rozptyl 7 %.

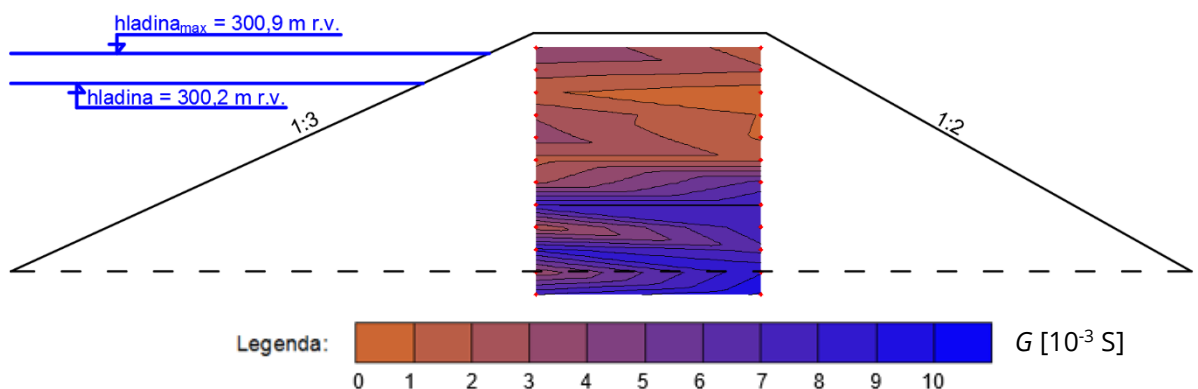
Na vzdušném líci zemní hráze jsou průběhy křivek $G = f(H)$ výraznější. V hloubkách do -0,8 m jsou hodnoty G nižší, než v návodním líci, v hloubce -2,0 m jsou naopak v průměru o 49 % vyšší. V hloubce -2,6 m je rozdíl v hodnotách mezi

profilem 3a_4a a 4a_6a 64 %. Oproti tomu v hloubce -2,9 m se naměřené hodnoty obsahu vody v zemině shodují v obou profilech. V podloží, tj. v hloubce -3,5 m dosahuje profil 4a_6a výrazně vyšších hodnot v porovnání se všemi ostatními profilem jak na vzdušném tak na návodním líci.



Obr.9.6b – Podélný profil měření konduktance květen 2010 (program Surfer 8)

Z Obr.9.6b je zřejmý pokračující trend obsahu vody v zemině v hloubce -1,1 m až -1,4 m u profilu 3_4. V hloubce -2,6 m se snížil obsah vody v profilech 3_4 a 4_5. V hloubce -3,2 m tj. na rozhraní základové spáry se obsah vody v zemině zvýšil.



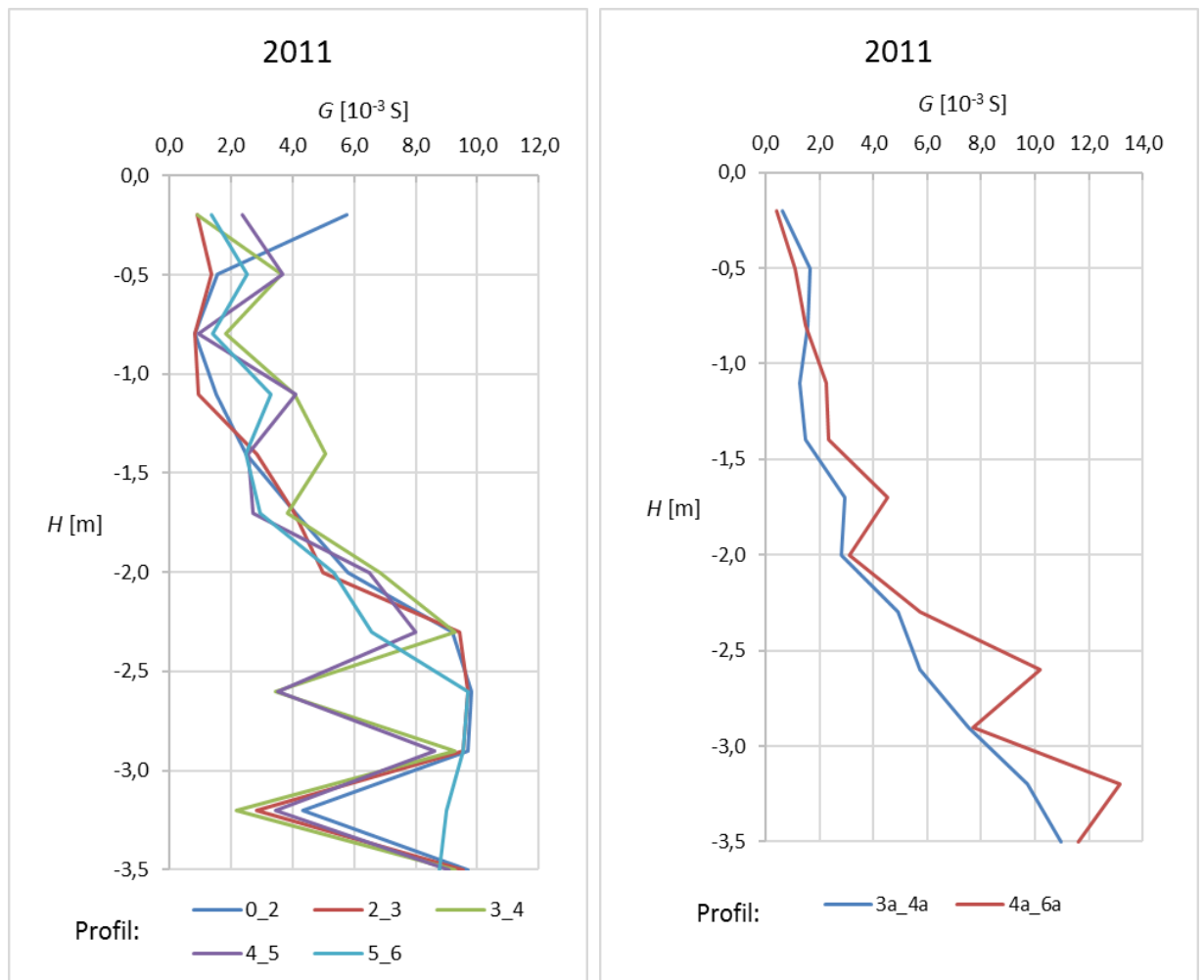
Obr.9.6c – Měření konduktance v příčném řezu hráze květen 2010 (program Surfer 8, AutoCAD 2019)

Na Obr.9.6c je znázorněn průběh konduktance v příčném řezu zemní hráze MVN Bezedník III v místě profilu sond 3_4 a 3a_4a, toto místo jsem využila i pro následující roky. Dále je zde vyznačena maximální možná hladina v nádrži tedy kóta bezpečnostního přelivu a aktuální výška hladiny v den měření, která je vyznačena i na Obr.9.6b. Z výsledného barevného uspořádání měřené konduktance (zůstává

stejně jako v případě měření na návodním líci hráze) lze konstatovat, že největší obsah vody v zemině se nachází ve 3 různých hloubkách v -2,3 m, -2,9 m a v podloží v -3,5 m a tyto vrstvy jsou na vzdušné straně propojené, přičemž nejsytější je modrá barva a tedy nejvyšší obsah vody v zemině se nachází v úrovni -3,5 m tj. v podloží hráze.

9.6 ROK 2011

V roce 2011 proběhlo měření 25. května. Teplota vzduchu byla 14°C a hladina vody v nádrži se nacházela na úrovni 300,00 m r. v..

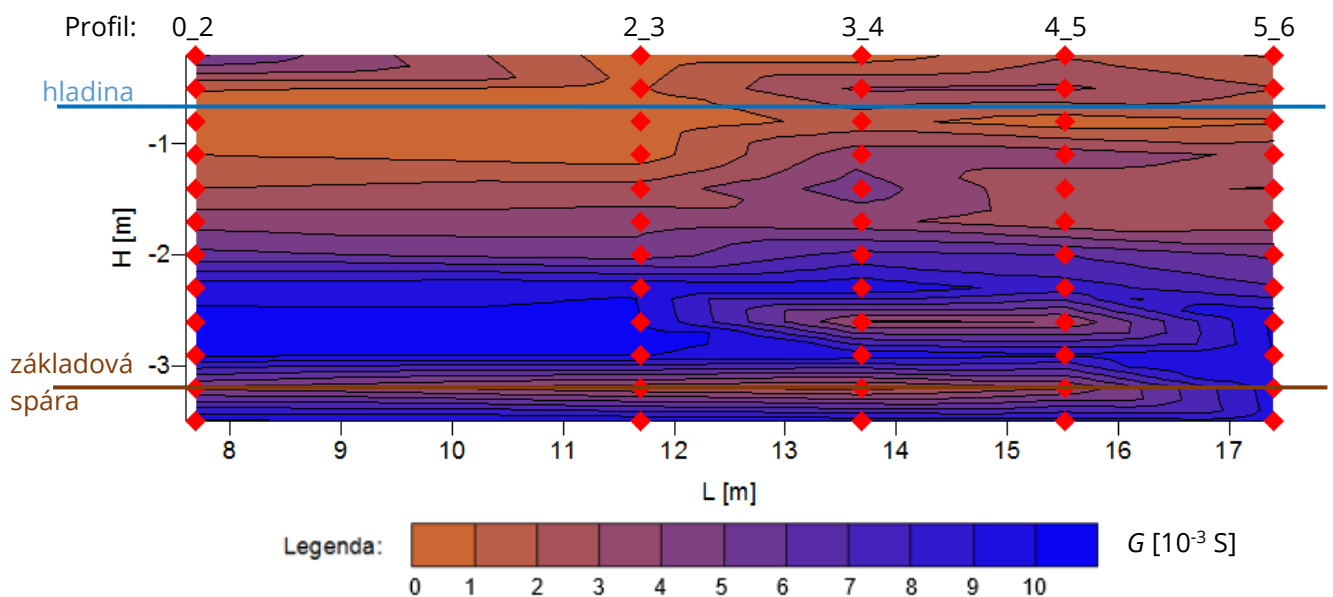


Obr.9.7a – Měření konduktance květen 2011, vlevo návodní líc a vpravo vzdušný líc

Z průběhů konduktance na návodním líci lze konstatovat, že obsah vody v zemině v nižších hloubkách je značně rozdílný. V hloubce -0,2 m je obsah vody v profilu 0_2 o 84 % vyšší ve srovnání s profily 2_3 a 3_4. V hloubce -0,8 m je obsah vody nejnižší ze všech měřených profilů. Výrazné navýšení nastává od hloubky -1,7 m do -2,3 m. V hloubce -2,6 m nastává značné odchylení dvou měřených profilů 3_4 a 4_5, které jsou oproti ostatním o cca 75 % nižší, ale v hloubce -2,9 m se tyto dva profily již

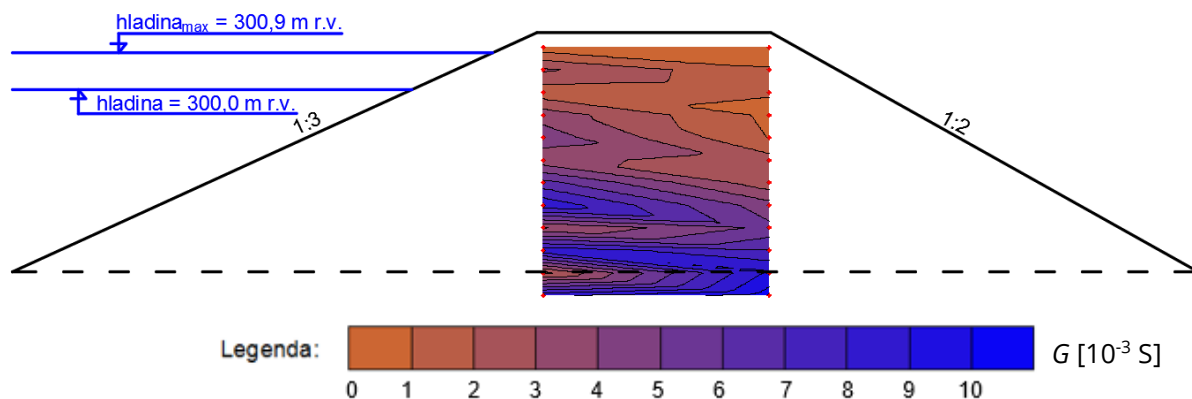
výrazněji neliší. V hloubce -3,2 m všechny měřené profily vykazují značné snížení obsahu vody v zemině až na profil 5_6, který i ve srovnání s předešlými měřeními roky byl vždy s vyšším obsahem vody. V tomto měření je profil 5_6 o průměrně 63 % vyšší.

Ve vzdušném líci jsou průběhy křivek $G = f(H)$ oproti roku 2010 plynulejší. Je zřejmé, že čím větší hloubka, tím je obsah vody v zemině vyšší. Průběhy křivek jsou v obou profilech kvalitativně obdobné. V hloubkách -2,0 m a -2,9 m je obsah vody v obou profilech téměř shodný. Oproti tomu v hloubce -2,6 m je obsah vody v zemině u profilu 4a_6a o 44 % vyšší než v 3a_4a a v hloubce -3,2 m o 28 % vyšší.



Obr.9.7b – Podélný profil měření konduktance květen 2011 (program Surfer 8)

Z Obr.9.7b je zřejmé, že v hloubce -3,2 m je nižší obsah vody v zemině ve všech profilech kromě 5_6. Nižší obsah vody se nachází v hloubce -2,6 m i u profilů 3_4 a 4_5.

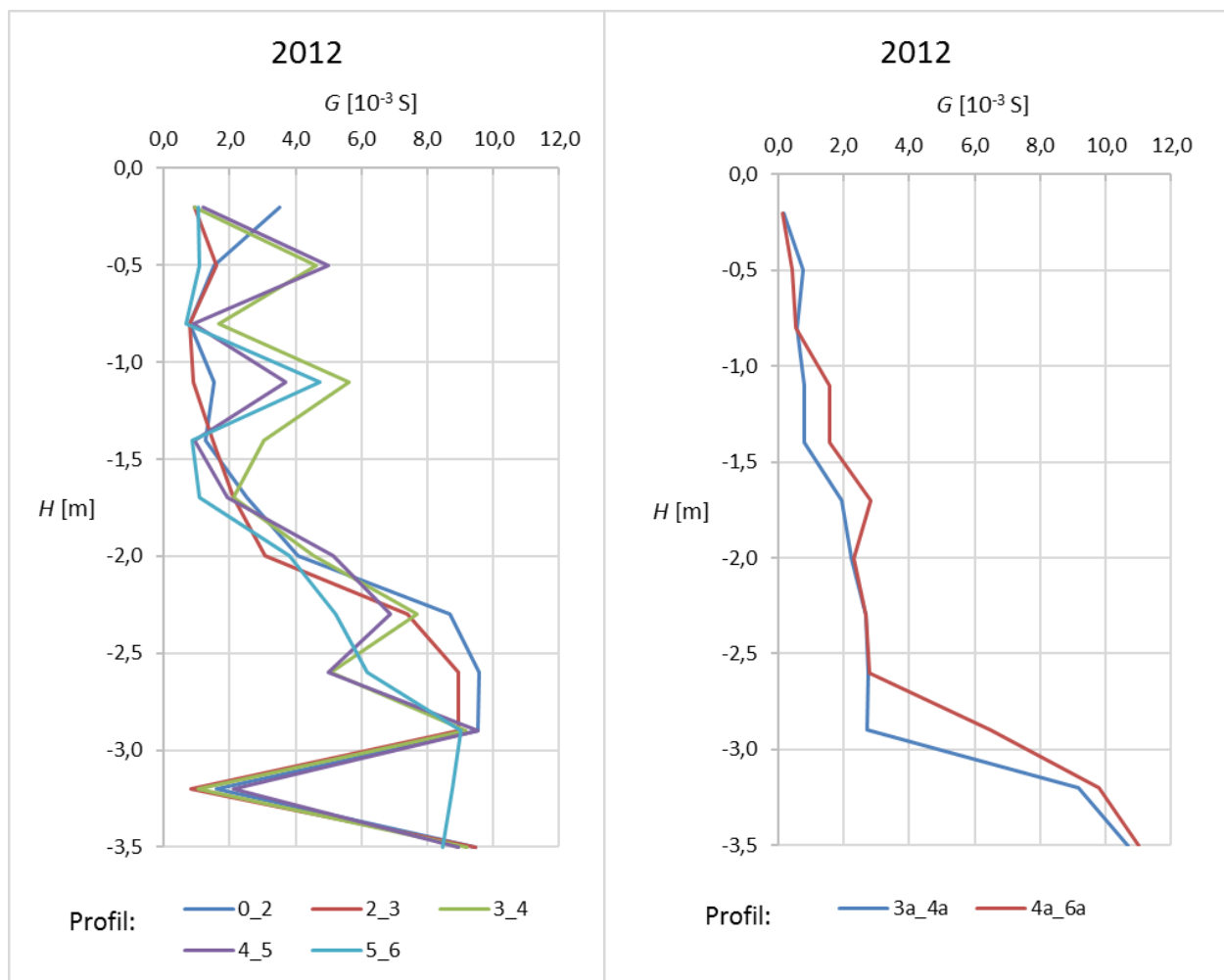


Obr.9.7c – Měření konduktance v příčném řezu hráze květen 2011 (program Surfer 8, AutoCAD 2019)

Na Obr.9.7c lze pozorovat postupné snižování obsahu vody v nižších hloubkách od návodního ke vzdušnému líci. Oproti tomu ve větších hloubkách jako je -2,9 m a také -3,5 m se obsah vody v zemině hráze zvýšil, což se projevilo propojením izolinií na vzdušné straně. Nejsytější vybarvení stále zůstává v úrovni -3,5 m.

9.7 ROK 2012

V roce 2012 proběhlo měření 25. května. Teplota vzduchu v den měření byla 17°C a hladina vody v nádrži byla na úrovni 299,70 m r. v..

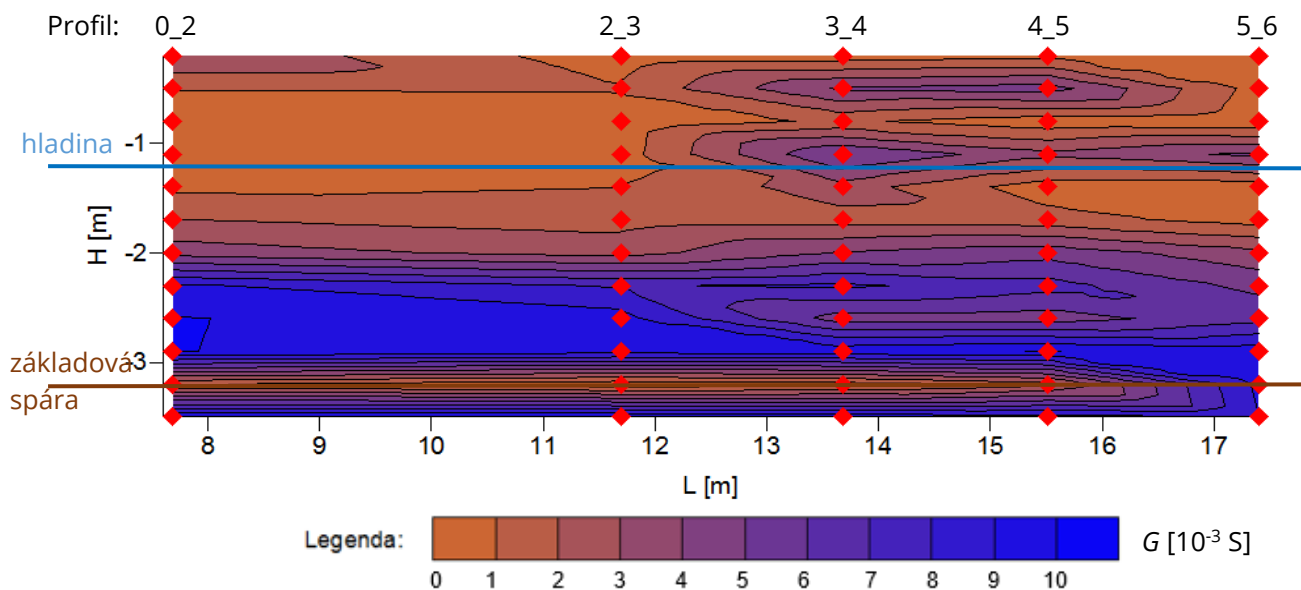


Obr.9.8a – Měření konduktance květen 2012, vlevo návodní líc a vpravo vzdušný líc

Průběhy křivek $G = f(H)$ jsou na návodním líci hráze značně rozdílné. V hloubce -0,5 m profily 3_4 a 4_5 jsou o cca 70 % vyšší než ostatní profily v této hloubce. Další značné rozdíly se nacházejí v hloubce -1,1 m, kde je například při srovnání profilu 2_3 a 3_4 až 84 % rozdíl v hodnotě obsahu vody v zemině. V hloubce -2,6 m jsou hodnoty pro profily 3_4 a 4_5 nižší o 48 % než u profilu 0_2. Přibližně shodné hodnoty jsou naměřené v hloubce -2,9 m, ale v následující hloubce -3,2 m je opět výrazná změna obsahu vody ve všech měřených profilech kromě problémového profilu 5_6, který je přibližně o 86 % vyšší. Hodnoty v hloubce -3,5 m jsou opět téměř shodné.

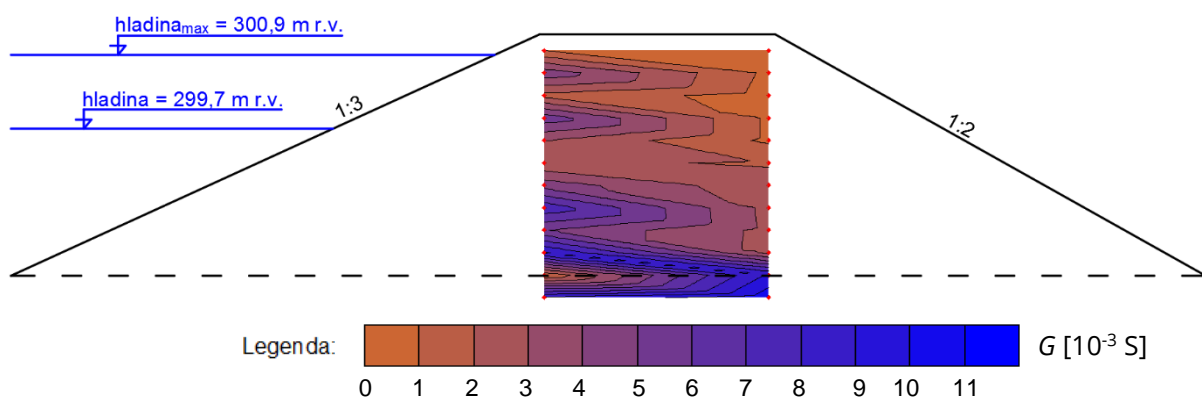
Na vzdušném líci hráze je průběh křivek $G = f(H)$ výrazně plynulejší při srovnání s rokem 2011 a 2010. V hloubce -0,2 m je obsah vody v zemině blízký nule a s přibývajícím hloubkou se zvyšuje. V hloubkách -2,0 m až -2,6 m jsou naměřené

hodnoty obsahu vody v zemině téměř totožné. Větší rozdíly se nacházejí v hloubce -2,9 m, kde je mezi profilem 3a_4a a 4a_6a rozdíl 58 %.



Obr.9.8b – Podélný profil měření konduktance květen 2012 (program Surfer 8)

Z Obr.9.8b je zřejmé, že obsah vody v základové spáře se ve srovnání s rokem 2011 snížil mimo profil 5_6, který je stále s vysokým obsahem vody v zemině.



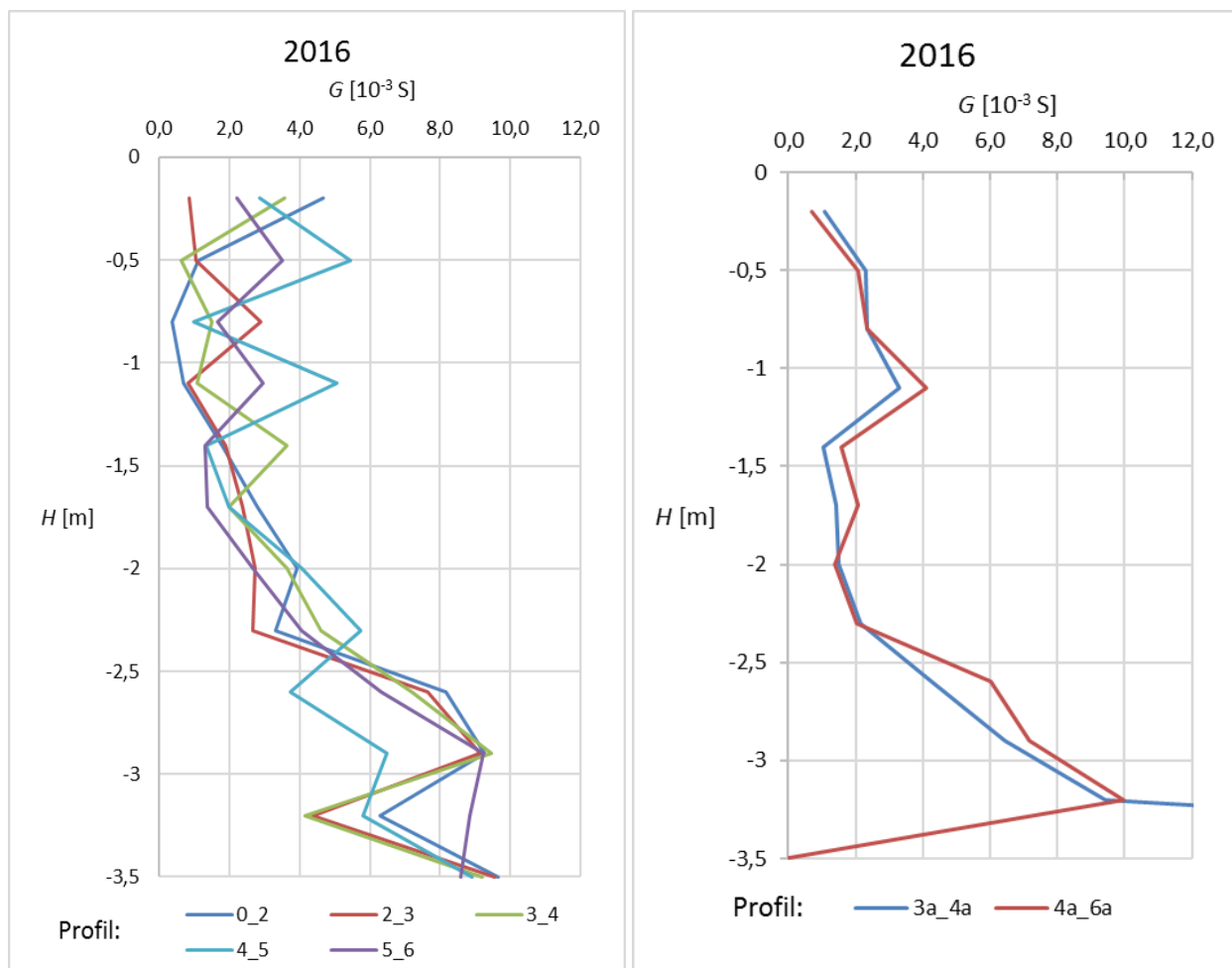
Obr.9.8c – Měření konduktance v příčném řezu hráze květen 2012 (program Surfer 8, AutoCAD 2019)

Z příčného řezu hráze je zřejmý ubývající obsah vody v nižších hloubkách ve směru od návodního ke vzdušnému líci hráze. V hloubkách -2,9 m až -3,5 m je obsah vody v zemině vyšší a na vzdušném líci se izoliny protínají z tohoto důvodu je pozorovatelné zamokření a zvýšený nárůst vegetace na vzdušném líci.

V roce 2012 v prosinci se uskutečnila poslední měření před 4 letou prolukou.

9.8 ROK 2016

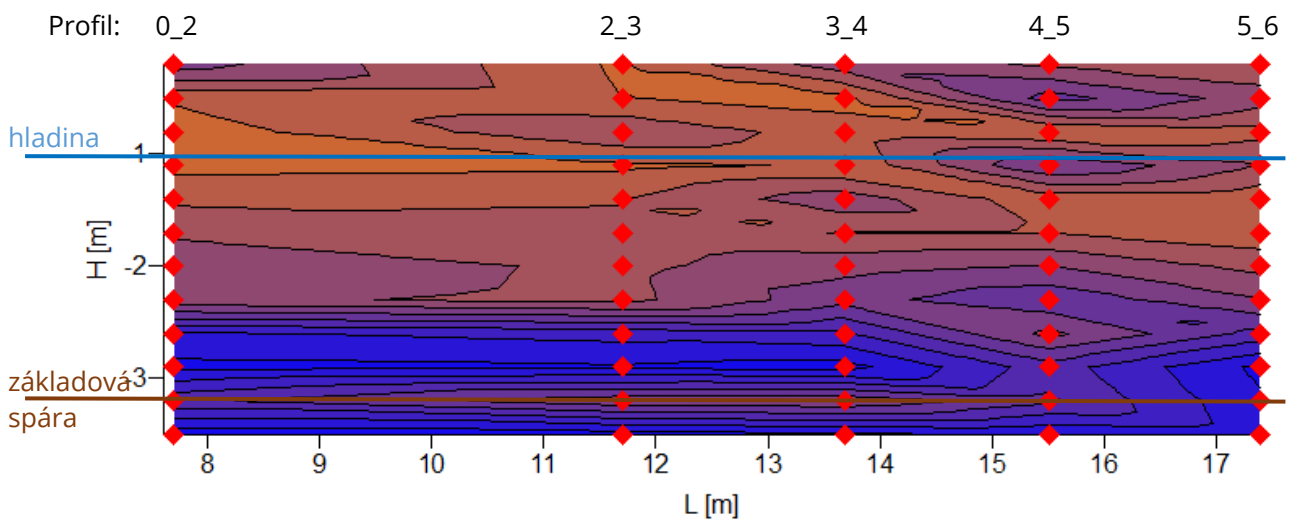
V roce 2016 se na lokalitě měřilo pouze 1×, a to 9.května. V den měření byla teplota vzduchu na lokalitě 8°C a hladina vody v nádrži byla na úrovni 299,8 m r.v.. K měření byl použit měřicí systém s přístrojem Z-metr III.



Obr.9.9a – Měření konduktance květen 2016, vlevo návodní líc a vpravo vzdušný líc

Z průběhu křivek $G = f(H)$ na návodním líci je patrný značný rozdíl hodnot obsahu vody v zemině v hloubce -0,2 m. Hodnoty G v profilu 2_3 ve srovnání s profilem 0_2 jsou o 80 % nižší. Oproti tomu v hloubce -0,5 m mají tyto dva profily stejné hodnoty G . Největší rozdíly v hodnotách G byly zaznamenány v profilech 3_4 a 4_5, které se liší o 88 %. V hloubce -2,6 m jsou hodnoty G v profilu 4_5 při srovnání s profilem 0_2 o 62 % nižší. Pro hloubku -2,9 m se hodnoty obsahu vody v zemině ve většině profilech shodují, výjimkou je opět profil 4_5, kde jsou hodnoty G při srovnání s ostatními profilem o cca 30 % nižší. Profil 4_5 celkově vykazuje nejvíce odchylek u většiny hloubek. Základová spára v hloubce -3,2 m značí snížení obsahu vody v zemině u všech profilů kromě 5_6, který je o průměrně 51 % vyšší při srovnání s profilem 2_3 a 3_4. Hodnoty G v hloubce -3,5 m jsou opět téměř shodné.

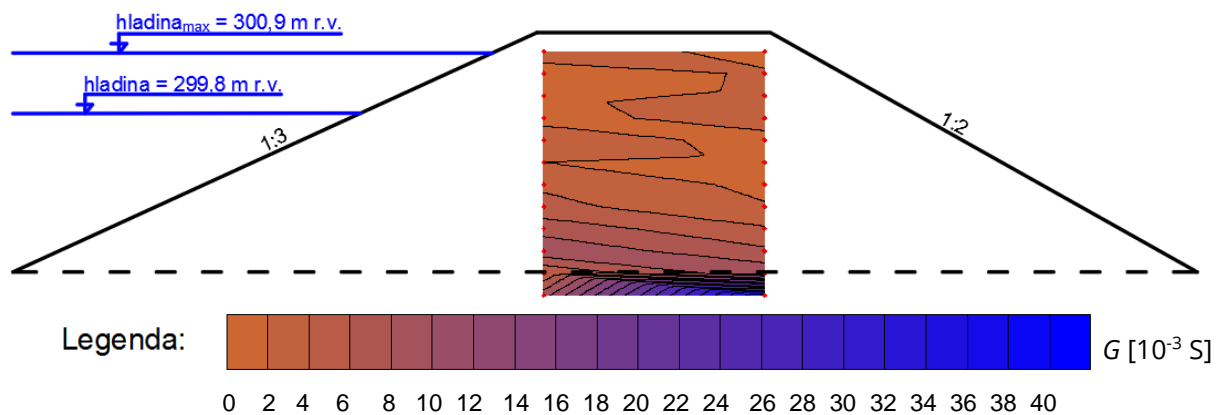
Na vzdušném líci hráze je průběh křivek $G = f(H)$ výrazně rozdílný při srovnání s rokem 2012. V hloubce -1,1 m je značný nárůst obsahu vody v zemině, který poté klesá s přibývajícím hloubkou. Od hloubky -2,3 m se obsah vody v zemině opět zvyšuje. Největší zlom se nachází v základové spáře, tj. hloubka -3,2 m, kdy hodnoty obsahu vody v zemině se téměř shodují v obou měřených profilech, ale v hloubce -3,5 m se výrazně liší. Profil 4a_6a v této hloubce vykazuje nulové hodnoty obsahu vody v zemině, oproti tomu profil 3a_4a má hodnotu 38,5 mS, to je nejvyšší hodnota naměřená od roku 2006. Toto značí, že měřicí sonda v daném místě „stojí“ ve vodě.



Legenda: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 $G [10^{-3} S]$

Obr.9.9b – Podélný profil měření konduktance květen 2016 (program Surfer 8)

Z Obr.9.9b je zřejmé, že základová spára je opět s vyšším obsahem vody oproti roku 2012. Dále lze konstatovat, že je stále problémový profil 5_6 v hloubce základové spáry.

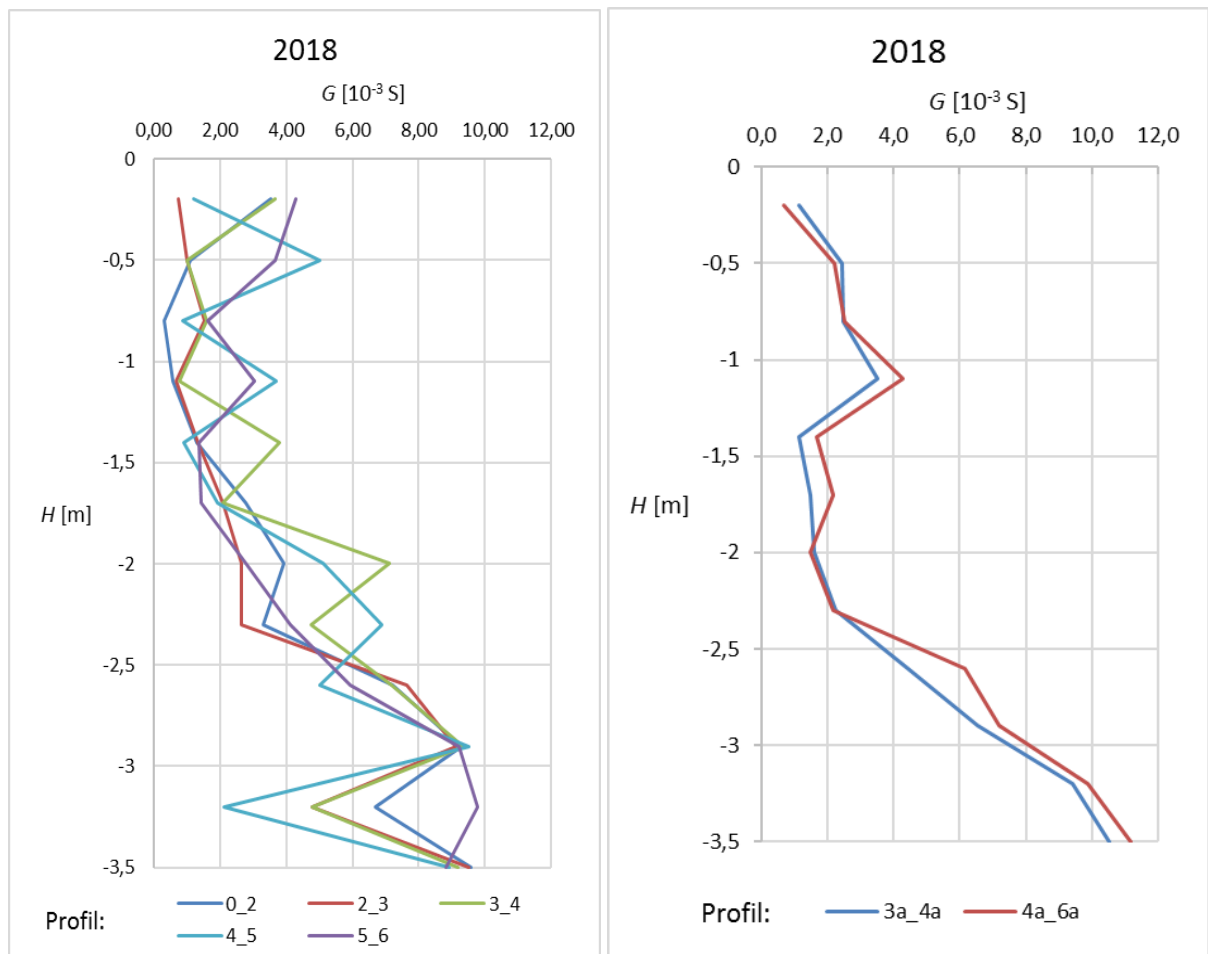


Obr.9.9c – Měření konduktance v příčném řezu hráze květen 2016 (program Surfer 8, AutoCAD 2019)

Pro vykreslení izoliní konduktance v příčném řezu hráze byly opět použity profily 3_4 a 3a_4a. Z Obr.9.9c je zřejmé, že již zmíněná hodnota G v hloubce -3,5 m v profilu 3a_4a, která je 3× vyšší než ostatní dosud měřené hodnoty G , značně zkresluje průběh izoliní v příčném řezu hráze.

9.9 ROK 2018

V roce 2018 se na lokalitě měřilo opět 1×, a to 12.května. V den měření byla teplota vzduchu na lokalitě 7°C a hladina vody v nádrži byla na úrovni 299,6 m r.v. K měření byl použit měřicí systém s přístrojem Z-metr III v konfrontaci s přístrojem Z-metr IV.

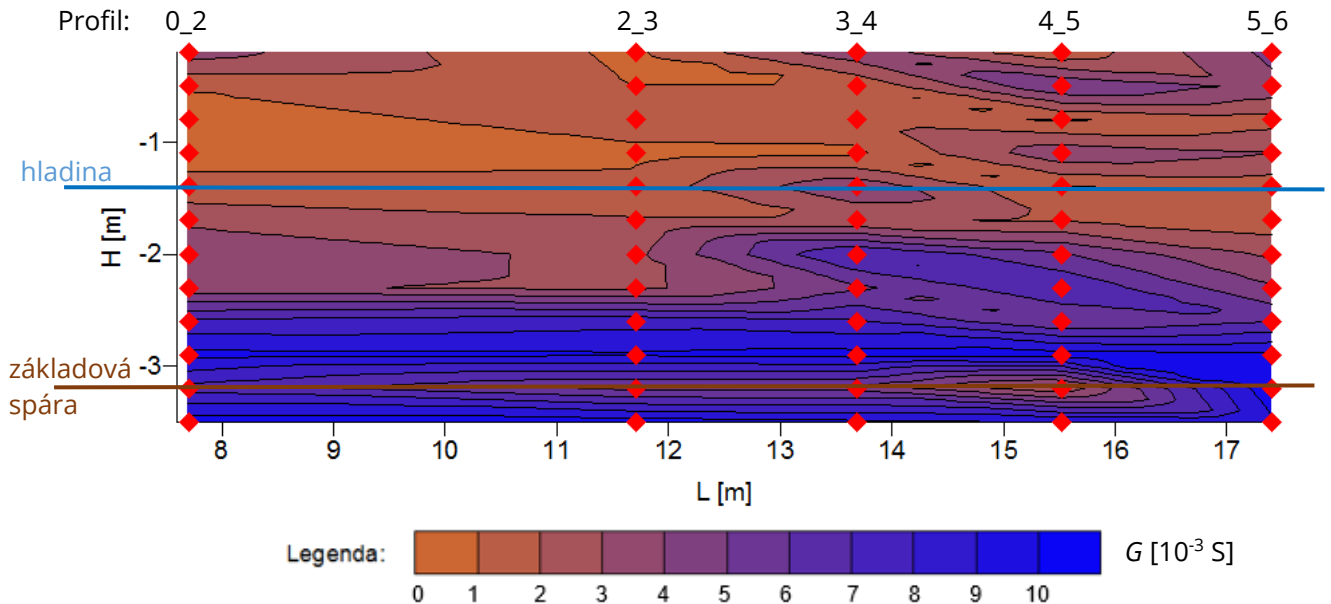


Obr.9.10a – Měření konduktance květen 2018, vlevo návodní líc a vpravo vzdušný líc

Z průběhu křivek konduktance se dá konstatovat, že od hloubky -0,2 m jsou hodnoty značně rozkolísané. V hloubce -0,5 m se tři profily shodují v obsahu vody v zemině, oproti tomu profily 5_6 a 4_5 zaznamenaly hodnoty G vyšší, a to průměrně o 62 %. Další výraznější odchylky jsou v hloubce -2,0 m, kde je rozdíl mezi nejvyšší hodnotou obsahu vody v zemině u profilu 3_4 a nejnižší hodnotou, která je v profilu 2_3 roven 63 %. V hloubce -2,9 m je vyšší obsah vody ve všech měřených profilech podobný. Výrazné rozdíly se opět nacházejí v základové spáře, kde naměřené

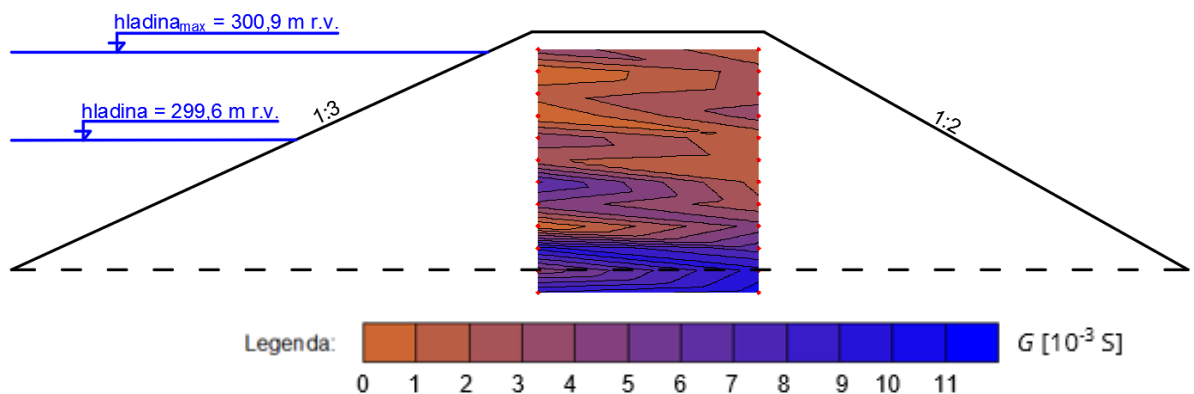
hodnoty v profilu 4_5 jsou o 78 % nižší než v profilu 5_6. V hloubce -3,5 m jsou znovu hodnoty obsahu vody v zemině vyšší a relativně podobné.

Na vzdušném líci zemní hráze MVN je zřejmý nárůst obsahu vody v přibývajícím hloubkou. Zlom nastává v hloubce -1,1 m, kdy je výrazné snížení obsahu vody do hloubky -1,4 m a poté se hodnoty opět zvyšují. Nejvyšších hodnot dosahují oba měřené profily v hloubce -3,5 m.



Obr.9.10b – Podélný profil měření konduktance květen 2018 (program Surfer 8)

Z Obr.9.10b je zřejmé, že v hloubce -3,2 m je nízký obsah vody ve všech profilech, mimo problematického profilu 5_6, který v této hloubce dosahuje vysokých hodnot konduktance. Hloubky -2,9 m a -3,5 m jsou v hodnotách obsahu vody v zemině identifikovatelných hodnotami G téměř shodné.



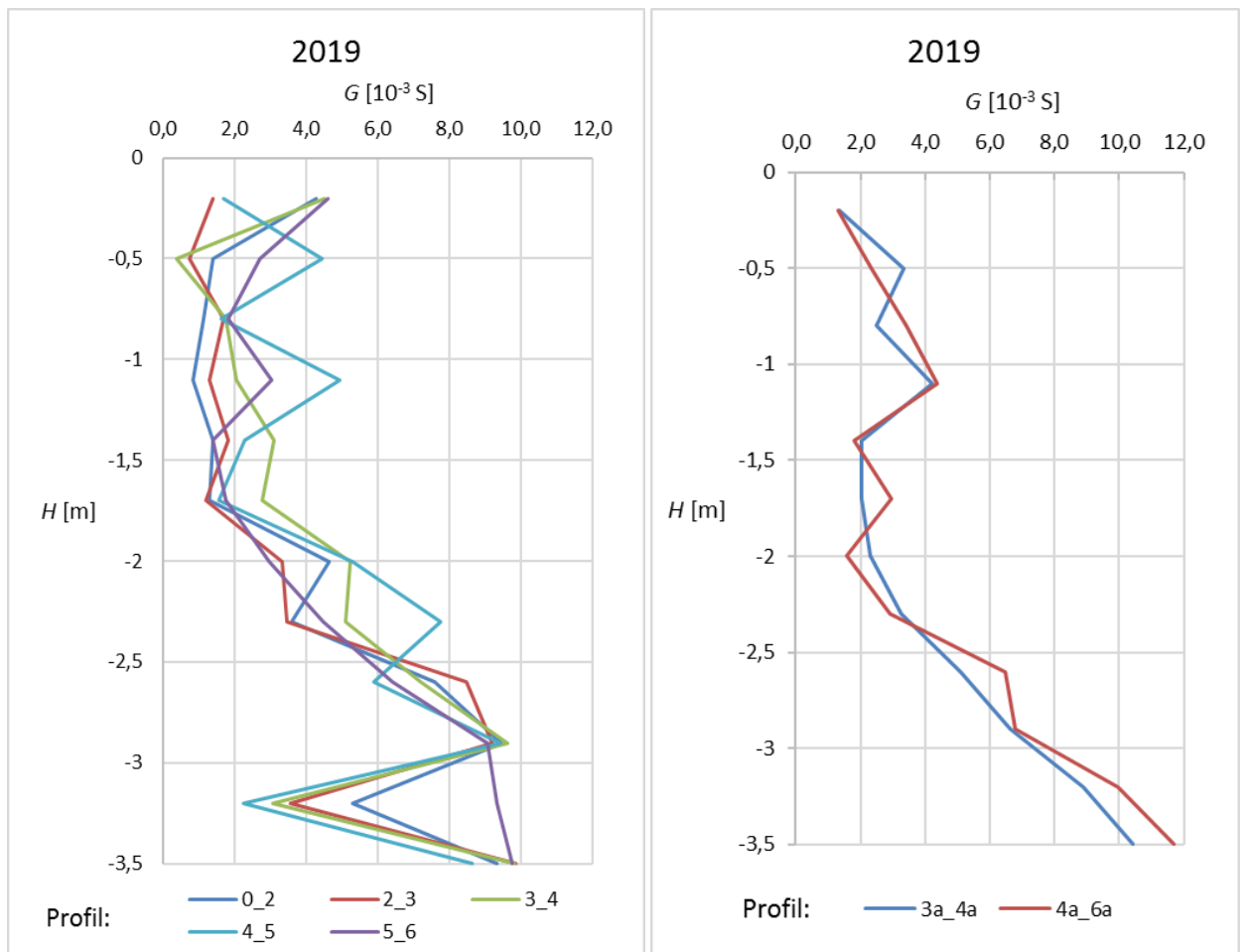
Obr.9.10c – Měření konduktance v příčném řezu hráze květen 2018 (program Surfer 8, AutoCAD 2019)

Z izolinií stanovených v příčném řezu hráze lze konstatovat, že obsah vody v hloubce -2,0 m se snižuje ve směru od návodního ke vzdušnému líci hráze, oproti tomu v hloubce -2,6 m je průběh obrácený. V hloubkách -2,9 m až -3,5 m je obsah

vody v zemině opět vyšší a na vzdušném líci je z tohoto důvodu pozorovatelné zamokření a růst odpovídajících druhů vegetace.

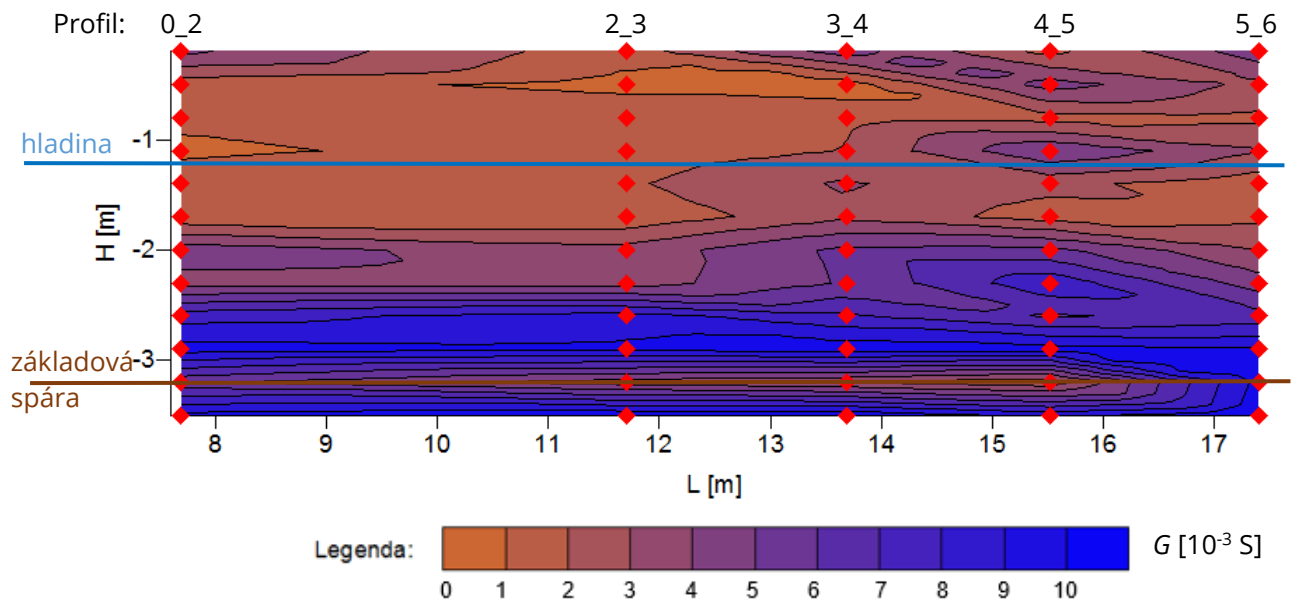
9.10 ROK 2019

V roce 2019 se na lokalitě také měřilo 1×, a to v pátek 10.května. V den měření byla na lokalitě teplota vzduchu 9°C a hladina vody v nádrži byla na úrovni 299,7 m r.v.. K měření byl použit měřicí systém s přístrojem Z-metr IV.



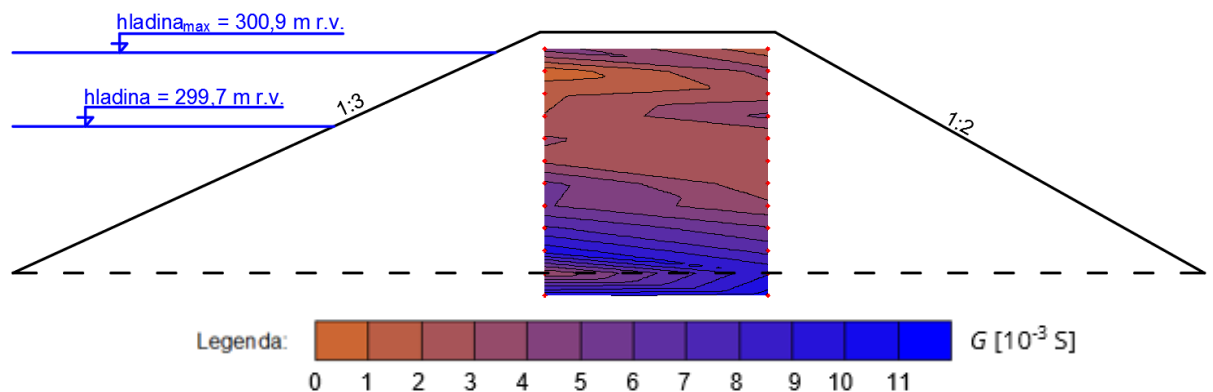
Obr.9.11a – Měření konduktance květen 2019, vlevo návodní líc a vpravo vzdušný líc

Z průběhů křivek $G = f(H)$ na návodním líci je zřejmý značný rozdíl hodnot G v hloubce -0,5 m, v profilu 3_4 jsou hodnoty G o 91 % nižší než v profilu 4_5. Hloubka -0,8 m vykazuje přibližně shodné hodnoty obsahu vody v zemině, pouze v profilu 0_2 jsou hodnoty G v průměru o 33 % nižší. V hloubce -2,9 m jsou hodnoty obsahu vody v zemině nejvyšší a relativně totožné s odchylkou do 7 %. Výrazný pokles obsahu vody je opět v základové spáře, tj. v hloubce -3,2 m, kde jsou hodnoty G v profilu 5_6 o 76 % vyšší než v profilu 4_5. V podloží se hodnoty obsahu vody v zemině opět zvýšily.



Obr.9.11b – Podélný profil měření konduktance květen 2019 (program Surfer 8)

Z Obr.9.11b je zřejmé, že základová spára má opět nižší obsah vody v zemině ve všech profilech kromě 5_6. V hloubkách -2,9 m a -3,5 m jsou také opět hodnoty obsahu vody nejvyšší.



Obr.9.11c – Měření konduktance v příčném řezu hráze květen 2019 (program Surfer 8, AutoCAD 2019)

Z průběhu izolinií na Obr.9.11c lze usuzovat, že vyšší obsah vody v nižších hloubkách na vzdušné straně je zapříčiněné porostem a vegetací na svahu hráze, který drží vodu v zemině. Ve větších hloubkách je znatelný úbytek obsahu vody až do úrovně -2,6 m, kde se obsah vody v zemině hráze opět zvyšuje. V hloubkách -2,9 m až -3,5 m na vzdušném líci lze konstatovat na základě barevné škály hodnot G konstatovat vysoký obsah vody v zemině, který se zde vyskytoval i v předešlých měřených obdobích.

10 OVĚŘENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ POUŽITÍM DALŠÍ MONITOROVACÍ METODY

V rámci ověření, zda monitorování metodou EIS je průkazné, byla navázána spolupráce s podnikem Povodí Moravy, s.p., která je spolujednatelkou měřicího systému GMS (Geophysical Monitoring System) s měřicím přístrojem GEM2. Tento měřicí systém spadá do kategorie nepřímých měřicích geoelektromagnetických metod, a proto je možné na základě měření elektrických parametrů jeho výsledky komparovat s výsledky elektrické vodivosti (Hrdlička, 2008).

GEM je přístroj, který se využívá při dipólovém elektromagnetickém profilování (DEMP). Jedná se o mobilní monitorovací systém, který sleduje a detekuje anomálie objevující se v zemině (např. obsah vody, výrazně jiná zrnitost zeminy). Jedním ze způsobů měření je tzv. rychlé testovací měření „QMT“ (Quick Testing Measurement). Jedná se o rychlé a levné měření. Využívá se pro základní posouzení podloží staveb a homogenity hráze (Hrdlička, 2008).

Ověřovací měření proběhlo 22.12.2008 s využitím přístroje GEM2 firmy Geophex, s.r.o [11]. Tento přístroj pracuje jako širokopásmová digitální multifrekvenční elektromagnetická aparatura (Hrdlička, 2008).



Obr.10.1 – Měření přístrojem GEM2 (Pařílková, 2008)

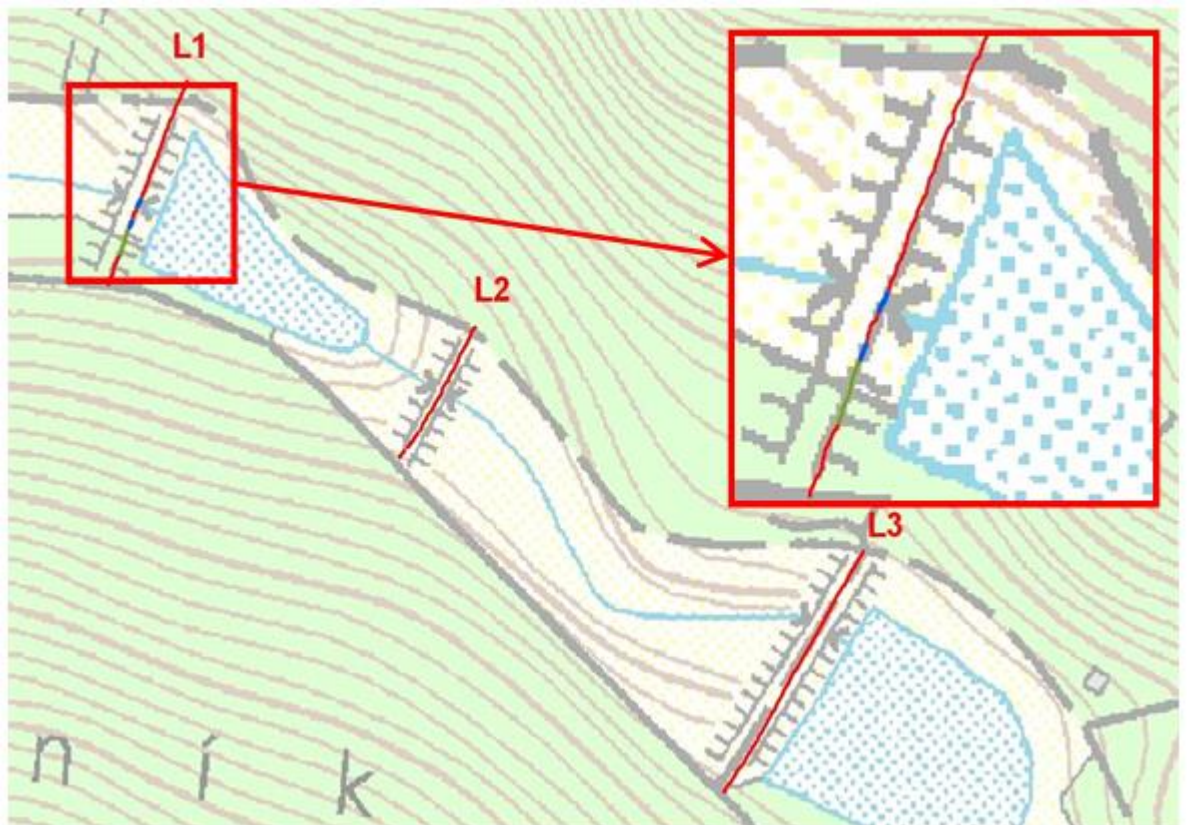
Výhody použití metody GEM2:

- snadná obsluha,
- možnost měření elektrické vodivosti pro více hloubek zároveň,
- možnost propojení měření s GPS,
- vysoká produktivita a hustota měření,
- nezáleží na kvalitě, materiálu a povrchu hráze.

Nevýhody použití metody GEM2:

- při opakovaném měření je problém zaměřit stejná místa,
- problém při měření nad či v blízkosti prvků, které ruší elektrické signály.

Přístrojem GEM2 byla zaměřena a vyhodnocena linie L1 (Obr.10.2) o délce 87 m (hráz Bezedník III.), v rámci srovnání se zaměřily i další dvě hráze v soustavě nádrží (L2 o délce 60 m a L3 o délce 110 m).

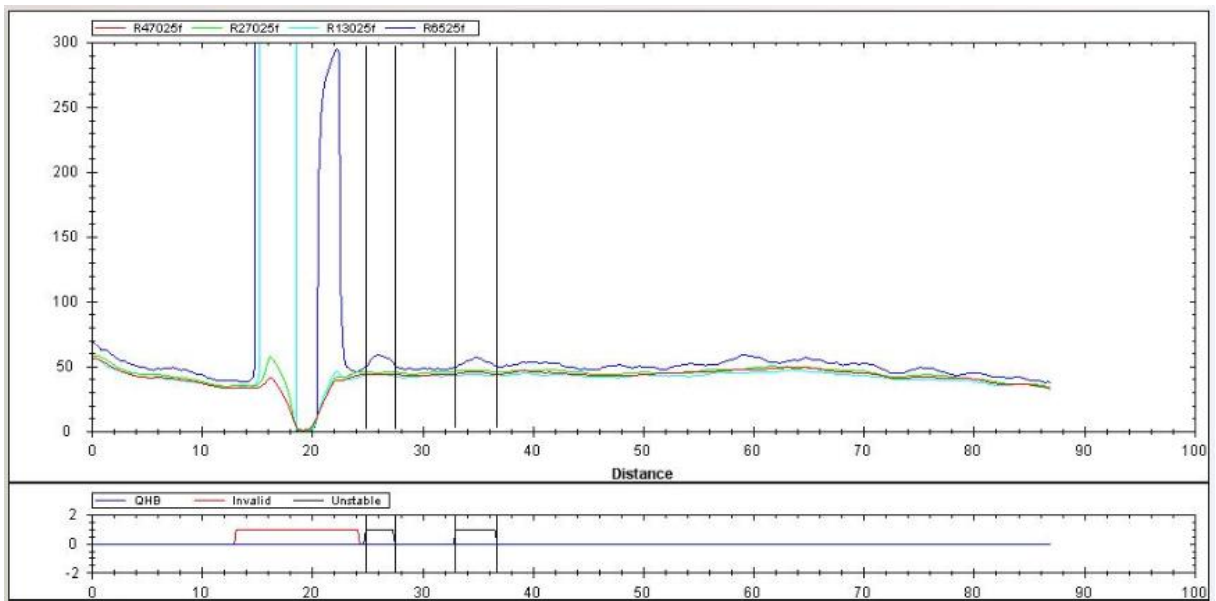


Obr.10.2 – Znázornění měření přístrojem GEM2 s detailem hráze Bezedník III. (Hrdlička, 2008).

Červená čára je měřená linie, zelená čára je měřený úsek v místě opevnění bezpečnostního objektu a modré čáry jsou naměřené anomálie.

Výsledek měření pro linii L1 je uveden na (Obr.10.3). Lze konstatovat, že se zde nachází úsek, v němž je měřenosný signál rušený opevněním bezpečnostního objektu, pod nímž se při rekonstrukci pravděpodobně ponechaly kovové části ze

starší konstrukce přelivu. Zde není možné měřit a úsek je pojmenován jako „Invalid“. Další změny identifikované v tělese hráze představují dva úseky, označené jako „Unstable“ (tyto úseky jsou ohraničeny černými svislicemi na Obr.10.3). První se nachází ve vzdálenosti 26 m od přístupové asfaltové cesty a je o délce 2 m a druhý je ve vzdálenosti 35 m o délce 3 m. Zvýšení měřeného elektrického odporu zeminy v základech hráze nebo pod ní může značit výskyt jiného druhu materiálu, popřípadě se může jednat o zaměření při rekonstrukci zapomenutého výpustného potrubí.



Obr.10.3 – Výsledky dosažené přístrojem GEM2 na hrázi VN Bezedník III. (Hrdlička, 2008)

Poloha zjištěných anomálií a výsledky získané monitorovací metodou DEMP se shodují s výsledky, které byly získány metodou EIS.

11 ZÁVĚR

Malá vodní nádrž Bezedník III u obce Kobeřice byla vybudována jako krajinnotvorný prvek v roce 1979. V průběhu let byly na hrázi opakovaně prováděny opravy z důvodu výronu vody na vzdušném líci hráze v úrovni blízké základové spáře a především v podhrází. V roce 2006 zde bylo zahájeno monitorování metodou EIS, které se skládalo ze dvou fází. V první fázi se monitoroval pouze návodní líc zemní hráze MVN a v druhé fázi se přidalo monitorování i vzdušného líce. Monitorování vzdušného líce bylo zahájeno jako kontrolní, avšak na jeho základě bylo možné konstruovat mapy obsahu vody v zemině hráze na základě zjištěné konduktance zeminy i v příčných řezech hráze.

Uvedené vyhodnocení vybraných měsíců měření jsem vybrala do práce z důvodu možnosti porovnat změny obsahu vody v tělese hráze v průběhu let v odpovídajícím si období. Všechna data jsou součástí zpráv projektů aplikovaného výzkumu, které jsou uschovány ve společnosti GEOtest, a.s. a také u doc. Ing. Jany Pařílkové, CSc., která v měření pokračovala i po ukončení projektu z důvodů ověření životnosti a funkčnosti měřicího systému po 10-ti letech. Samostatně jsem provedla měření 10.května 2019.

Při vyhodnocování měřených profilů jsem zjistila, že v podloží hráze a nad základovou spárou zemní hráze dochází k výrazným změnám obsahu vody v zemině. V základové spáře nejvíce problémový profil, ve kterém byl vždy měřen vysoký obsah vody v zemině, je 5_6, oproti tomu v profilu 3_4 a 4_5 byly hodnoty obsahu vody vždy nižší. Toto svědčí o tom, že v profilu 3_4 a 4_5 jsou nějaké anomálie.

V hloubkách -0,5 m až -1,1 m se vždy hodnoty obsahu vody v zemině snižovaly. Domnívám se, že v průběhu budování sledované zemní hráze, kdy se na její konstrukci využívaly místní zeminy, se v těchto hloubkách využil jiný materiál. Mohlo se jednat o zeminu těženou z jiného místa v blízkosti hráze, než který je použit na zbytek hráze, v každém případě však vykazovala jiné elektrické charakteristiky. Uvedená změna materiálu ale není důvodem úniku vody z nádrže.

Dále se v průběhu měření zjistila skutečnost, že i při poškození jedné sondy vandalem, kdy se zvětšila vzdálenost elektrod z 2 m na 4 m, je přístroj Z-metr II v dané zemině schopen měřit. Kompatibilita měřených dat byla dále potvrzena i měřicí aparaturou s přístroji Z-metr III a Z-metr IV.

Pro ověření výsledků dosažených jednou měřicí metodou je vhodné její ověření adekvátně zvolenou metodou či postupem, který pracuje na stejném a srovnatelném principu. Metoda EIS byla ověřena měřením přístrojem GEM2, který lokalizoval anomálie ve stejných místech, jako je určila metoda EIS. Jasnou výhodou metody EIS

je podrobnost monitorování zájmového místa a také, že na základě umístění měřicích sond je možné sledovat vývoj zjištěných jevů.

Poloha osazení sond na vzdušném líci byla volena tak, aby bylo možno monitorovat již zjištěné anomálie a také konstruovat příčné řezy hráze. Pro znázornění příčného řezu hráze jsem v práci využila profily 3_4 a 3a_4a. Z výsledků jsem zjistila, že největší obsahy vody v zemině se nacházejí v hloubkách -2,9 m až -3,5 m, kdy se izolinie stanovených hodnot G a odpovídajících změnám obsahu vody v zemině hráze na jejím vzdušném líci spojovaly. Právě v těchto místech se na vzdušném líci objevoval největší výron vody, identifikovaný růstem bujné vegetace.

Z průběhu monitorování proto usuzuji, že nejproblémovější místo, kde dochází k úniku vody z rezervoáru MVN je podloží hráze. Příčinu lze hledat v možné chybě při výstavbě hráze, zapomenutém vypouštěcím potrubí při její rekonstrukci či jiné technologické nekázni. Pozitivním zjištěním je skutečnost, že se identifikovaná anomálie v zemině hráze se v čase nerozvíjí a zemní hráz je dosud spolehlivě plně funkční. K uvedenému závěru jistě přispělo i vybudování bezpečnostního přelivu.

Z hlediska použité monitorovací aparatury s přístroji Z-metr celé jejich vývojové řady lze kladně hodnotit jejich zastupitelnost prokázanou kompatibilitou měřených dat, možnost měření ve stále stejných úrovních v zemině hráze, neboť měřicí sondy jsou instalované jako ztracené sondy a životnost systému. Jelikož lokalita byla osazena jako první monitorovaná systémem s přístroji Z-metr nebyl nastaven režim automatického autonomního měření a měření je nutno provádět manuálně. Pro přenos signálů byly nevhodně zvoleny vodiče malých průměrů, z nichž některé bylo nutno po přetržení znovu spojovat. Uložení vodičů nebylo nijak výrazně chráněno, uložení v zemině cca 0,15 m pod korunou hráze v plastických sáčcích, což vedlo k jejich ataku lesní zvěří. Po přerušení pravidelného monitoringu a následném navázání jednorázovými měřeními bylo obtížné nalézt místa jejich uložení včetně manipulace s nimi, neboť do nich byly vrostlé kořeny vegetace.

Seznam využití literatury

- AGRICULTURE CANADA, Prairie Farm Rehabilitation Administration, Prairie Resources Service. *Small Dam Design And Construction Manual*. Canada, May, 1992.
- AGRICULTURAL GROWTH PROJECT (AGP), MINISTRY OF AGRICULTURE. *Small Dams Safety Guidelines*. Federal Demogcratic Republic of Ethiopia, June 2011.
- BUREAU. *Design of small dams*. A Water Resources Technical Publication, United States Department Of The Interior, Bureau Of Reclamation, Third Edition 1987, 2006.
- BROŽA, Vojtěch. *Přehrady Čech, Moravy a Slezska*. Liberec: Knihy 555, 2005. 251 s. ISBN 80-86660-11-7. Kapitola Protržená přehrada, s. 52–55.
- ČNS 75 0101. (2003). Vodní hospodářství – Základní terminologie.
- ČSN 75 2410. (2011). Malé vodní nádrže.
- DEPARTMENT OF PRIMATY INDUSTRIES AND WATER, Water Resources Policy. *Guidelines For The Construction Od Eart-Fill Dams*. State of Tasmania, 2008. ISBN 978-0-7246-6467-2.
- FOŠUMPAUROVÁ, P. *Etický rozměr vodohospodářské činnosti*. Seminární práce, Katedra hydrotechniky fakulty stavební ČVUT, Praha 1998.
- FUKSA, Josef K.. *Dopady odpadních vod na jakost povrchových vod v době sucha*. VÚV T.G.M., v.v.i., Praha, 2016.
- HRDLIČKA, Milan. *Interpretace QTM měření Kobeřice ze dne 22.12.2008*
- JANDORA, Jan. ŘÍHA, Jaromír. *Porušení sypaných hrází v důsledku přelití*. Vyd. 1. Brno: ECON publishing, s.r.o., 2002, 188 s. ISBN 80-86433-15-5
- TNV 75 2415. (2013). Suché nádrže.
- 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. EI4981 : October 30 to November 1, 2013: Karolinka, Czech Republic*. Ed. 1st. Editor Jana Pařílková, Lubomír Procházka. Brno: VUTIUM, 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.

PATERA, Adolf. *Nádrže a vodohospodářské soustavy 20: malá antologie environmentálních textů ve vodním hospodářství*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02600-0.

ŘÍHA, Jaromír. *Návrh a realizace suchých nádrží z pohledu technickobezpečnostního dohledu*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7212-600-2.

Malé vodní nádrže - rybníky: příručka pro provádění technickobezpečnostního dohledu. Praha: Ministerstvo zemědělství, Sekce vodního hospodářství, 2016. ISBN 978-80-7434-277-6.

MARIE-THERESE VAN KEßEL, HANNA VIEFHAUS, KATJA LAST, VOLKER BETTZIECHE UND TOM SCHANZ. *Bemessungsdiagramme für Staudämme kleiner Talsperren und Regenrückhaltebecken nach Eurocode 7*. WasserWirtschaft, 2014.

MÍKA, Alois. *Naše rybníky a přehradní jezera*. Praha: Orbis, 1963. Naše vlast (Orbis).

STEPHENS, Tim. *Manual on small earth dams. A guide to siting, design and construction*. Food and Agriculture Organization Of The United Nations. Rome, 2010.

SEDLÁK Bedřich, ŠTOLL Ivan. *Elektrina a magnetismus*. Academia, 2002, ISBN 80-200-1004-1

ŠÁLEK, Jan. *Malé vodní nádrže v životním prostředí*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. Phare. ISBN 80-7078-370-2.

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

ŠÁLEK, Jan, Anna TRESOVÁ a Zdeněk MIKA. *Rybníky a účelové nádrže: celostátní vysokoškolská učebnice pro stavební fakulty vysokých škol technických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00092-0.

VESELÝ, Jaroslav. *Vodohospodářské stavby: MODUL 03, Vodní stavby*. Brno: VUT, 2004.

VLČEK, Jiří. *Bezpečnost elektrických zařízení - příručka pro konstruktéry*. BEN - technická literatura, 2007, ISBN 978-80-7300-222-0

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

Seznam využití projektové dokumentace

[A] *Technická dokumentace VN Kobeřice (1979 – 2009)*

Další využití zdroje

<http://eagri.cz/public/web/mze/voda/osveta-a-publikace/publikace-a-dokumenty/publikace/voda-v-cr-do-kapsy.html>

- http://eagri.cz/public/web/file/21689/Voda_v_CR.pdf
- http://eagri.cz/public/web/file/133229/Generel_LAPV_vc_protokolu.pdf
- <https://www.intersucho.cz>
- http://www1.frm.utn.edu.ar/laboratorio_hidraulica/Biblioteca_Virtual/Desing%20of%20small%20dams/SmallDams.pdf
- <https://theconstructor.org/water-resources/design-earthfill-dam-components/2301/>
- ICOLD (2011) dostupné na <http://www.cbdb.org.br/bulletins/ICOLD-Small-Dams-Sept-2011.pdf>
- [1] ČSN 75 2410. (2011). Malé vodní nádrže.
- [2] <http://www.cbdb.org.br/bulletins/ICOLD-Small-Dams-Sept-2011.pdf>
- [3] <https://www.aboutcivil.org/How-build-small-dams-Construction.html>
- [4] <http://voda.chmi.cz/pov09/doc/01.pdf>
- [5] <http://zitkrajinou.cz/voda-a-sucho/suchym-poldrem-vode/>
- [6] http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/Hydrologicke_sucho.html
- [7] http://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/metodika_plan-sucho.pdf
- [8] <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/male-vodni-nadrze/>
- [9] https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=107294
- [10] <https://kobericeubrna.cz/>
- [11] http://www.geophex.com/GEM_2%20Handheld.html

Seznam obrázků

Obr.1.1 – Největší český rybník – Rožmberk (http://www.kultura.cz/profile/8009-rybnik-rozemberk)	3
Obr.3.1 – Dělení MVN („Small dams“) a přehrad („Large dams“) dle výšky a objemu [2] ..	6
Obr.3.2 – Trojúhelníkový diagram používaný v USA, přizpůsoben z dokumentu „Supplement to Soil Classification P System (7th Approximation)“, SCS, USDA, 1967 (překlad z www.pedologie.cz)	7
Obr.3.3 – Příčný řez zemní hrází, USA (Nelson, 1985)	7
Obr.3.4 – Dělení hrází, Německo, DIN 19 700-12:2004-07	9

Obr.3.5 – Schéma homogenní hráze (ČSN 75 2410)	14
Obr.3.6 – Schéma nehomogenní hráze (ČSN 75 2410)	15
Obr.3.7 – Poldr nad obcí Hať na Opavsku (http://zitkrajinou.cz/voda-a-sucho/poldry-hati-brani-povodnim/)	16
Obr.3.8 – Stav sucha 2.9.2018 (https://www.intersucho.cz/)	18
Obr.3.9 – Stav sucha 1.9.2019 (https://www.intersucho.cz/)	18
Obr.4.1 – Postup porušení koruny zemní hráze v důsledku přelití (Jandora a Říha, 2002)	19
Obr.4.2 – Postup porušení zemní hráze v důsledku filtrační deformace (Jandora a Říha, 2002)	20
Obr.4.3 – Postup kontaktní sufoze (Říha, 2008)	20
Obr.4.4 – Dělení poruch podle National Sciens Foundation, dostupné z: https://nsf.gov/ (překlad Hošková [9])	21
Obr.6.1 – Schéma měření elektrické impedance zeminy	25
Obr.6.2 – Z-metr II, vlevo rok 2006 a vpravo rok 2011 (Pařílková)	25
Obr.6.3 – Přístroj Z-metr IV (Pařílková)	27
Obr.6.4 – Konstrukce sond EIS (Pařílková, 2017)	27
Obr.7.1 – Umístění zájmové lokality v rámci ČR (https://geoportal.cuzk.cz)	29
Obr.7.2 – Katastrální území obce Kobeřice u Brna (https://mapy.cz)	30
Obr.7.3 – Obec Kobeřice u Brna (https://mapy.cz)	30
Obr.7.4 – Letecký snímek situování MVN Bezedník III od Kobeřic u Brna (https://mapy.cz/)	31
Obr.7.5 – MVN Bezeník III na Milešovickém potoce (https://mapy.cz/)	31
Obr.7.6 – Hráz a kamenný bezpečnostní přeliv MVN Bezedník III	34
Obr.7.7 – Schody na návodním líci, součást bezpečnostního přelivu	34
Obr.7.8 – Opevnění návodního líce	35
Obr.7.9 – Výpustný objekt (požerák)	36
Obr.7.10 – Výpustné potrubí požeráku na vzdušném líci	36
Obr.7.11 – Vzorový příčný řez hrází [A]	38
Obr.7.12 – Detail původního opevnění návodního líce [A]	38
Obr.7.13 – Půdorys hráze s bezpečnostním přelivem [A]	39

Obr.7.14 – Podélný profil hráze [A]	40
Obr.8.1 – Umístění měřících sond, červen 2009 (Pařílková, 2013)	42
Obr.8.2 – a) schéma zemní hráze, b) situace měřících sond na návodním líci, c) detail umístění snímačů (Pařílková, 2006)	43
Obr.8.3 – Půdorysné umístění měřících sond	44
Obr.9.1a – Prvotní měření konduktance na návodním líci hráze červenec 2006	46
Obr.9.1b – Podélný profil prvotního měření konduktance červenec 2006 (program Surfer 8)	47
Obr.9.2a – Měření konduktance na návodním líci hráze srpen 2006	48
Obr.9.2b – Podélný profil měření konduktance srpen 2006 (program Surfer 8)	49
Obr.9.3a – Měření konduktance na návodním líci hráze srpen 2007	50
Obr.9.3b – Podélný profil měření konduktance srpen 2007 (program Surfer 8)	51
Obr.9.4a – Měření konduktance na návodním líci hráze květen 2008	52
Obr.9.4b – Podélný profil měření konduktance květen 2008 (program Surfer 8)	53
Obr.9.5a – Měření konduktance na návodním líci hráze květen 2009	54
Obr.9.5b – Podélný profil měření konduktance květen 2009 (program Surfer 8)	55
Obr.9.6a – Měření konduktance květen 2010, vlevo návodní líc a vpravo vzdušný líc	56
Obr.9.6b – Podélný profil měření konduktance květen 2010 (program Surfer 8)	57
Obr.9.6c – Měření konduktance v příčném řezu hráze květen 2010 (program Surfer 8, AutoCAD 2019)	57
Obr.9.7a – Měření konduktance květen 2011, vlevo návodní líc a vpravo vzdušný líc	58
Obr.9.7b – Podélný profil měření konduktance květen 2011 (program Surfer 8)	59
Obr.9.7c – Měření konduktance v příčném řezu hráze květen 2011 (program Surfer 8, AutoCAD 2019)	60
Obr.9.8a – Měření konduktance květen 2012, vlevo návodní líc a vpravo vzdušný líc	61
Obr.9.8b – Podélný profil měření konduktance květen 2012 (program Surfer 8)	62
Obr.9.8c – Měření konduktance v příčném řezu hráze květen 2012 (program Surfer 8, AutoCAD 2019)	62
Obr.9.9a – Měření konduktance květen 2016, vlevo návodní líc a vpravo vzdušný líc	63
Obr.9.9b – Podélný profil měření konduktance květen 2016 (program Surfer 8)	64

Obr.9.9c – Měření konduktance v příčném řezu hráze květen 2016 (program Surfer 8, AutoCAD 2019)	64
Obr.9.10a – Měření konduktance květen 2018, vlevo návodní líc a vpravo vzdušný líc ..	65
Obr.9.10b – Podélný profil měření konduktance květen 2018 (program Surfer 8)	66
Obr.9.10c – Měření konduktance v příčném řezu hráze květen 2018 (program Surfer 8, AutoCAD 2019)	66
Obr.9.11a – Měření konduktance květen 2019, vlevo návodní líc a vpravo vzdušný líc ..	67
Obr.9.11b – Podélný profil měření konduktance květen 2019 (program Surfer 8)	68
Obr.9.11c – Měření konduktance v příčném řezu hráze květen 2019 (program Surfer 8, AutoCAD 2019)	68
Obr.10.1 – Měření přístrojem GEM2 (Pařílková, 2008)	69
Obr.10.2 – Znázornění měření přístrojem GEM2 s detailem hráze Bezedník III. (Hrdlička, 2008)	70
Obr.10.3 – Výsledky dosažené přístrojem GEM2 na hrázi VN Bezedník III. (Hrdlička, 2008)	71

Seznam tabulek

Tab.3.1 – Vhodnost zemin pro různé zóny hutnění hrází (ČSN 75 2410)	13
Tab.3.2 – Orientační sklony svahů hrází (ČSN 75 2410)	14
Tab.6.1 – Základní parametry pro Z-metr II (Pařílková, 2006)	26
Tab.6.2 – Základní parametry přístroje Z-Metr IV (Pařílková, Radkovský, 2016)	28
Tab.7.1 – M-denní průtoky	37
Tab.7.2 – N-leté průtoky.....	37
Tab.7.3 – Hydrologické údaje	37
Tab.7.4 – Rozměry nádrže	37
Tab.7.5 – Průtokové charakteristiky	38

Seznam zkratk

MVN	Malá vodní nádrž
ČSN	Česká státní norma
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
EIS	Elektrická impedanční spektrometrie

TNV	Technická národní vyhláška
SN	Suchá nádrž
GSM	Globální Systém Mobilní komunikace
USB	„Universal Serial Bus“, rozhraní pro připojení přídatného hardware
LC	„Liquid Crystal“, displej z tekutých krystalů
LVV ÚVST	Laboratoř vodohospodářského výzkumu ústavu vodohospodářských staveb
GMS	Geologický monitorovací systém
DEMP	Dipólové elektromagnetické profilování
QMT	Rychlé testovací měření

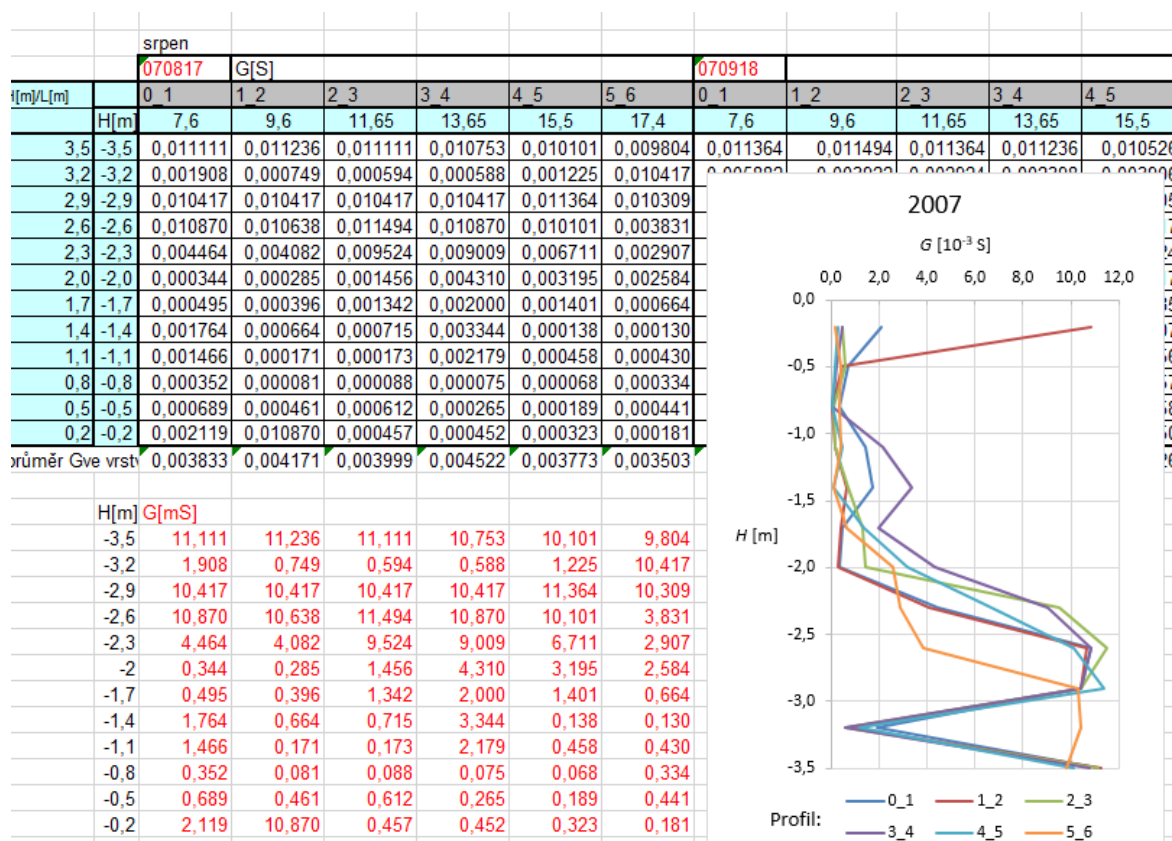
Seznam veličin

Označení	název	jednotka
A	průřezová plocha vodiče	[m ²]
d	délka elektrody	[m]
G	elektrická vodivost - konduktance	[S]
l	vzdálenost	[m]
ρ	elektrická rezistivita	[$\Omega \cdot m$]
I	fázor elektrického proudu	[A]
Q_{100}	100-letý průtok	[m ³ /s]
Q_a	průměrný roční průtok	[m ³ /s]
Q_m	m-denní průtoky	[m ³ /s]
Q_N	N-leté průtoky	[m ³ /s]
Q_v	průtok výpusti	[m ³ /s]
R	elektrický odpor - rezistance	[Ω]
U	elektrické napětí	[V]
X	elektrická reaktance	[Ω]
Z	elektrická impedance	[Ω]

Ukázka zpracování dat

#Start at 9.5.2016 11:17:26										
No	f [Hz]	date [dd.m]	time [hh:m ch	range	Rx [ohm]	Xx [ohm]	G [mS]			
1	8000	9.5.2016	11:17:27	0	1	108,8	-0.6	9,191176		
1	8000	9.5.2016	11:17:28	1	1	240,3	-3.2	4,161465		
1	8000	9.5.2016	11:17:29	2	1	105,8	-0.8	9,451796		
1	8000	9.5.2016	11:17:30	3	4	5809,5	-96890.3	0,172132		
1	8000	9.5.2016	11:17:31	4	1	216,5	-3.3	4,618938		
1	8000	9.5.2016	11:17:32	5	1	274,2	-7.7	3,646973		
1	8000	9.5.2016	11:17:33	6	1	505,8	-16.2	1,977066		
1	8000	9.5.2016	11:17:34	7	1	275,8	-4.8	3,625816		
1	8000	9.5.2016	11:17:34	8	3	6941,1	-64690.6	0,144069		
1	8000	9.5.2016	11:17:35	9	1	666	-25.8	1,501502		
1	8000	9.5.2016	11:17:36	10	4	16649,3	-152483.4	0,060063		
1	8000	9.5.2016	11:17:37	11	1	280,7	-5.2	3,562522		
2	8000	9.5.2016	11:17:38	0	1	108,8	-0.6	9,191176		
2	8000	9.5.2016	11:17:39	1	1	240,4	-3.1	4,159734		
2	8000	9.5.2016	11:17:40	2	1	105,8	-0.8	9,451796		
2	8000	9.5.2016	11:17:41	3	4	5812,8	-96820.3	0,172034		
2	8000	9.5.2016	11:17:41	4	1	216,6	-3.3	4,616805		
2	8000	9.5.2016	11:17:42	5	1	274,3	-7.8	3,645643		
2	8000	9.5.2016	11:17:43	6	1	505,8	-16.2	1,977066		
2	8000	9.5.2016	11:17:44	7	1	275,5	-5.0	3,629764		
2	8000	9.5.2016	11:17:45	8	3	6867,6	-64444.8	0,145611		
2	8000	9.5.2016	11:17:46	9	1	666	-25.8	1,501502		

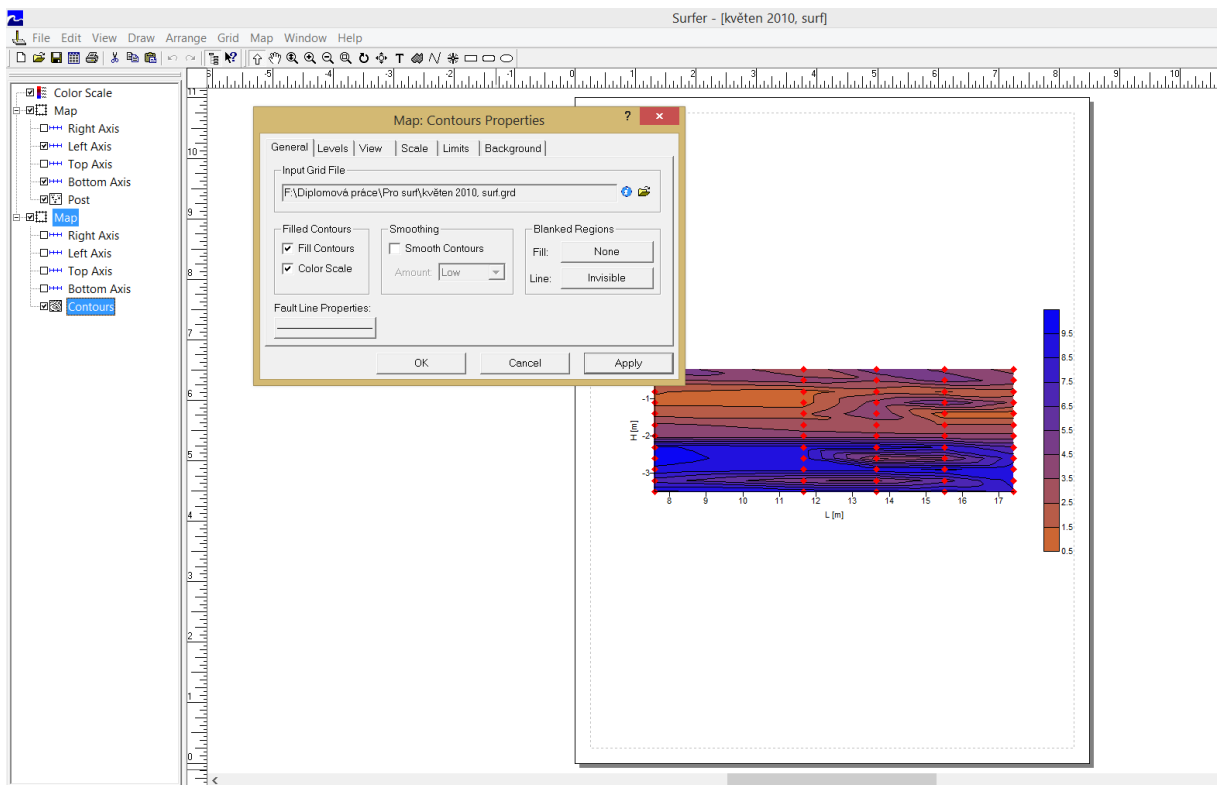
Data získaná přístrojem Z-metr IV a jejich další zpracování.



Zpracovávání dat a následná tvorba grafu, program Excel.

	A	B	C
1	7,6	-3,5	9,52381
2	7,6	-3,2	4,761905
3	7,6	-2,9	9,345794
4	7,6	-2,6	9,803922
5	7,6	-2,3	8,547009
6	7,6	-2,0	2,024291
7	7,6	-1,7	1,336898
8	7,6	-1,4	0,544959
9	7,6	-1,1	0,080238
10	7,6	-0,8	0,290867
11	7,6	-0,5	1,587302
12	7,6	-0,2	2,906977
13	11,65	-3,5	9,615385
14	11,65	-3,2	3,095975
15	11,65	-2,9	9,259259
16	11,65	-2,6	9,615385
17	11,65	-2,3	8,695652
18	11,65	-2,0	1,748252
19	11,65	-1,7	1,367989
20	11,65	-1,4	0,616903
21	11,65	-1,1	0,081387
22	11,65	-0,8	0,282087
23	11,65	-0,5	2,43309
24	11,65	-0,2	1,934236
25	13,65	-3,5	9,259259
26	13,65	-3,2	2,304147
27	13,65	-2,9	9,433862

Příprava dat pro program Surfer 8.



Zpracování dat v programu Surfer 8.