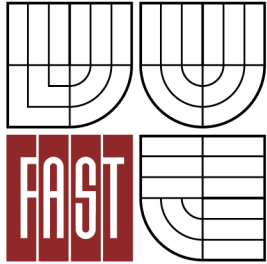




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

VYVYMEZENÍ ANOMÁLNÍCH OBLASTÍ HOMOGENNÍ ZEMNÍ HRÁZE MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

DETERMINATION OF ANOMALOUS AREA OF HOMOGENEOUS EARTH DIKE OF SMALL
RESERVOIR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

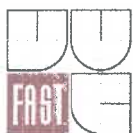
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ALENA SEDLÁKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JANA PAŘÍLKOVÁ, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Alena Sedláková

Název Vymezení anomálních oblastí homogenní zemní hráze malé vodní nádrže

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

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2012

Datum odevzdání bakalářské práce 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- CÍSLEROVÁ, M., VOGEL, T. a kol. (2008). Transportní jevy ve vadózní zóně. Skriptum ČVUT v Praze, Fakulta stavební, KHMKI, KHH. 111s.
- KAMENÍČKOVÁ, I. (2004). Použití technické textilie ve vodohospodářské výstavbě (filtrační účely). 4. Vodohospodářská konference 2004 s mezinárodní účastí. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. 220-226. ISBN: 80-7204-360- 9.
- 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.
- MLS, J. (1988). Hydraulika podzemní vody. ES ČVUT. Praha.
- PAŘÍLKOVÁ, J. a kol. (2009). EUREKA 2009. Schedule-Proceedings, Svratka. ISBN 978-80-214-3969-6, s.110-121.
- PAŘÍLKOVÁ, J. a kol. (2010). EUREKA 2010. Schedule-Proceedings, Tetčice. ISBN 978-80-214-4117-0, s.134-144.
- PAŘÍLKOVÁ, J. a kol. (2011). EUREKA 2011. Schedule-Proceedings, Štramberk. ISBN 978-80-214-4325-9, s.114-127.
- 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.
- ŠAMALÍKOVÁ, M. (1996). Inženýrská geologie a hydrogeologie. Brno: Akademické nakladatelství CERM.
- VALENTOVÁ J. 2007. Hydraulika podzemní vody. ČVUT, Praha.


Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

- Rešerše podkladů k problematice hrází malých vodních nádrží a monitorovacích metod.
Realizace měření na určené lokalitě (Bezedník III).
Zpracování vybraných dat z monitorování a realizovaných měření.
Dokumentace a vyhodnocení.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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


.....
doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.
vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá posouzením změn probíhajících v zemní hrázi malé vodní nádrže Bezedník III. v katastru obce Kobeřice s vymezením anomálních oblastí stanovených nepřímou měřicí metodou elektrické impedanční spektrometrie (EIS). Studie byla provedena na základě zpracování dat z monitorování, které je prováděno jedenkrát měsíčně. Práce navazuje na řešení projektů E!3838, E!4981 a E!7614 programu EUREKA.

Klíčová slova

zemina, hráz, malá vodní nádrž, monitorování, elektrická impedanční spektrometrie

Abstract

This thesis deals with the assessment of changes occurring in the earth dike of small water reservoirs Bezedník III. in the village Kobeřice and the definition of anomalous areas identified by the indirect method of measuring electrical impedance spectrometry (EIS). The study conducted on the basis of data processing from monitoring, which is carried out once a month.

The thesis follows the solution of projects E!3838, E!4981 and E!7614 in international EUREKA program.

Key words

soil, dike, small water reservoir, monitoring, electrical impedance spectrometry

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

SEDLÁKOVÁ, Alena. *Vymezení anomálních oblastí homogenní zemní hráze malé vodní nádrže*. Brno, 2013. 65 s., 3 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně s využitím rad své vedoucí doc. Ing. Jany Pařílkové, CSc., daných podkladů, odborné literatury a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

.....
Alena Sedláková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji doc. Ing. Janě Pařílkové, CSc. a panu Luboši Pařílkovi za odbornou, technickou, materiální aj. pomoc a Ing. Zuzaně Gardavské a Ing. Marii Fejfarové za cenné rady a připomínky při vypracovávání bakalářské práce. Poděkování patří i mé rodině za podporu, pomoc a trpělivost po celou délku mého studia.

V Brně dne 24.5.2013

.....
Alena Sedláková

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	CÍL PRÁCE	10
3	VODNÍ NÁDRŽE	11
3.1	UMÍSTĚNÍ FUNKČNÍCH PROSTORŮ V NÁDRŽI	11
4	MALÉ VODNÍ NÁDRŽE	12
4.1	STAVEBNÍ USPOŘÁDÁNÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ	12
4.1.1	<i>Hráze malých vodních nádrží</i>	12
4.1.2	<i>Koruna hráze</i>	16
4.1.3	<i>Funkční objekty</i>	16
5	ZEMINA	17
5.1	ZATŘIDĚNÍ ZEMINY	17
5.2	ZEMINY PRO TĚSNICÍ ČÁST HRÁZE	20
5.3	ZEMINY PRO STABILIZAČNÍ ČÁST HRÁZE	21
5.4	ZHUTNĚNÍ ZEMIN	21
6	VODA V ZEMINĚ	22
7	POPIS LOKALITY	24
7.1	VÝSTAVBA NÁDRŽE	25
7.2	VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ MALÉ VODNÍ NÁDRŽE	26
7.2.1	<i>Technický popis objektů</i>	26
7.2.2	<i>Hydrologické poměry, max. a min. průtoky</i>	29
7.2.3	<i>Zemina</i>	29
8	MĚŘICÍ METODA EIS	31
8.1	ELEKTRICKÁ IMPEDANCE	31
9	UMÍSTĚNÍ MĚŘICÍCH SOND – MONITOROVÁNÍ	34
10	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ	41
10.1	VYHODNOCENÍ DAT	42
11	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	55
	ODBORNÁ LITERATURA	55
	PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE	56
	INTERNETOVÉ ZDROJE	56
	SEZNAM TABULEK	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	62
	<i>Latinská abeceda</i>	62

<i>Řecká abeceda</i>	63
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	64
SEZNAM PŘÍLOH	65

1 ÚVOD

Voda je nanejvýš cenným a nenahraditelným přírodním zdrojem, neboť její potřeba zasahuje do všech odvětví života a práce člověka. Je součástí veškeré živé a neživé přírody, složkou lidské a zvířecí výživy, podmínkou zdraví, předpokladem úspěšné výroby zemědělské i lesní, důležitou surovinou v průmyslové výrobě, prostředkem energetickým, dopravním, rekreačním a výsledně základní podmínkou dalšího civilizačního a kulturního rozvoje lidské společnosti. Proto byla historicky významná města zakládána u vodních toků. Voda vždy plnila různé funkce, např. funkci vodárenskou, závlahovou, chovnou, estetickou.

Zajištění vodohospodářských funkcí však vyžaduje, aby byl vždy dostatek vody požadované kvality a hospodařilo se s ní tak, aby její zpravidla nerovnoměrný výskyt v přírodě byl vyrovnáván akumulací vodních přebytků v uměle vytvořených prostorách, umožňujících využívání nahromaděných zásob vody v obdobích jejího nedostatku. K základním prostředkům vodního hospodářství patří proto umělé vodní nádrže, které je nutné zřizovat zejména v oblastech s méně příznivou nebo nevyhovující vodohospodářskou bilancí (*Hrabal, 1979*). Příběh vodních nádrží psala již Egyptská civilizace, zbytky hrází vodních nádrží nalezené v Jordánsku, Egyptě a dalších zemích Středního Východu se datují do období 3 000 let př. n. l. Historické prameny dokládají, že využití nádrží pro závlahy a zásobování vodou se začaly využívat asi o tisíc let později ve Středomoří, Číně a Střední Americe (*Smith, 1971*), (*Takahasi, 2003*), (*Lukáč a Bednárová, 2006*).

Hlavními zdroji potřebných zásob vody jsou velké údolní nádrže – přehrady (*Stara, 1997*), (*Stara, 1999*), (*Říha, 2006*), jejichž výstavba však předpokládá příhodné a ne vždy splnitelné poměry terénní, geologické, hydrologické, stavebně technické i ekonomické a jejichž využívání pro malé a místně rozptýlené odběry by často vyžadovalo dlouhé a nákladné rozvody vody. Důležitým doplňkem těchto velkých nádrží jsou proto malé vodní nádrže (*Šálek, 2001*), které v našich zemích byly zřizovány již ve 12. a zejména v 15. a 16. století a prokázaly velkou vodohospodářskou prospěšnost, zvláště v oblastech chudších na srážky a povrchové vody.

V současnosti se význam malých vodních nádrží velmi doceňuje, neboť tyto nádrže, které lze realizovat při menších rozměrech a nádržných objemech téměř ve všech přírodních poměrech, plní mnoho místně důležitých vodohospodářských úkolů, jež velké nádrže zajišťovat nemohou. Umožňují intenzivní chov ryb a vodní drůbeže, jsou důležitým zdrojem vody pro místní závlahy a vyrovnávacím zásobním článkem v soustavách velkoplošných závlah, chrání sídliště a zemědělskou půdu před záplavami a škodlivými účinky vodní eroze (*Poláček, 2006*), slouží k zásobení sídlišť a výrobních podniků vodou i dočišťování jejich odpadních vod, zvyšují protipožární bezpečnost sídlišť, umožňují rekreační využívání a celkově přispívají k zlepšení krajinného a životního prostředí. Úspěšné plnění všech těchto úkolů podmiňuje však požadavek, aby tyto nádrže byly správně navrhovány, stavěny, využívány i udržovány v trvale dobrém provozním stavu.

2 CÍL PRÁCE

Po seznámení se s principem nepřímé měřicí metody elektrické impedanční spektrometrie (dále EIS), realizovanou měřicí technikou a dosaženými výsledky při její aplikaci při sledování zemních hrází bylo cílem mojí bakalářské práce provést měření v rozsahu odpovídajícím jednomu roku, měření zpracovat v návaznosti na již dosažená zjištění a na základě těchto provedených měření vyhodnotit místa vykazující anomálie.

Měření jsem prováděla měřicí aparaturou s přístrojem Z-metr II a ovládacím softwarem Z-Scan, vyhodnocení jsem provedla v prostředí programu Microsoft Excel 2010, Surfer 8 a AutoCAD 2010.



Obr. 2.1 Pohled na hráz

Svá měření (obr. 2.1) jsem navázala na monitorování, které bylo zahájeno osazením měřicích sond metody EIS z koruny tělesa zemní hráze malé vodní nádrže Bezedník III v katastru obce Kobeřice na jejím návodním líci dne 21.6.2006. Požadavek monitorování zemní hráze malé vodní nádrže byl vznesen státním podnikem Lesy České republiky, s. p., lesní správa Bučovice, a to na základě vyjádření obavy z průsaku vody tělesem hráze, která vycházela z pozorovaného kolísání hladiny vody v nádrži a bujné vegetace a mokřadů v zahrází vodního díla (obr. 2.2).



Obr. 2.2 Pohled na vzdušnou stranu hráze (Pařílková, 2006)

3 VODNÍ NÁDRŽE

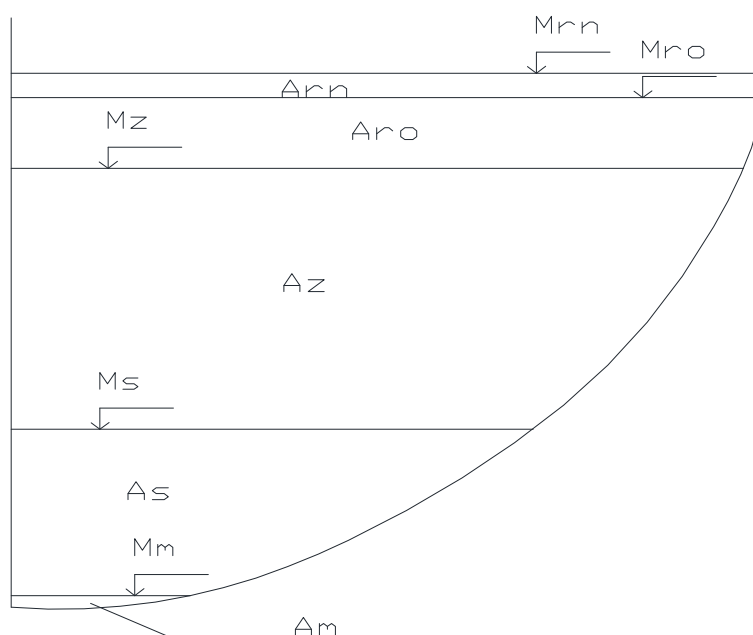
Vodní nádrž tvoří omezený prostor k hromadění vody pro její pozdější využití, k zachycení povodňových průtoků, pro ochranu údolí pod nádrží a k vytvoření vodního prostředí, nebo k úpravě vody. Nádrže se budují za určitým účelem a plní jednu nebo více funkcí. Z hlediska funkčního se nádrže dělí do následujících skupin: zásobní nádrže, ochranné (retenční) nádrže, nádrže vytvářející vodní prostředí, provozní nádrže, asanační a protierozní nádrže, okrasné, estetické a speciální nádrže (Jůva a kol., 1980).

Vodní nádrž je možno vytvořit umělou vodní přehradou, ohrazováním částí území nebo využitím přirozených prohlubní apod. Proto za základní je možno považovat dělení na nádrže přírodní a umělé. Přírodní nádrž je prohlubeň, dutina nebo pánev plněná vodou, která vznikla v přírodě bez zásahu člověka.

Umělá nádrž vznikla zásahem člověka do přírody. Umělé nádrže se dále dělí na neprotékané a protékané. Mezi neprotékané se řadí vyhloubené, ohrazované nebo boční. Protékané nádrže jsou údolní nebo postranní (Starý, 1990).

3.1 UMÍSTĚNÍ FUNKČNÍCH PROSTORŮ V NÁDRŽI

Celkový prostor nádrže (obr. 3.1) se dělí na dílčí prostory. Mrtvý prostor, prostor stálého nadržení, zásobní prostor a retenční prostor ovladatelný a neovladatelný (Starý, 1990).



Obr. 3.1 Členění prostoru nádrže

Legenda: Am – mrtvý prostor, As – stálý prostor, Az – zásobní prostor, Aro – retenční prostor ovladatelný, Arn – retenční prostor neovladatelný (cvičení BS06)

4 MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

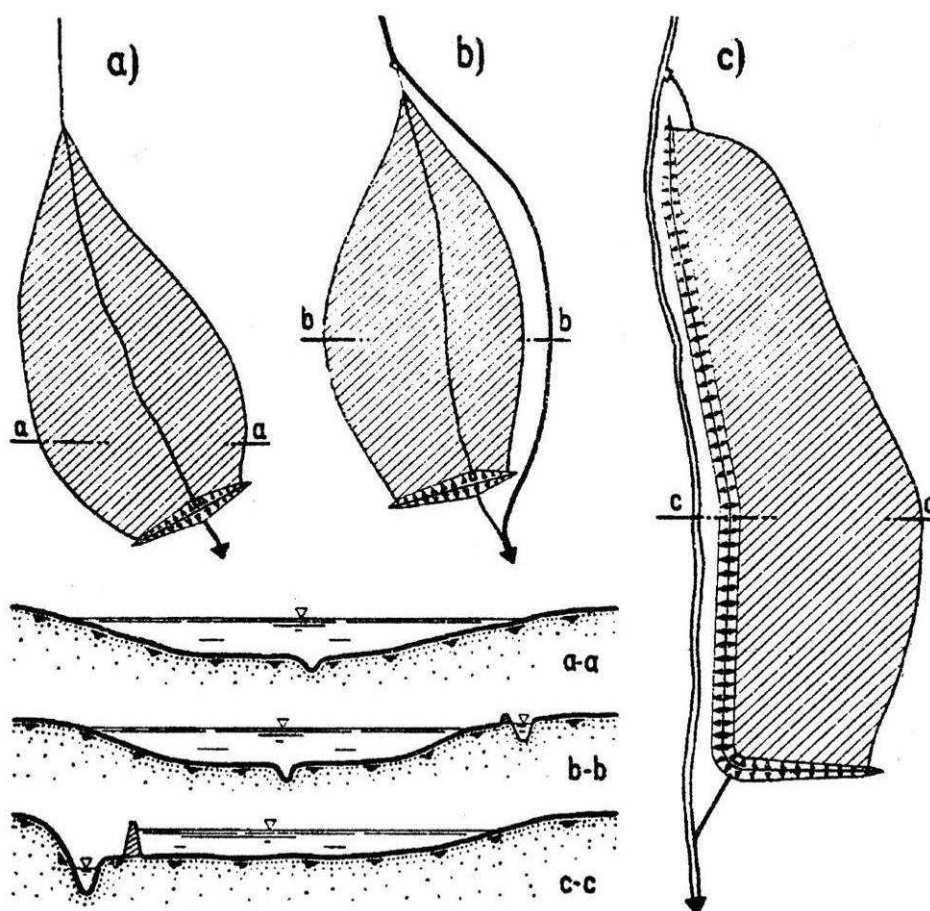
Malé vodní nádrže jsou zpravidla navrhovány se sypanými zemními hrázemi. Maximální objem nádrže po úroveň ovladatelného prostoru je u uvedených objektů 2 mil. m³. Hloubka vody při maximální hladině v nejnižším místě dna nádrže nepřesahuje 9 m. Lokální větší hloubky v místě původního koryta toku, hlavní stoky atd. se neuvažují (ČSN 75 2410).

4.1 STAVEBNÍ USPOŘÁDÁNÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Hlavními složkami stavebního uspořádání nádrží jsou především hráze vymezující nádržné prostory, funkční objekty umožňující řádný provoz a využívání nádrží. Všechna tato zařízení mají být stavebně jednoduchá bez složitých i nákladných konstrukcí, avšak provozně bezpečná, přiměřeně levná a snadno obsluhovatelná i udržovatelná (Jůva a kol., 1980).

4.1.1 Hráze malých vodních nádrží

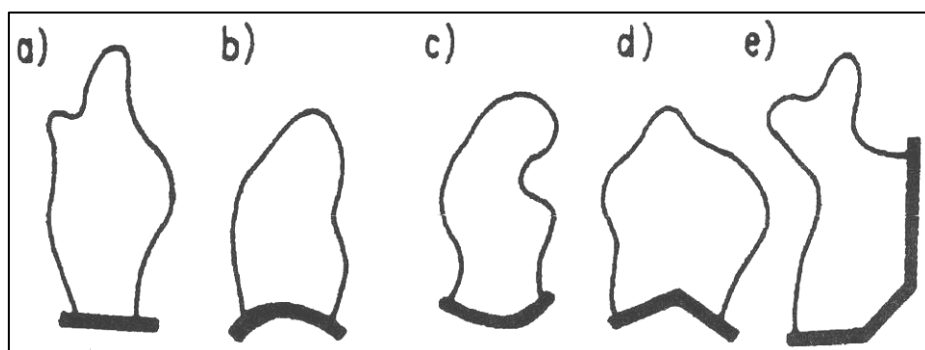
Hráze jsou nejdůležitější částí nádrží. Vytvářejí nádržný prostor jako hráze čelní, boční, obvodové a dělicí. Podle způsobu přívodu vody se dělí na nádrže průtočné, obtokové a boční (obr. 4.1). Dle půdorysného tvaru osy hráze mohou být přímé, zakřivené a lomené (obr. 4.3) (dle ČSN 75 2410).



Obr. 4.1 Rozdělení nádrží podle přívodu vody
(a) průtočné, b) obtokové, c) boční (ČSN 75 2410), [A]



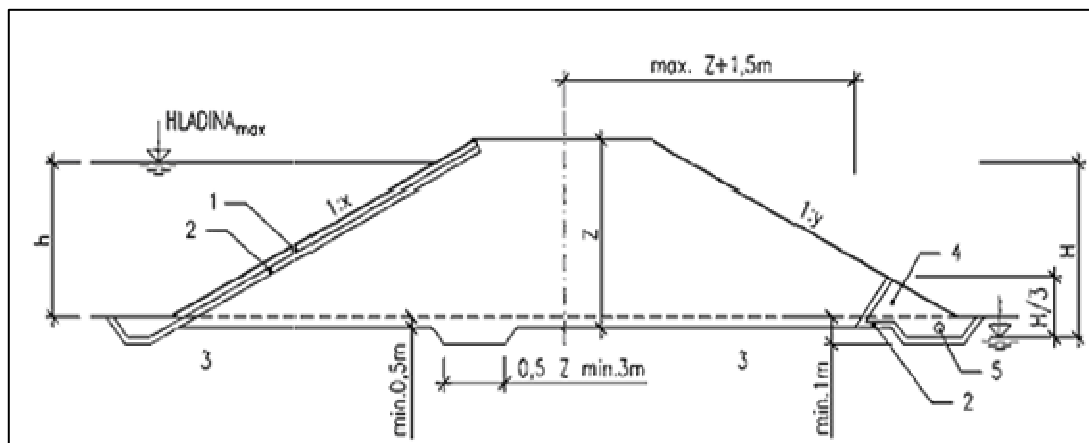
Obr. 4.2 Průtočná nádrž Bezedník III (Pařílková, 14.10.2006)



Obr. 4.3 Rozdělení dle půdorysného tvaru osy hráze

Legenda – a) čelní přímá, b) čelní vypuklá, c) čelní vydutá, d) čelní lomená, e) nepravidelná
(ČSN 75 2410), [A]

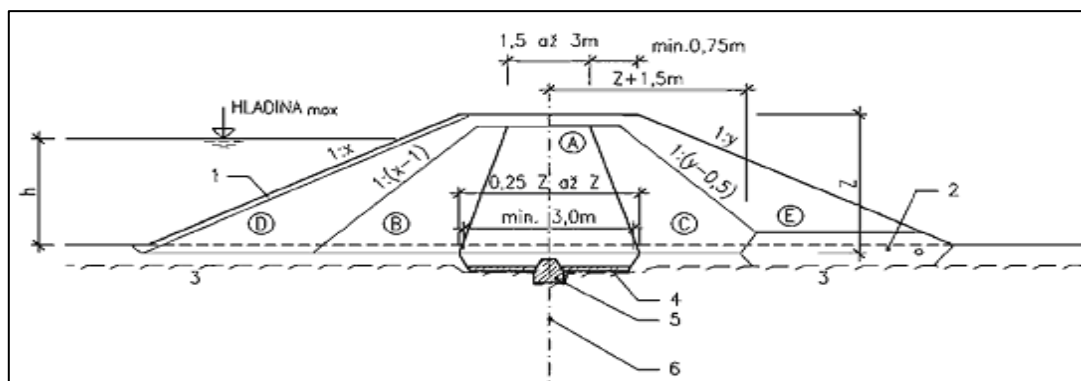
Hráze malých vodních nádrží jsou ve většině případů zemní, kdy se rozlišují dva typy zemních hrází, a to homogenní a nehomogenní. Homogenní hráz je nasypána ze stejnorodých materiálů, které musí být nepropustné a konstrukčně stálé. Hráz je výhodná pouze při výšce hráze do 6 m. Navázání hráze s nepropustným podložím a nejmenší rozměry patního drénu jsou znázorněny v obr. 4.4 (ČSN 75 2410).



Obr. 4.4 Homogenní hráz na nepropustném podloží

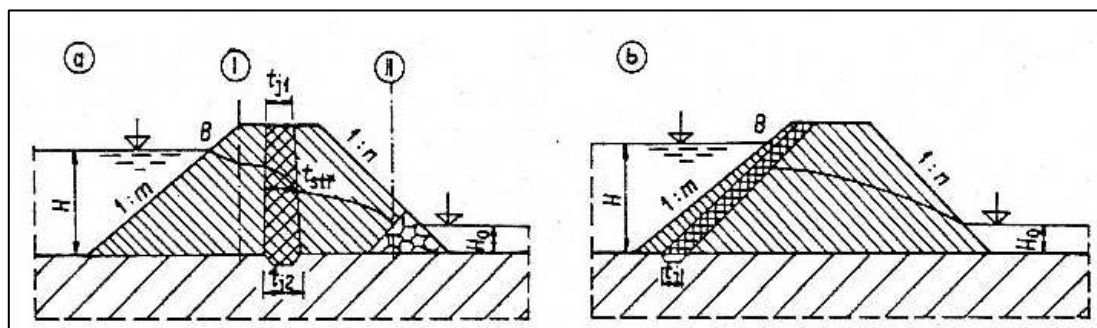
Legenda – 1 – opevnění, 2 – filtr, 3 – nepropustné podloží, 4 – patní drén, 5 – drenážní potrubí (ČSN 75 2410), [A]

Hráz nehomogenní je budována z propustných materiálů, a to i z několika druhů. Hráz je tvořena těsnícím jádrem, přechodnými stabilizačními částmi a propustnou stabilizační částí. Těsnění hráze je střední (obr. 4.5) nebo návodní (obr. 4.6) (ČSN 75 2410).



Obr. 4.5 Nehomogenní hráz se středním těsněním

Legenda – 1 – opevnění, 2 – drenážní prvek, 3 – skalní podloží, 4 – betonová vyrovnávací vrstva, 5 – betonová zavazující ostruha, 6 – těsnící prvek v podloží (ČSN 75 2410), [A]



Obr. 4.6 Nehomogenní hráz

Legenda – a) se středním těsněním, b) s návodním těsněním (Šálek a kol., 1989), [B]

Zemní hráze v příčném profilu mají tvar lichoběžníku se sklony návodního líce 1:x resp. 1:m a vzdušného líce 1:y resp. 1:n podle druhu násypové zeminy a podle výšky hráze (tab. 4.1). Výšku hráze určuje výška požadovaného vzduť vody v nádrži zvětšená o 0,6 m – 1,1 m nad nejvyšší hladinu vody v nádrži. Přes hráz se nesmí při rozvlnění hladiny přelévat voda, tím by mohlo dojít k porušení hráze nebo k jejímu protržení (Jůva a kol., 1980).

Tab. 4.1 Orientační sklony svahů hrází (ČSN 752410), [A]

Těsnicí část hráze (jádro) leží v zóně	Stabilizační část hráze leží v zóně	Zařazení zemin		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	1:2,0 ²⁾
		ML-MI, CL-CI	SW, SP	v zóně AB	1:2,2 ³⁾
CABD	E			jako u homogen-ních 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
<p>1) U velmi propustného materiálu, popř. se zřetelem k rychlosti poklesu hladiny, je možné zvětšit až na 1:2,25.</p> <p>2) Je-li v podloží hráze materiál o smykové pevnosti min. $\text{tg}\varphi_{sk} = 0,74$, je možné zvětšit na 1:1,8.</p> <p>3) Je-li v podloží hráze materiál o smykové pevnosti min. $\text{tg}\varphi_{sk} = 0,74$, je možné zvětšit na 1:2.</p> <p>4) Uvedený sklon pro návodní svah se použije pod nejvyšší dlouhodobě udržovanou hladinou, nad touto hladinou se může svah provést o sklonu 1:(x - 0,5).</p> <p>5) U hrází do výšky 4 m se může sklon návodního svahu zvětšit na 1:(x - 0,5)</p>					

Opevnění návodního líce hráze (ČSN 75 2410) se provede po celé délce nebo od koruny hráze alespoň 0,8 m pod hladinu stálého nadržení. Opevnění chrání před účinky kolísající hladiny, vlnobití a účinky ledu. Opevnění se zaváže do svahů údolí. Je většinou tvořeno kamennou nebo betonovou dlažbou nebo pohozem z lomového kamene. V méně namáhaných úsecích svahu stačí opevnění štěrkovým pohozem nebo travním porostem. Opevnění musí být opřeno o patku, která se buduje z kamenné rovnaniny nebo betonového zdiva (Jůva a kol., 1980).

Opevnění vzdušného líce hráze se navrhuje tak, aby chránilo svah hráze proti vlivům povětrnosti. Opevňuje se zpravidla drnem nebo travním porostem, který je třeba pravidelně udržovat sečením (ČSN 75 2410).

Způsobu založení hráze do podloží by měla být věnována zvýšená pozornost. Uvedeným místem může dojít k průsakům vody pod hrází, při vyšších průsacích i k vyplavování částic zeminy. Hloubka založení se stanoví podle geologického průzkumu. V první fázi před zahájením výstavby je nutno odstranit z celého půdorysu hráze stromy, keře, drnovou vrstvu a kořeny vegetace. Základová spára se urovná, upraví a zhutní. Před zahájením sypání hráze se umisťují patní drény [1].

4.1.2 Koruna hráze

Koruna hráze má být upravena tak, aby byla po celé délce přístupná pro obsluhu, kontrolu hráze a v případě poruchy umožnila alespoň jednosměrný průjezd vozidel, pokud není zajištěn průjezd podél vzdušné paty hráze (ČSN 75 2410).

Jestliže po koruně hráze je vedena komunikace, šířka koruny hráze je dána návrhovými prvky této komunikace. Není-li vedena komunikace, šířka má být min. 3,5 m, to umožňuje občasný pojezd vozidel pro provoz (požární vozidla, výlov rybochovné nádrže nebo údržba hráze). U hrází vyšších než 5 m nesmí být šířka v koruně menší než 3 m [1].

Převýšení koruny hráze nad maximální hladinu při návrhovém průtoku Q_{100} se posuzuje na základě individuálního zhodnocení všech okolností (ČSN 75 2410)

- vliv větrových vln,
- typu a konstrukčního řešení hráze z hlediska odolnosti při přelití,
- konstrukčního řešení a umístění těsnicího prvku hráze,
- předpokládaného sedání tělesa hráze a podloží.

4.1.3 Funkční objekty

Funkční objekty slouží k zajištění bezpečnosti vodního díla, snadného provozu, obsluhy a údržby a také k manipulaci s vodou v nádrži (napouštění, odběru a vypouštění). Mezi funkční objekty patří přelivy používané k neškodnému převádění velkých vod, výpustná zařízení, odběrná zařízení umožňující regulovatelný odběr vody z nádrže, sdružené funkční objekty plnicí funkci výpustných, odběrných a bezpečnostních zařízení a speciální objekty (ČSN 75 2410).

5 ZEMINA

Pro výstavbu zemní hráze je rovněž velmi důležitá blízkost naleziště vhodných zemin doporučená inženýrsko-geologickým průzkumem. Průzkum určuje fyzikálně-mechanické vlastnosti, objemy zeminy, těžitelnost zeminy atd.

Použití jiných materiálů jako je dřevo, kámen nebo beton je u malých nádrží pouze výjimečné (Jůva a kol., 1980).

5.1 ZATŘIDĚNÍ ZEMINY

Zatřídění a výběr vhodných zemin pro výstavbu zemních hrází je uvedeno v ČSN 75 2410, která převzala rozdělení dle ČSN 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ Rozdělení do skupin a tříd je znázorněno v tabulce 5.1.

Tab. 5.1 Klasifikace zemin (ČSN 75 2410), [A]

a) Klasifikace štěrkových zemin

Název zeminy	Symbol	Třída	Kvalitativní znaky			
			Obsah jemnozrné frakce (<0,06 mm) [%]	C_u [-]	C_c [-]	Diagram plasticity
Štěrč dobře zrněný	GW	G1	<5	>4	1 až 3	-
Štěrč špatně zrněný	GP	G2	<5	<4	<1 nebo >3	-
Štěrč s příměsí jemnozrné zeminy	G-F	G3	5 až 15	-	-	-
Štěrč hlinitý	GM	G4	15 až 35	-	-	pod čarou A
Štěrč jílovitý	GC	G5	15 až 35	-	-	nad čarou A

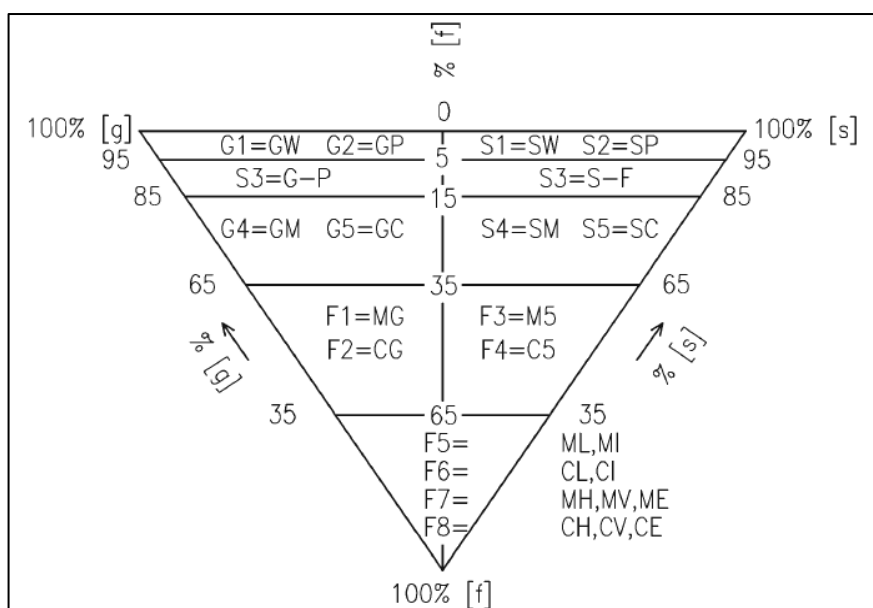
b) Klasifikace písčítých zemin

Název zeminy	Symbol	Třída	Kvalitativní znaky			
			Obsah jemnozrné frakce (<0,06 mm) [%]	C_u [-]	C_c [-]	Diagram plasticity
Písek dobře zrněný	SW	S1	<5	>6	1 až 3	-
Písek špatně zrněný	SP	S2	<5	<6	<1 nebo >3	-
Písek s příměsí jemnozrné zeminy	S-F	S3	5 až 15	-	-	-
Písek hlinitý	SM	S4	15 až 35	-	-	pod čarou A
Písek jílovitý	SC	S5	15 až 35	-	-	nad čarou A

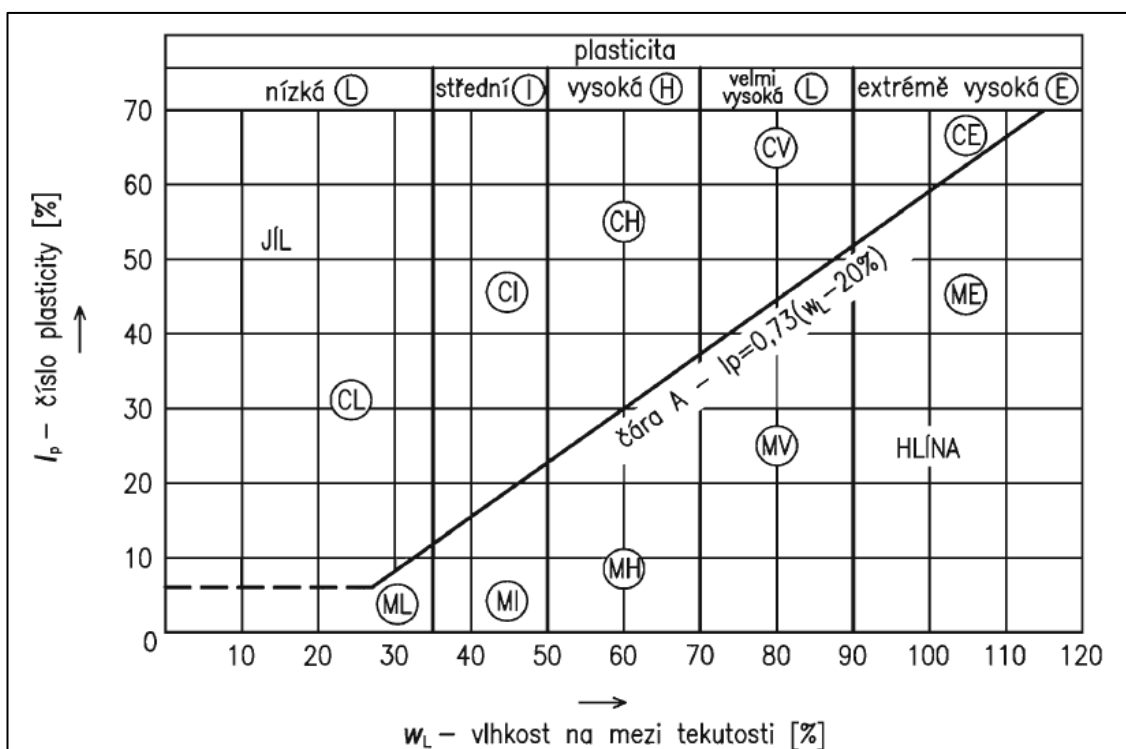
c) Klasifikace jemnozrnných zemín

Název zeminy	Symbol	Třída	Obsah jemnozrnné frakce (<0,06 mm) [%]	Poměr štěrkové (g) a písčité (s) frakce	Diagram plasticity (čára A)	w_L [%]
Hlína štěrkovitá	MG	F1	35 až 65	$g>s$	pod A	-
Jíl štěrkovitý	CG	F2	35 až 65	$g>s$	nad A	-
Hlína písčítá	MS	F3	35 až 65	$g<s$	pod A	-
Jíl písčítý	CS	F4	35 až 65	$g<s$	nad A	-
Hlína s nízkou plasticitou	ML	F5	>65	-	pod A	<35
Hlína se střední plasticitou	MI	F5	>65	-	pod A	35 až 50
Jíl s nízkou plasticitou	CL	F6	>65	-	nad A	<35
Jíl se střední plasticitou	CI	F6	>65	-	nad A	35 až 50
Hlína s vysokou plasticitou	MH	F7	>65	-	pod A	50 až 70
Hlína s velmi vysokou plasticitou	MV		>65	-	pod A	70 až 90
Hlína s extrémě vysokou plasticitou	ME	F11	>65	-	pod A	>90
Jíl s vysokou plasticitou	CH	F8	>65	-	nad A	50 až 70
Jíl s velmi vysokou plasticitou	CV	F8	>65	-	nad A	70 až 90
Jíl s extrémě vysokou plasticitou	CE	F8	>65	-	nad A	>90

Pro částice zeminy menší než 60 mm je vytvořen klasifikační diagram (obr. 5.1). Diagram plasticity pro částice < 0,5 mm podle obrázku 5.2 (ČSN 75 2410) uvádí (obr. 5.2).



Obr. 5.1 Klasifikační diagram zemín s částicemi < 60 mm (ČSN 75 2410)



Obr. 5.2 Diagram plasticity pro částice < 0,5 mm (ČSN 75 2410)

K určení charakteristických vlastností zemin podle ČSN 75 2410 se používá tabulka 5.2. Ve sloupcích 8, 9 a 10 jsou hodnoty, které platí pouze pro zeminy zhutněné na maximální objemovou hmotnost stanovené standardní Proctorovou zkouškou dle ČSN 72 1015. Pokud takto stanovená objemová hmotnost a vlhkost neodpovídá hodnotám ve sloupcích 4 a 5, je nutno mechanické vlastnosti zeminy posoudit individuálně (ČSN 75 2410).

Tab. 5.2 Orientační fyzikálně mechanické vlastnosti zhutněných zemín (ČSN 75 2410)

Skupina	Zdánlivá hustota		Standardní Proctorova zkouška		Objemová hmotnost suché zeminy		Smyková pevnost		Hydraulická vodivost k [m·s ⁻¹]
	částice <4 mm [t·m ⁻³]	částice >4 mm [t·m ⁻³]	d_{max} [t·m ⁻³]	W_{opt} [%]	max [t·m ⁻³]	min [t·m ⁻³]	c_{ef} [kPa]	ϕ_{ef} [°]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GW	2,69	2,58	>1,91	<13,0	1,97 - 2,30	1,58 - 1,90	0	44	$5 \cdot 10^{-4} - 7 \cdot 10^{-5}$
GP	2,68	2,57	>1,76	<13,0	2,10 - 2,30	1,67 - 1,93	0	41	$5 \cdot 10^{-4} - 6 \cdot 10^{-5}$
G - F	2,70	2,50	>1,74	<13,5	-	-	0	38	$1 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-8}$
GM	2,73	2,43	>1,80	<20,5	2,06 - 2,16	1,70 - 1,76	5	34	$8 \cdot 10^{-5} - 8 \cdot 10^{-10}$
GC	2,73	2,57	>1,84	<17,7	-	-	5	27	$1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-9}$
SW	2,67	2,57	1,92 - 2,11	7,4 - 10,8	1,90 - 2,10	1,48 - 1,71	0	41	$5 \cdot 10^{-5} - 4 \cdot 10^{-6}$
SP	2,65	2,62	1,70 - 2,00	8,8 - 12,8	1,73 - 1,96	1,35 - 1,64	0	37	$2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-6}$
S - F	2,66	2,45	1,74 - 1,83	11,8 - 14,2	-	-	0	33	$1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-7}$
SM	2,68	2,48	1,72 - 2,01	9,1 - 15,9	1,62 - 1,90	1,23 - 1,48	5	34	$1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-10}$
SC	2,69	2,47	1,81 - 2,00	10,0 - 14,7	-	-	6	34	$1 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-10}$
ML	2,69	-	1,49 - 1,82	14,0 - 25,0	-	-	12	34	$5 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-10}$
CL	2,71	-	1,66 - 1,84	14,0 - 19,0	-	-	25	25	$1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-10}$
MH	2,79	-	1,33 - 1,40	33,0 - 35,0	-	-	20	18	$8 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-10}$
CH	2,73	-	1,42 - 1,63	19,5 - 30,5	-	-	20	17	$4 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-10}$

Vhodnost použití zemin jednotlivých skupin do různých zón hutněných zemních hrází lze informativně posoudit podle tabulky 5.3, která platí pro orientační posouzení zemin s vlhkostí blízkou vlhkosti optimální (ČSN 75 2410).

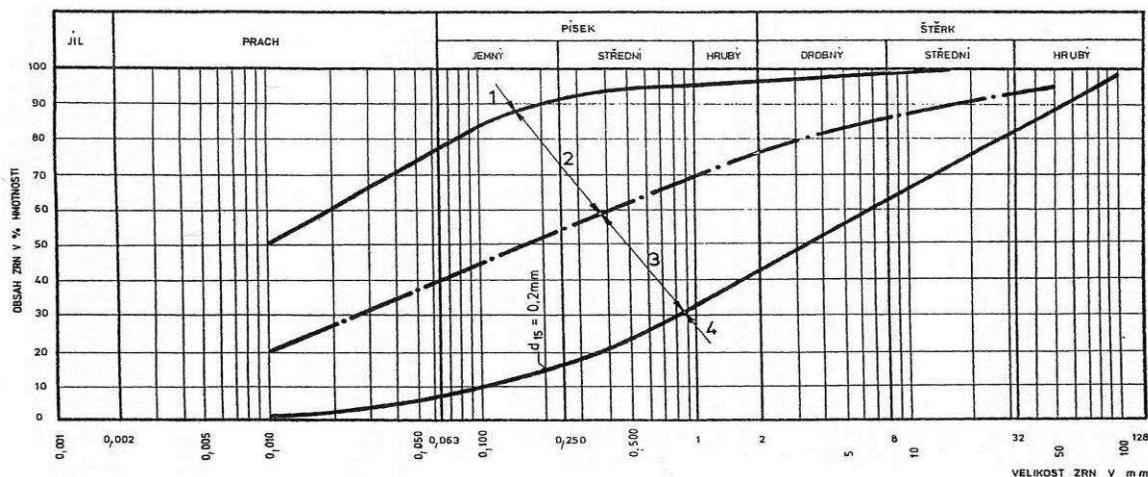
Tab. 5.3 Vhodnost zemin pro různé zóny hutnění hrází (ČSN 75 2410)

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

5.2 ZEMINY PRO TĚSNICÍ ČÁST HRÁZE

Zeminy pro těsnicí část hráže, těsnicí zářez a těsnicí koberec musí splňovat následující podmínky

- čára zrnitosti leží v oblasti 2, popř. 1 (obr. 5.3),
- obsah organických látek není větší než 5 % hmotnosti,
- mez tekutosti není větší než 50 %



Obr. 5.3 Křivka zrnitosti (ČSN 75 2410)

- velikost největších ojedinelých zrn nepřesahuje 0,1 m,
- číslo plasticity I_p u zemin třídy ML, CL, CS A MS je větší jak 8%, dle (ČSN 75 2410).

5.3 ZEMINY PRO STABILIZAČNÍ ČÁST HRÁZE

Zeminy i jiné stavební materiály pro stabilizační části hráze musejí být po zhutnění propustné, odolné vůči objemovým změnám vlivem počasí a průsakové vody. Nesmí obsahovat organické látky a látky, které po rozpuštění ve vodě mohou působit agresivně na konstrukci hráze a objektů (ČSN 75 2410).

5.4 ZHUTNĚNÍ ZEMIN

Materiál tělesa hráze musí být patřičně zhutněn. Rozdělují se dva druhy zeminy, a to soudržné a nesoudržné. Za soudržné lze považovat jíl a hlínu. Soudržné zeminy se hutní nejméně na 95 % maximální objemové hmotnosti sušiny podle standardní Proctorovy zkoušky a jejich vlhkost se nesmí lišit více než $- 2 \%$ až $+ 3 \%$ od optimální vlhkosti (ČSN 75 2410). Vlastnosti soudržných zemin značně ovlivňuje obsah jílových minerálů. Podle obsaženého množství jílových minerálů a jejich typu, je voda v zemině vázaná různými silami (ČSN 72 1001). Proto při stejné vlhkosti mohou mít zeminy různou konzistenci, která zeminy dělí na kašovitě, měkké, tuhé, pevné a tvrdé (ČSN 72 1001) a [C].

Nesoudržné zeminy jsou zeminy písčité, šterkovité a balvanité. Mají velké póry, voda rychle prosakuje do hloubky. Podle ulehlosti se uvedené zeminy dělí na kypré, středně ulehlé a ulehlé [D]. U sypkých, nesoudržných zemin se musí hutnit tak, aby relativní ulehlost byla 0,7.



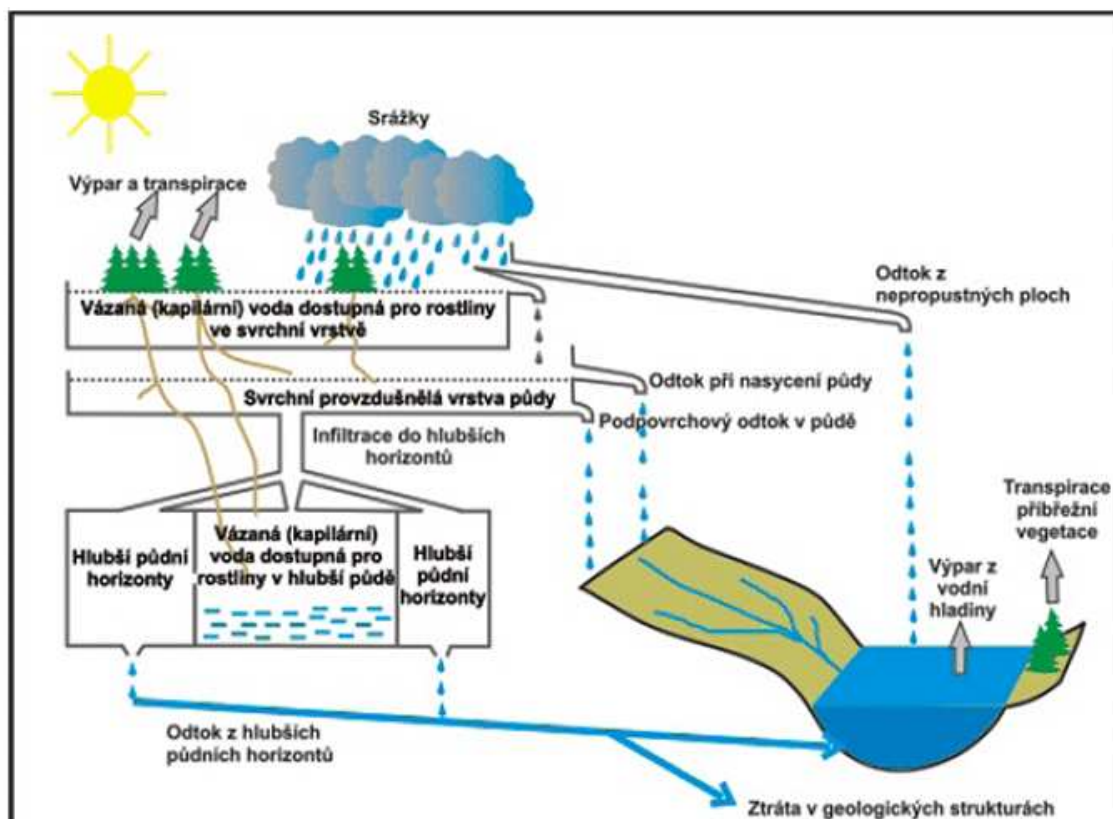
Obr. 5.4 Nesoudržné zeminy [E]



Obr. 5.5 Soudržné zeminy [C]

6 VODA V ZEMINĚ

Voda v zemině neboli podzemní voda, je její přirozenou, trvalou a velmi důležitou složkou. Jejím zdrojem jsou především srážky (proces infiltrace vody), vodní nádrže, řeky a jezera, odkud se voda vsakuje i do zemních hrází. Ve výjimečných případech se jedná o vodu, která vznikla z vodních par z magmatu. Množství vody může značně ovlivňovat fyzikální vlastnosti zeminy, což může mít následně dopad i na realizované objekty.



Obr. 6.1 Koloběh vody v přírodě [F]

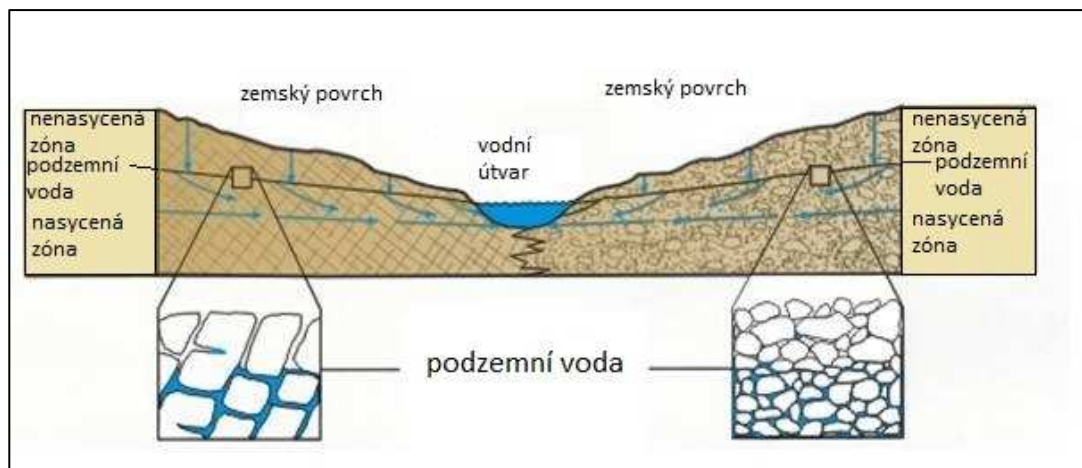
Za obsah vody v zemině se dle ČSN CEN ISO/TS 17892-1 se považuje množství vody, které je možné odstranit vysušováním zeminy při teplotě $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ do stálé hmotnosti. Kvantitativně lze množství vody v zeminách odvodit pomocí vlhkosti w , objemové vlhkosti n_w nebo stupně nasycení S_r (Weiglová, 2007).

Voda v zeminách se vyskytuje v různém složení a v různých vazbách (Šimek, 1990), (Novák, 2012)

- gravitační vodu – podléhá síle zemské přitažlivosti a lze ji dělit na
 - volnou – vyplňuje objem pórů v zeminách,
 - kapilární – vlivem povrchového napětí voda vzlíná v pórech nad hladinou podzemní vody do tzv. kapilární výšky h_k ;

- vázanou vodu – molekuly vody jsou poutány k povrchům zrn minerálů elektrochemickými a elektromolekulárními silami. Podle intenzity vazby na minerální povrch lze vodu charakterizovat jako:
 - pevně vázanou (adsorbovanou) – voda se chová jako pevná součást minerálních zrn. Pevně vázanou vodu je možno odstranit ohřevem při teplotě 150 – 300 °C,
 - slabě vázanou (obalová, osmotická) – vazba vody na zrna zeminy je slabá. Ze zeminy ji lze odstranit i mechanicky (stlačením);
- strukturální vodu – je součástí minerálů, dělí se na:
 - chemicky vázanou – je součástí krystalické mřížky v podobě H⁺ a OH⁻ iontů. Odstraní se při ohřevu nad 200 °C, tím se změní chemické složení a minerál se rozpadá,
 - krystalickou – také součástí krystalické mřížky, ale zachovává si molekulární formu, při ohřevu nad 60 °C se odstraní. Minerály se změní na bezvodné formy (např. sádrovec);
- vodní páru – v pórech nenasycených zemin, pohybuje se z míst teplejších do míst chladnějších, z míst s vyšší vlhkostí do míst s nižší vlhkostí;
- led – při záporných teplotách se voda v zemině mění na led. Nejprve zamrzá voda volná, pak voda kapilární a dále voda slabě vázaná. Voda pevně vázaná v našich klimatických podmínkách nezamrzá. U nesoudržných zemin při změně vody na led dojde ke zvýšení objemu až o 9 %, zamrzají stejnoměrně. V soudržných zeminách proběhne zamrzání nestejně. Při oteplení led taje postupně od povrchu, ale voda se přes hlubší zamrzlé vrstvy nevsákne, proto zemina zvlhne a ztrácí tak pevnost a tím i únosnost. Je tedy vhodné zakládat objekty v nezamrzlé hloubce.

Na obrázku 6.2 je znázorněn rozdíl mezi nasycenou a nenasycenou zónou zeminy. Nenasycenou zónu lze charakterizovat jako třínožkové prostředí, v němž se vyskytují pevné částice, kapaliny a plyny. Nasycená zóna obsahuje pevné částice a kapaliny, tj. všechny póry v zemině jsou vyplněny např. vodou resp. vodou se znečištěním. To platí pro jíly, hlinité zeminy, ale také písek a štěrk.



Obr. 6.2 Nasycená a nenasycená zóna [G]

7 POPIS LOKALITY

Malá vodní nádrž Bezedník III se nachází v katastru obce Kobeřice u Brna. Kobeřice jsou součástí okresu Vyškov (Jihomoravský kraj) (obr. 7.1, 7.2). Území bylo osídleno již v mladší době kamenné, ale první písemné zmínky o obci pochází z roku 1283. Vodní nádrže zde byly od nepaměti. Sloužily k zavlažování polí nebo k chovu ryb. Některé z nich ale koncem 19. století zanikly. Začaly se znovu postupně budovat v období 2. světové války (1943 – 1945) a později. Pokrývají údolí od „Bezedníka“ až k Šaraticím [H] a [I].



Obr. 7.1 Aktuální ortofotomapa [J]



Obr. 7.2 Ortomapa z 50 let [K]

7.1 VÝSTAVBA NÁDRŽE

Zájmová malá vodní nádrž Bezedník III spolu s druhou spodní nádrží byla vystavěna v roce 1979 na přítoku Kobeřického potoka. Vybudováním nádrže vznikla možnost zavlažovat níže položené pozemky lesního závodu, protipožární ochrany a chovu ryb. Jedná se tedy o víceúčelovou nádrž [1].

Hráz nádrže byla navržena sypaná kolmo na podélnou osu údolí. Návodní svah je zpevněn betonovými prefabrikáty uloženými do betonového lože se štěrkopískovým ložem a jílovým těsněním. Zpevnění se zajistí založením do kamenných patek na cementovou maltu. Zpevnění svahu bylo spojeno se zpevněním komunikace v koruně hráze. V koruně hráze se předpokládalo vybudovat vozovku v provedení se štěrkopískovým podkladem, vrstvou penetračního makadamu a asfaltovým nátěrem. Avšak záhy bylo rozpoznáno nebezpečí jejího enormního zatěžování v průběhu lesních prací, a proto byla komunikace ponechána pouze se štěrkovým podkladem. Vzdušný svah byl zpevněn vegetací [1].

Jako výpustné zařízení slouží celokovový požerák. Odpadní potrubí vypouštěcího zařízení bylo navrženo z tlakových trub DN 300. Vtokový otvor byl osazen česly proti unikání ryb. Odvodňovací příkop od výstě byl zpevněn dlažbou na cementovou maltu. Bezpečnostní přešlap nebyl navržen [1].

V roce 1980 pro napuštění nádrží vodou bylo využito pozdních zimních a jarních srážek a také napomohla vysoká hladina podzemní vody, čímž byla půda silně zamokřena. S napouštěním zájmové nádrže Bezedník III bylo zjištěno prosakování hráze mimo vypouštěcí potrubí. Předpokládala se závada v těsnicím jádru hráze. Byl tedy proveden geologický průzkum pomocí 3 sond do hloubky 0,1 m až 0,15 m. Předpokládaný profil v základové spáře hráze byl v některých místech odlišný od skutečného stavu v provedené spáře. Na návodní straně bylo dodatečně provedeno utěsnění podzákladů z jílové zeminy. Časem se závada opět projevila a nádrž byla vypuštěna (projektová dokumentace 1979-1980) [1].

Roku 1997 byl proveden další návrh opravy. Z návodní strany bylo odstraněno původní opevnění betonových prefabrikátů. Původní štěrkopískové lože bylo vyrovnáno a doplněno. Na tuto vrstvu byla položena technická geotextilie a na textilií byla položena hydroizolační folie z měkčeného PVC. Folie byla chráněna geotextilií a na ni byla rozprostřena vrstva hlinitopísčité zeminy. V patě hráze byla provedena patka z lomového kamene na cementovou maltu, o kterou se opírají betonové prefabrikáty. Návodní strana nad maximální hladinou, vzdušná strana a koruna hráze byly zpevněny vegetací – travní směs [1].

Vypouštěcí zařízení bylo ponecháno původní.

V roce 1998 byl návodní svah opět rozebrán a folie z PVC byla zaměněna za hydroizolační folii HDPE tl. 1,5 mm, která byla uložena oboustranně v ochranném štěrkopískovém loži. Dále bylo opraveno původní opevnění z tvárnic IZT, část návodního líce byla opevněna polovegetačními tvárnici s výplní štěrku a v oblasti zavázání do terénu doplněno kamennou rovnatinou. Koruna hráze byla opevněna drceným kamenivem. Dalším novým prvkem opravy bylo vybudování sedimentačního prostoru, který byl umístěn před výpustným zařízením – požerákem. Současně s opravou hráze byl vybudován také bezpečnostní přeliv na levé straně hráze. Tím bylo zapříčiněno zvýšení hráze místy o 0,4 m [1].

Přesto se v roce 2006 objevilo opět prosakování vody hrází. V období října 2006 byla nádrž vypuštěna a provedena oprava návodního líce hráže podsypáním a přeložením tvárnic IZT a také polovegetačních tvárnic a jejich zavázání do terénu.

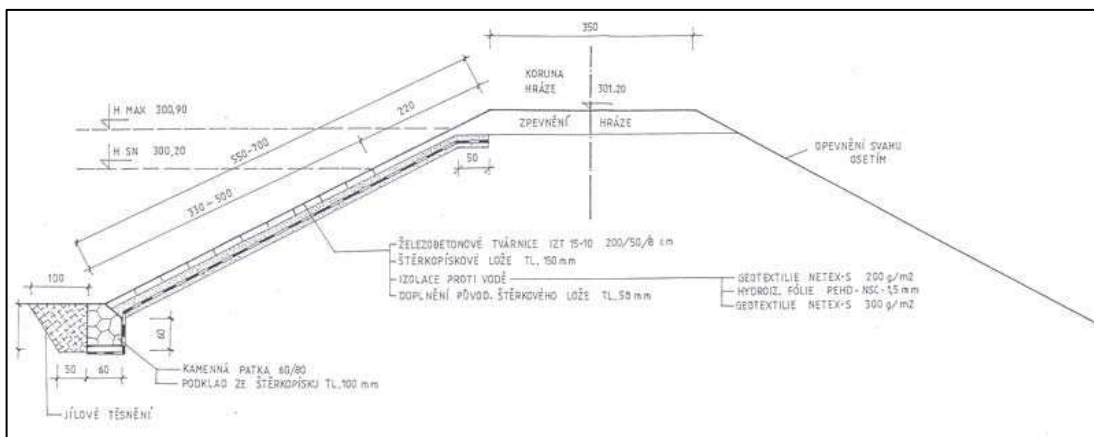
7.2 VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

Nádrž je umístěna na levostranném přítoku Kobeřického potoka a je realizovaná jako průtočná. Plocha nádrže je 3586 m² při hladině stálého nadržení. Objem akumulované vody při hladině stálého nadržení je 4792 m³, s retenčním objemem 2558 m³ je pak celkový objem nádrže 7350 m³. Maximální hloubka vody v nádrži je 2,0 m. Zdrojem vody pro napuštění je stávající tok a atmosférické srážky. Větší průtoky se převádí přes vybudovaný bezpečnostní přeliv. Vypuštění se provádí výpustným zařízením v ocelovém trubním požeráku [1].

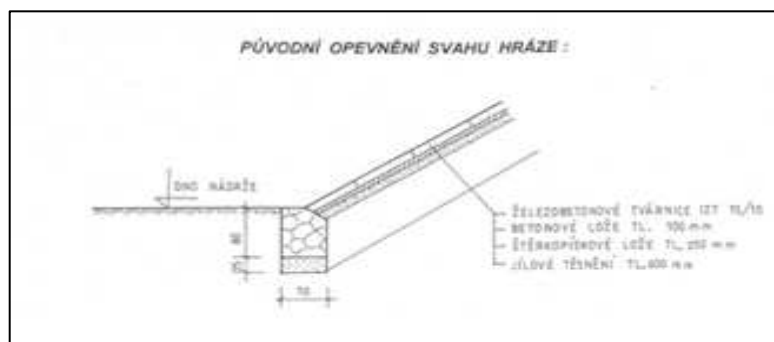
Kapacita profilu potoku pod nádrží není dimenzována na maximální průtok a při převedení velkých vod se předpokládá rozliv na louku pod nádrží [1].

7.2.1 Technický popis objektů

Hráz vodní nádrže je homogenní zemní z místních materiálů. Šířka hráže v koruně je 3,5 m a délka 15,0 m. Koruna hráže je na kótě 301,20 m n. m. a maximální hladina na kótě 300,90 m n. m. Návodní líc hráže je ve sklonu 1:3 a vzdušný líc 1:2. Návodní strana je opevněna železobetonovými tvárnicemi se štěrkopískovým ložem a izolací proti vodě. Vzdušná strana a koruna hráže je ohumusovaná a oseta trávou. V patě návodního svahu je kamenná patka a jílové těsnění. Celková výška hráže je max. 6,0 m [1].



Obr. 7.3 Příčný řez hrází



Obr. 7.4 Detail původního příčného řezu hrází



Obr. 7.5 Vzdušný líc hráze a zahrází vodní nádrže Bezedník III



Obr. 7.6 Detailní pohled na návodní líc hráze vodní nádrže

Bezpečnostní přeliv (obr. 7.7) je proveden jako otevřený lichoběžníkový profil v koruně hráze, šířka ve dně 4,0 m a sklon svahů je 1:5. Hloubka profilu je 0,7 m. Do hloubky 0,4 m je prostor převádějící maximální průtok Q_{100} a 0,3 m je bezpečnostní převýšení vlastní hráze. Celková šířka je 11,0 m. Kóta dna přelivu je 300,50 m n. m. Zpevnění přelivu je tvořeno kamennou dlažbou tl. 0,3 m do betonového lože tl. 0,2 m. Na obou koncích přelivu je přechod mezi kamennou dlažbou a povrchem vozovky hráze proveden betonovými prahy 50/50 cm, aby nedošlo k porušení kamenného zpevnění. Stejně je zpevněn i přeliv, vývařiště pod hrází s přechodem do stávajícího toku je zpevněno kamennou rovnaninou tl. 0,5 m. Před výpustným zařízením je sedimentační prostor o rozměrech 5,0 m x 6,0 m x 0,5 m (obr. 7.8). Požerák je tvořen dvěma rourami umístěnými jako mezikruží kryté ocelovým plechem. Pootočením šoupěte se požerák uvede do provozního stavu vypouštění vody. Proti neoprávněné manipulaci je zabezpečen uzamykatelným zařízením [1].



Obr. 7.7 Pohled na hráz a bezpečnostní přeliv



Obr. 7.8 Celokovový požerák

7.2.2 Hydrologické poměry, max. a min. průtoky

Minimální průtok byl stanoven na hodnotu $0,0009 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Tento průtok nesmí být negativně ovlivněn provozem nádrže. Při poklesu hladiny, kdy nebude voda protékat nádrží přes požerák, bude stavítko lehce povytaženo. Tím se zajistí pod hrází minimální průtok [1].

Maximální průtok je $6,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Provozem nádrže se nepředpokládá negativní ovlivnění [1].

M – denní (tab. 7.1) a N – leté (tab. 7.2) průtoky byly stanoveny dle ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav) [1].

Tab. 7.1 Průtoky M – denní: Q_{md} (l/s)

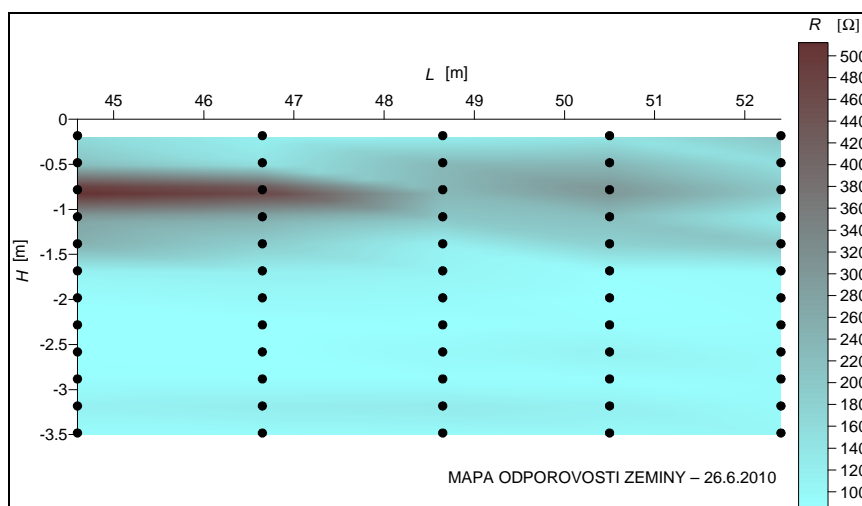
M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q_{md}	14,0	8,1	5,8	4,5	3,4	2,8	2,3	1,8	1,4	0,9	0,4	0,1	0

Tab. 7.2 Průtoky N – leté: Q_n ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

N	1	2	5	10	20	50	100
Q_n	0,5	0,9	1,8	2,6	3,6	5,2	6,7

7.2.3 Zemina

Zeminu hráze (Pařílková a kol., 2008) lze charakterizovat jako hlinitojílovitou a místy s příměsemi písku. Zemina byla použita místní z částí pravého i levého svahu údolí. Hráz je homogenní, přesto z hlediska fyzikálních vlastností není možno materiál považovat za totožný. Ve vyhodnocení měření na návodní straně hráze byla od profilu 3_4 v hloubce 0,8 m detekována výrazně nižší elektrická vodivost zeminy (obr. 7.9), která by indikovala nižší obsah vody v měřeném profilu. Vzorky zeminy odebrané při instalaci a samotný průběh instalace však domněnku nepotvrdily. Zemina hráze v uvedeném úseku vykazuje anomálie, které nesouvisí ani s obsahem vody v zemině, její ulehlostí či různou granulometrií apod. Při osobním pátrání o průběhu budování hráze jsem zjistila, že hráz v uvedeném úseku byla budovaná ze zeminy z pravého svahu údolí, kde je pravděpodobně vyšší obsah železitých příměsí, zatímco na výstavbu převažující části hráze byla použita zemina z lokality levého svahu údolí.



Obr. 7.9 Mapa odporovosti zeminy (Pařílková, 2010)

Při aplikaci geoelektrických měřicích metod je proto třeba vždy velmi pečlivě zvažovat všechny předpokládané a pravděpodobné vlivy, které mohou působit na sledovanou veličinu a měnit její numerickou hodnotu. Při monitorování, a zejména dlouhodobém, se zcela jistě přikláním k vyhodnocování změn měřené veličiny ve sledovaném bodě, a to za předpokladu, že sonda zůstává po celou dobu ve stejné pozici.



Obr. 7.10 Dno vypuštěné nádrže s rozdílnou barevností materiálu zeminy (Pařílková, 14.10.2006)

8 MĚŘICÍ METODA EIS

Elektrická impedanční spektrometrie (EIS) je nepřímá, impedanční elektromagnetická metoda. Měřicí metodou je možno sledovat změny obsahu vody, vlhkosti či jiných parametrů v zeminách.

Metoda EIS umožňuje zjistit rozložení elektrické impedance a dalších elektrických veličin, jako je rezistance, elektrická vodivost, rezistivita nebo konduktivita, reaktance, admittance, ve sledované oblasti. Rozložení je sledováno uvnitř objektu (homogenního i heterogenního), a tak pozoruje jeho vnitřní strukturu a případné změny.

Vzhledem k použitým elektrodám a způsobu jejich umístění do sledovaného objektu je možno použít metodu nedestruktivní (sondy zůstávají ve sledovaném objektu nastálo) invazivní (naruší zájmovou oblast) a neinvazivní (nenaruší zájmovou oblast) (Pařílková, 2008). EIS je využívána při měření vlastností organických i anorganických látek. Je to velmi citlivý nástroj pro sledování změn probíhajících v objektech zemních hrází při jejich zatížení vodou, v kanalizačních systémech při transportu vod se sedimenty, ve vlhkém zdivu při jeho vysoušení, dokumentování procesu vysoušení dřevěných stavebních prvků.

8.1 ELEKTRICKÁ IMPEDANCE

Elektrická impedance je veličina, která obsahuje reálnou a imaginární složku. Popisuje zdánlivý elektrický odpor pórovitého prostředí a fázový posuv elektrického napětí proti elektrickému proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu určité frekvence. Stejně jako elektrický odpor charakterizuje vlastnosti zeminy pro stejnosměrný proud, elektrická impedance charakterizuje vlastnosti zeminy pro střídavý proud. Elektrická impedance je základní veličinou, kterou je třeba znát pro analýzu střídavých elektrických obvodů. Za střídavý signál se považuje každý signál (harmonický, trojúhelníkový, pilový, obdélníkový, impulsní apod.), jehož směr se periodicky střídá (Pařílková, 2011), (Novák, 2012).

Elektrickou impedanci lze vyjádřit Ohmovým vztahem (1). George Simon Ohm – německý fyzik, který v roce 1825 formuloval pro stejnosměrné obvody vztah mezi elektrickým odporem, elektrickým proudem a elektrickým napětím. Elektrická impedance se uvádí v jednotce ohm [Ω]. Pro střídavé obvody se Z stanoví poměrem fázoru elektrického napětí U a fázoru elektrického proudu I (Brančík, 2004)

$$Z = \frac{U}{I}. \quad (1)$$

Kmitočtovou charakteristiku elektrické impedance Z lze vyjádřit ve tvaru

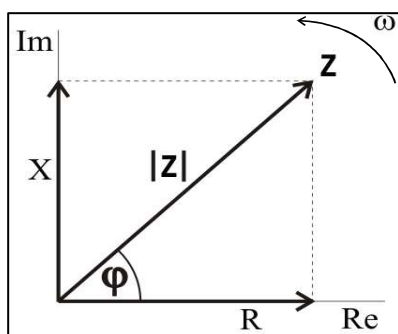
$$Z(j\omega) = R + j\omega X, \quad (2)$$

kde

R [Ω] je elektrický odpor (rezistance) představující reálnou část elektrické impedance nezávislou na kmitočtu,

$X [\Omega]$ je reaktance, imaginární složka impedance, její velikost se mění s kmitočtem, ω [rad/s] je úhlová rychlost.

Fázor elektrické impedance \mathbf{Z} (obr. 8.1) (Pařílková, 2007) je charakterizován



Obr. 8.1 Grafické vyjádření fázoru elektrické impedance (Pařílková, 2011)

modulem elektrické impedance $|Z|$ vyjádřeným vztahem (3) a φ fázovým posunem stanoveným vztahem (4) (Pařílková, 2011)

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (3)$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{X}{R}\right). \quad (4)$$

Ze vztahu (2) vyplývá, že elektrická impedance je vždy větší nebo rovna reálnému elektrickému odporu R v obvodu a závisí na zdánlivých odporech – induktanci X_L a kapacitanci X_C jednotlivých prvků obvodu střídavého proudu (Pařílková, 2011), (Novák, 2012).

Pórovité zemní prostředí lze popsat elektrickou impedancí ekvivalentního elektrického obvodu tvořeného kombinací rezistoru R , induktoru L a kapacitoru C . Lze je zapojit v obvodu střídavého proudu, a to sériově (pro všechny prvky obvodu je společný fázor proudu) nebo paralelně (pro všechny prvky obvodu je společný fázor napětí). Paralelní zapojení pro měření v zeminách je vhodnější (Pařílková, 2011).

Jak bylo uvedeno, z měřené reálné a imaginární složky elektrické impedance \mathbf{Z} je možno vyjádřit elektrickou vodivost (konduktance) G [S] (5), konduktivitu (měrná elektrická vodivost) σ [$S \cdot m^{-1}$] (7), rezistivitu (měrný elektrický odpor) ρ [$\Omega \cdot m$] (6) a admitanci \mathbf{Y} (8)

$$G = \frac{1}{R}. \quad (5)$$

Rezistivita ρ se stanoví pomocí rezistance R , plochy A a délky l elektrického vodiče (6). Rezistivita je materiálová konstanta, která popisuje elektrickou vodivost vodiče (zeminy, vody).

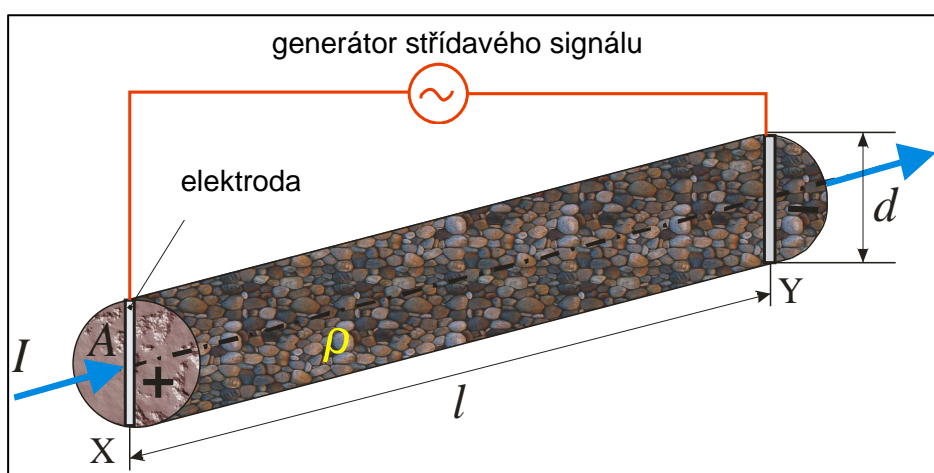
$$\rho = R \cdot \frac{A}{l}. \quad (6)$$

Inverzní hodnotou měrného elektrického odporu je konduktivita σ [$\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$] (7).
Konduktivita vyjadřuje schopnost prostředí vést elektrický proud

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (7)$$

Admittance Y (8) je inverzní hodnotou elektrické impedance

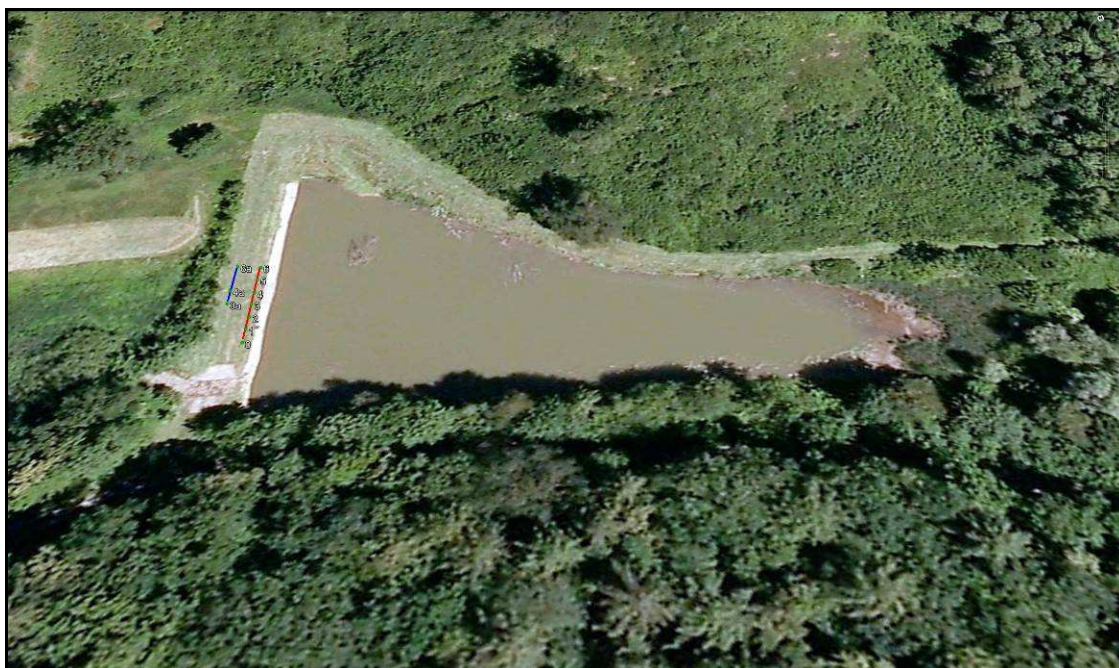
$$Y = \frac{1}{|Z|} \quad (8)$$



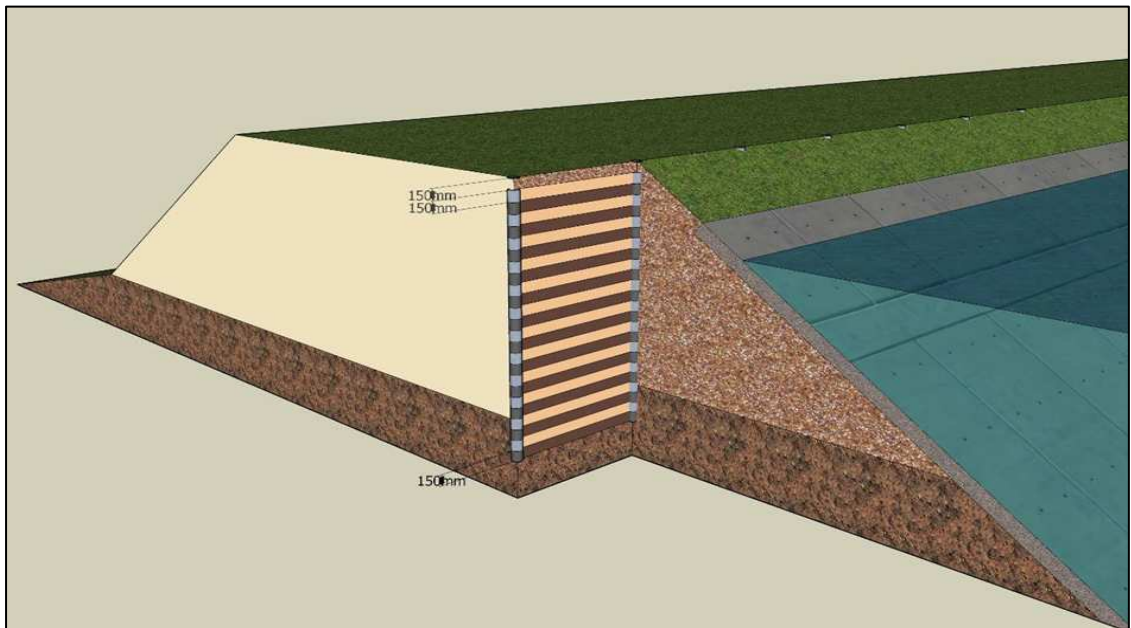
Obr. 8.2 Prostředí mezi elektrodami jako vodič elektrického proudu

9 UMÍSTĚNÍ MĚŘICÍCH SOND – MONITOROVÁNÍ

Monitorování hráze bylo zahájeno v srpnu roku 2006 (Pařílková, 2006) na základě poptávky majitele vodního díla, kterého k uvedenému kroku vedlo podezření průsaku vody hrází na základě indicií pozorovaných na vzdušné straně. V koruně hráze na hraně návodního líce a komunikace bylo v roce 2006 zabudováno 7 tyčových sond a na každé bylo osazeno 12 elektrod. Na vzdušnou stranu hráze byly sondy osazeny 11. 6. 2009, a to na základě výsledků dosažených monitorováním metodou EIS podpořenou zjištěním metodou GEM (Pařílková, 2009). Tyče jednotlivých sond byly konstruovány identicky, označeny jako 3a, 4a, 6a (obr. 9.1) a dle možností byly umístěny tak, aby bylo možno měřit i příčné profily. Sondy jsou dělené tj. střídá se pravidelně snímač a izolační distanční prvek, vzdáleny jsou od sebe 2,0 m. Značení měřených profilů je 0_1 až 5_6 (obr. 9.1). Dvě elektrody ve vzdálenosti $l = 2,0$ m vytváří měřicí snímač a 12 snímačů umístěných ve stejných vzdálenostech nad sebou představuje měřicí tzv. párovou sondu. U snímačů je délka elektrody $d = 0,15$ m, oddělující izolační část je stejné délky. Měřicí sonda má 12 snímačů tj. 12 monitorovaných úrovní. Celková délka tyčové párové sondy je 3,5 m a elektrody jsou provedeny z trubic z nerezavějící oceli. Poněvadž sonda neobsahuje žádný aktivní prvek (generátor signálu, napěťový zdroj apod.), jedná se o sondu pasivní. Hráz je vysoká 3,2 m. Vzhledem k délce sondy a výšce hráze je monitorování realizováno i v jejím podloží. Sondy jsou zabudovány 0,15 m pod terémem koruny hráze (obr. 9.2). Nejsou viditelné na koruně ani na návodním líci. Přesto v roce 2011 byla tyč č. 1 poničena a dále nepoužitelná.



Obr. 9.1 Letecký pohled, měřená místa (Pařílková,2007)



Obr. 9.2 Vertikální dělení sondy (Pařílková,2007)

Pro sledování pohybu hladiny podzemní vody a vlivu infiltrované vody do zeminy změnou elektrické vodivosti byl použit dvousvorkový způsob zapojení měřicích elektrod. Elektrody byly do zeminy instalovány manuálně (obr. 9.3), bylo zapotřebí speciálních postupů a technických prvků. Tato instalace je více fyzicky namáhavá, ale v homogenních zemních hrázích je cca do hloubky 5,0 m možná. Vnější průměr měřicí elektrody je 0,025 m a otvor pro umístění nesmí být větší než 0,027 m, protože je třeba dodržet podmínku styku vnějšího obvodu stěny měřicí elektrody s obklopující zeminou z důvodu vyloučení vlivu parazitních odporů. Průměr elektrody byl volen tak, aby nedošlo k velkému zásahu do tělesa hráze vodní nádrže (Pařílková, 2008).

Monitorování hráze probíhá jednou měsíčně. Používá se přístroj Z-metr II, který je určen pro měření v laboratoři i v reálném prostředí. Byl realizován firmou HAAL Elektro, s.r.o. V tabulce (tab. 9.1) jsou uvedeny základní parametry přístroje. Z-metr (obr. 9.4) je ovládán z PC, který vykonává funkci inteligentní konzoly sloužící k vizuálnímu kontaktu obsluhy s měřicím systémem. Hlavním úkolem PC je měření, ale také nastavení typu experimentu (kmitočtová charakteristika, měření na jednom kmitočtu), zapojení sond (dvou nebo čtyř – svorkové zapojení) a nastavení parametrů experimentu (kmitočet měřicího signálu nebo kmitočtový rozsah měření, krok nárůstu kmitočtu, úroveň budicího signálu, archivace výsledků, kontrolu základních funkcí měřiče elektrické impedance a spuštění experimentu). Během měření přijímá data z měřiče a dále je archivuje. Data je následně možno zpracovávat např. v MS EXCEL či Surfer. K přenesení dat mezi Z-metrem II a PC se používá rychlé komunikační rozhraní Universal Serial Bus (USB). (Pařílková,2013).

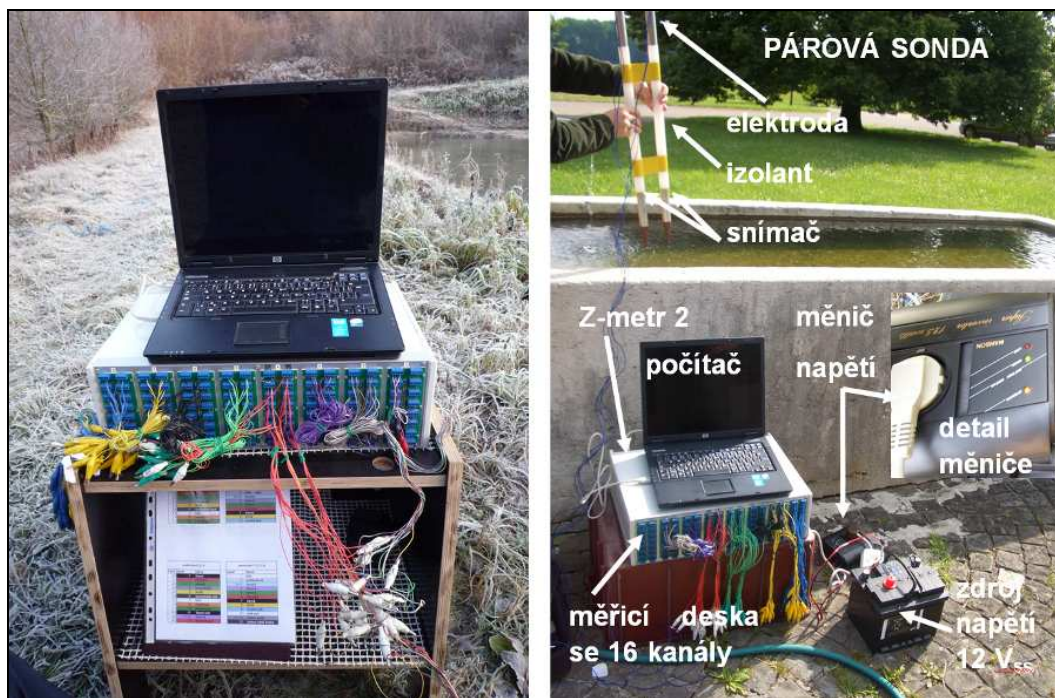
Z metod pro měření elektrické impedance je zvolena metoda tří voltmetrů. Metoda je srovnávací, tedy měřená elektrická impedance se porovnává s úbytkem napětí na normálovém elektrickém odporu (Pařílková, 2007).



Obr. 9.3 Instalace sond (Pařílková,2008)

Tab. 9.1 Parametry přístroje Z – metr 2 (Pařílková, 2007)

Parametry	Z-metr II
rozsah impedance	10 Ω - 1 Ω M
kmitočtový rozsah	100 Hz – 20 kHz
přesnost modulu impedance	+/- 2 % z rozsahu
přesnost fáze	+/- 2°
úroveň měřícího napětí	500 mV - 5 V s krokem 500 mV
komunikace pc sběrnicí	USB (COM port)
integrováný el. přepínač	128 měřicích míst po 4 elektrodách



Obr. 9.4 Použitá měřicí aparatura (PC, Z-metr 2, napájecí zdroj, měnič napětí), (Pařílková, 2007)

Programové vybavení přístroje Z-metr2 je tvořeno dvěma programovými bloky, a to obslužným programem pro ovládání přístroje pomocí nadřazeného osobního počítače, Z-Scan a programem zabudovaného signálového procesoru.

Programový blok Z-Scan (Pařílková, 2007) pracuje s podporou operačních systémů Windows 98 a vyšších. Tvoří jej samostatné moduly (záložky) umožňující nastavení přístroje, zobrazení měřených veličin, diagnostiku mezivýsledků, archivaci a přípravu výsledků pro zobrazení v programu MS EXCEL. Použitý programový blok je označen Z-Scan v.1.6, kde v.1.6 značí číslo vývojové verze. Níže je uveden popis aktuálních modulů uživatelského rozhraní programového bloku Z-Scan.

Modul SERVICE

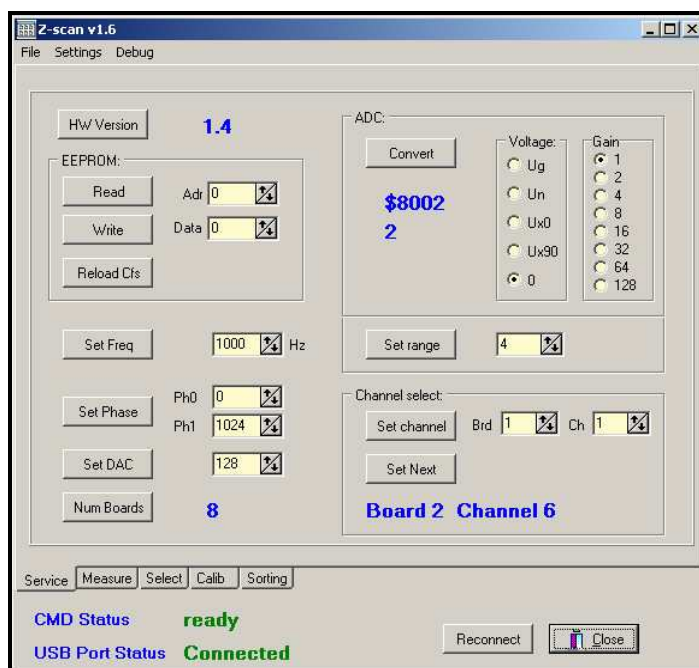
Zde je možné pomocí PC nastavit parametry Z-metru 2 pro měření na zvoleném kanálu (obr. 9.5).

Modul MEASURE

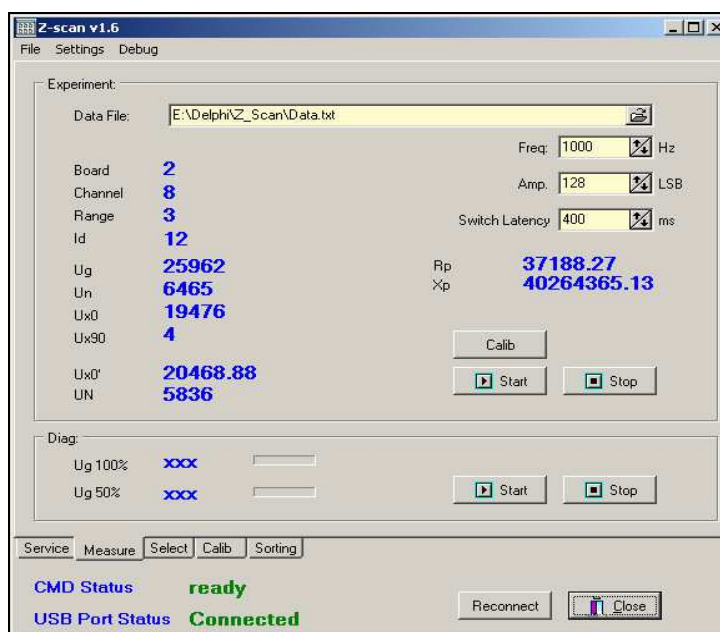
V tomto modulu se zadávají parametry měření a zobrazují se naměřené hodnoty vlastního experimentu na zvolených kanálech (obr. 9.6).

Parametry

- *Data File* zvolí umístění a název souboru, do kterého jsou ukládána naměřená data,
- *Freq* nastavení frekvence měřicího napětí,
- *Amp* nastavení amplitudy měřicího napětí,
- *Switch Latency* nastavení prodlevy mezi přepnutím měřicího kanálu a sejmutím naměřené hodnoty (nutné pro ustálení přechodových dějů na měřicí trase).



Obr 9.5 Diagnostické okno pro testování základních modulů přístroje



Obr. 9.6 Uživatelské okno měření

Měřené hodnoty

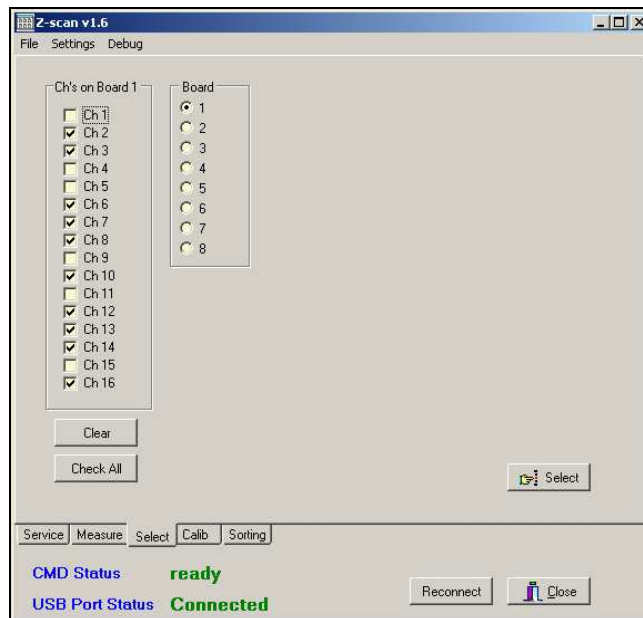
- **Board** číslo aktuálně měřené desky,
- **Channel** číslo aktuálně měřeného kanálu v rámci desky,
- **Range** aktuálně použitý rozsah (volí se automaticky),
- **Id** jedinečný identifikátor provedení měření,
- **Ug** hodnota měřicího napětí,
- **Un** hodnota napětí na normálovém rezistoru,
- **Ux0** hodnota měřeného napětí (soufázová složka),
- **Ux90** hodnota měřeného napětí (fáze složky posunuta o 90°),
- **Ux0'** přepočítaná hodnota napětí na měřené elektrické impedanci,

- **UN** přepočítaná hodnota napětí na normálovém rezistoru,
- **R_p** výsledná hodnota reálné části měřené elektrické impedance (rezistor paralelní kombinace),
- **X_p** výsledná hodnota imaginární části měřené impedance (reaktance paralelní kombinace).

Měření se spouští tlačítkem Start a zastavuje se tlačítkem Stop.

Modul SELECT

Pokud měření je připojeno na některé kanály nebo je potřeba měřit pouze na vybraných kanálech, zde je možné vybrat aktivní kanály na jednotlivých deskách zatržením čísla desky a voleného kanálu. Vybrané kombinace se potvrdí tlačítkem Select.

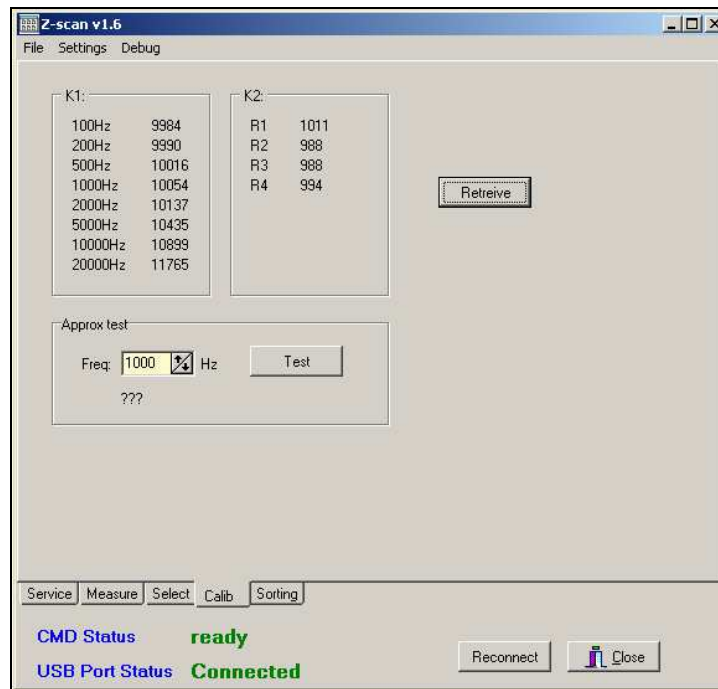


Obr. 9.7 Uživatelské okno výběru

Modul CALIB

Pro zvýšení přesnosti měření jsou kalibrovány normálové odpory a kompenzována frekvenční závislost měřicí trasy (obr. 9.8).

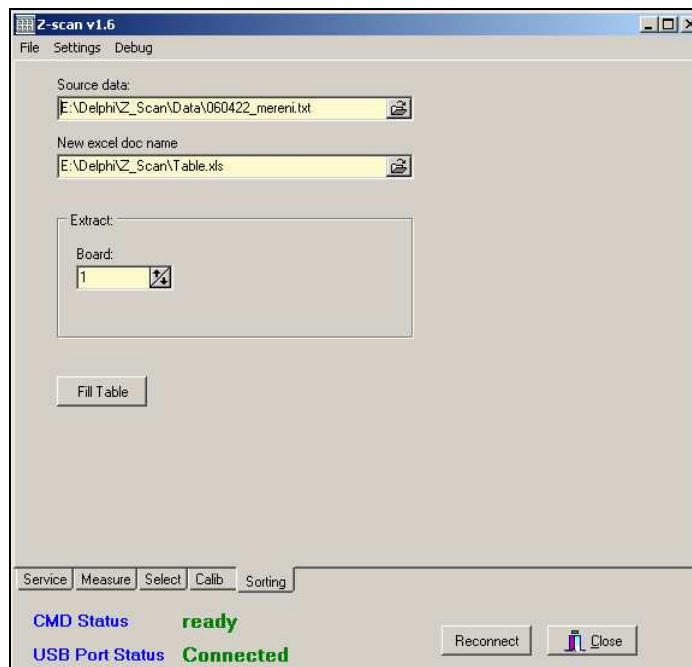
Před spuštěním experimentu je třeba kalibrační konstanty načíst, aby byly zahrnuty do výpočtu elektrických impedancí. To lze provést v uvedeném modulu tlačítkem „Retrieve“ nebo tlačítkem „Calib“ přímo na panelu „Measure“.



Obr. 9.8 Uživatelské okno kalibrace

Modul SORTING

V modulu Sorting je nástroj pro export do sešitu MS EXCEL. Z každé zvolené desky se exportuje každý vstup (1-16) vybrané desky (Board) do samostatného sešitu.



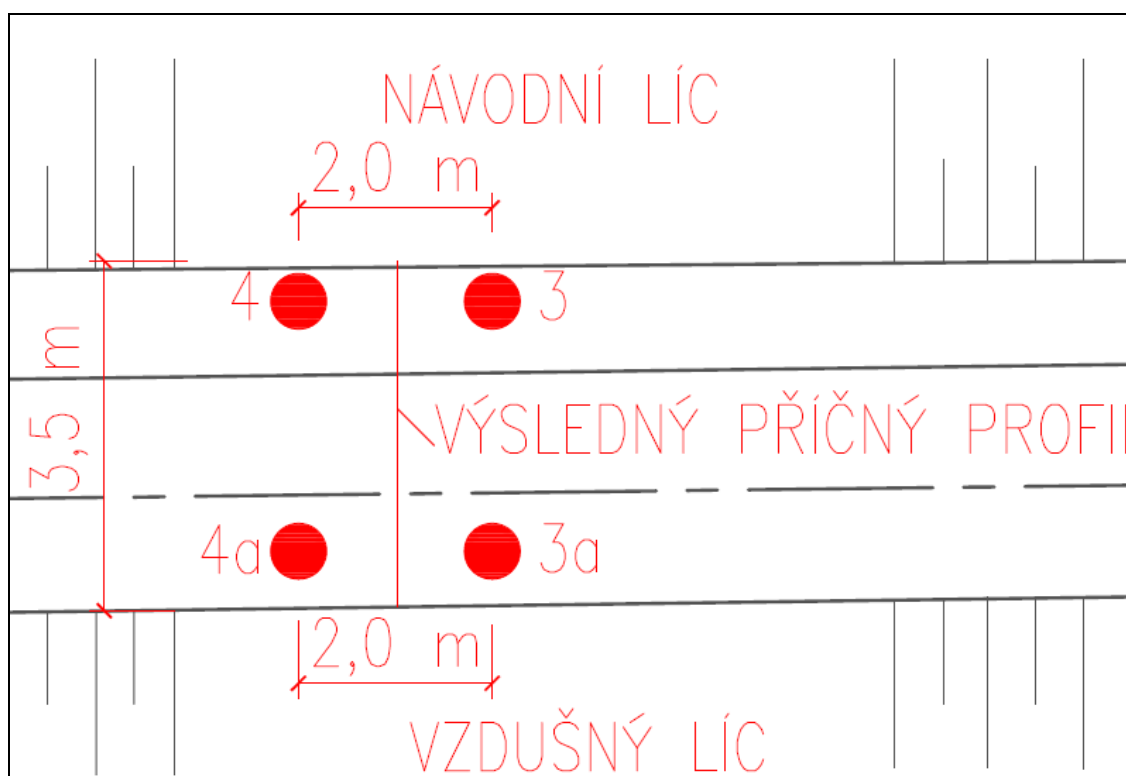
Obr. 9.9 Uživatelské okno pro export naměřených dat

10 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Na malé vodní nádrži Bezedník III je na návodním líci hráze instalováno 7 tyčových elektrod. Tři tyčové elektrody jsou instalovány na vzdušné straně hráze (obr. 9.1).

Elektrody 3a, 4a a 6a na vzdušné straně se nachází v protilehlé úrovni elektrod 3, 4 a 6 z návodní strany.

Vyhodnocení měřené změny elektrické vodivosti zeminy G v pozorovaném profilu je provedeno vždy ve virtuálním bodě. Virtuální bod se nacházel uprostřed vertikálně a horizontálně děleného měřeného profilu. Ke znázornění měřených profilů a virtuálního bodu jsem vybrala sondu 3_4 a k ní protilehlou sondu 3a_4a (obr. 10.1).



Obr. 10.1 Detail umístění sond

Měření probíhalo pravidelně jedenkrát měsíčně v období od března 2012 do března 2013. V lednu a únoru 2012 měření nebylo provedeno z důvodu nepřízně počasí. Vzhledem k vysoké pokrývce sněhu byla znepřístupněna příjezdová cesta k nádrži, rovněž k velké námraze hrozilo polámání větví stromů.

Vyhodnoceny byly změny elektrické vodivosti zeminy G a reaktance X ve sledovaných profilech, teplota vzduchu, doba měření a úroveň hladiny vody v nádrži.

10.1 VYHODNOCENÍ DAT

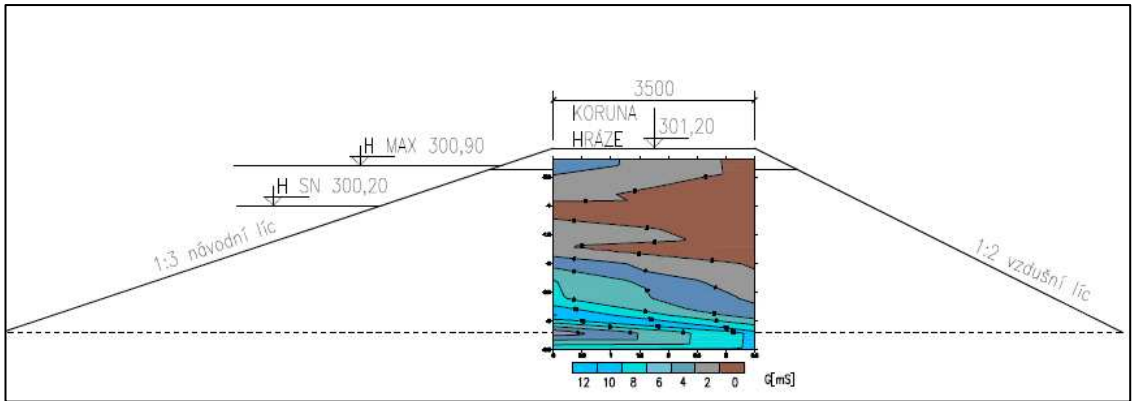
Při měření jsou data ukládána v textovém formátu. Pro označení textového souboru jsem zvolila vždy číslo měřeného profilu. Opakování měření probíhá cyklicky tak, že jsou postupně odečteny hodnoty ve všech výškových úrovních h_x , a to postupně od úrovně 3,5 m až do 0,2 m a následně se cyklus ve stejném pořadí opakuje. Počet opakování měření každým snímačem byl vždy nejméně 10. Měřicí kmitočet byl $f = 8000$ Hz s časovou prodlevou mezi přepínáním jednotlivých snímačů 200 ms. Uvedené parametry vyplynuly pro zeminu na sledované lokalitě jako nejvhodnější na základě provedených laboratorních experimentů (Pařílková, 2007). Hodnota elektrické impedance, se kterou se dále pracovalo, byla stanovena aritmetickým průměrem. Průměrné hodnoty měřených elektrických veličin R_x a X_x (tab. 10.1, 10.2) byly pro patřičnou měřenou úroveň zaznamenány tabulkovým procesorem, v němž byly rovněž vyjádřeny další elektrické veličiny. Vzhledem k požadavku vymezení anomálních oblastí homogenní zemní hráze jsem pro vyhodnocení změn obsahu vody v měřených profilech zvolila vyhodnocení pomocí absolutních hodnot. Vyhodnocení změn konsolidace zeminy, případně její granulometrie je možné sledovat pomocí změn imaginární složky elektrické impedance, tj. reaktance X_x . Pro obrazové vyhodnocení jsem zvolila zpracování programovým prostředkem Surfer 8, v němž jsem vytvořila mapy elektrické vodivosti $G = 1/R$ (zobrazeny jsou výsledky zjištěné v příčném profilu ve vzdálenosti 49,575 m od přístupové lesní cesty) a mapy reaktance X_x . Mapy jsem následně zanesla do programového prostředí AutoCad 2010, v němž jsem si nachystala schéma příčného profilu hráze (obr. 10.2 až obr. 10.14). Postup zpracování dat je znázorněn v příloze č. 1.

Tab. 10.1 Tabulka výpočtů měřených veličin 3_3a

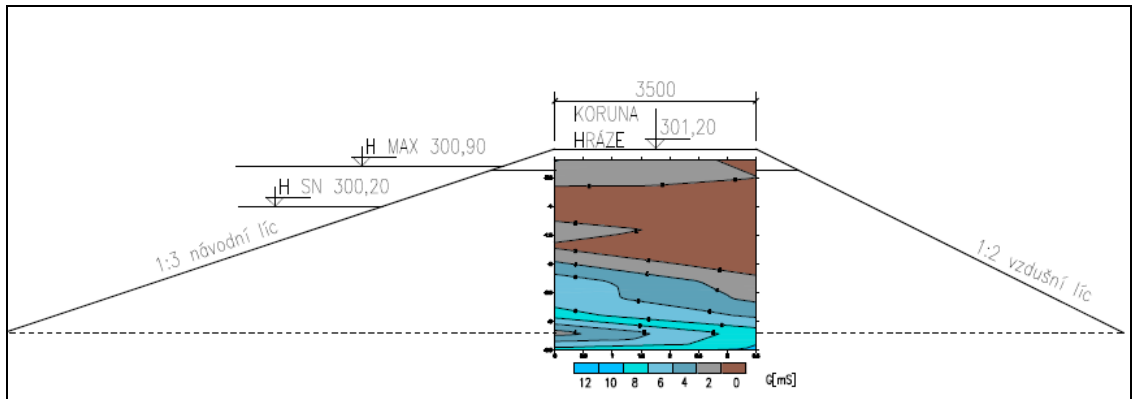
25.5.2012		el.odpor	reaktance	el. Vodivost	el. Impedance	fázový posun	admitance	plocha	delká	rezistivita	konduktivita
board 4	h_x	R_x [Ω]	$ X_x $ [Ω]	G [$\cdot 10^{-3}$ S]	$ Z $ [Ω]	φ [rad]	Y [$\cdot 10^{-3}$ S]	A [m ²]	L [m]	ρ [Ω·m]	σ [S·m ⁻¹]
channel		3_3a									
4_1	3.5	108	558	9.255	568.817	1.380	0.002	0.018	2.000	0.972	1.028
4_2	3.2	553	1035	1.808	1173.870	1.080	0.001	0.018	2.000	4.977	0.201
4_13	2.9	297	871	3.371	919.704	1.242	0.001	0.018	2.000	2.670	0.375
4_4	2.6	177	895	5.639	912.321	1.375	0.001	0.018	2.000	1.596	0.627
4_5	2.3	204	863	4.908	886.805	1.339	0.001	0.018	2.000	1.834	0.545
4_6	2.0	316	1031	3.164	1078.803	1.273	0.001	0.018	2.000	2.845	0.352
4_7	1.7	479	1308	2.090	1392.996	1.220	0.001	0.018	2.000	4.307	0.232
4_8	1.4	684	1508	1.463	1655.277	1.145	0.001	0.018	2.000	6.152	0.163
4_9	1.1	684	1415	1.463	1571.715	1.121	0.001	0.018	2.000	6.152	0.163
4_10	0.8	783	1747	1.277	1914.497	1.149	0.001	0.018	2.000	7.050	0.142
4_14	0.5	355	1646	2.815	1684.394	1.358	0.001	0.018	2.000	3.198	0.313
4_12	0.2	2146	1486	0.466	2610.046	0.606	0.000	0.018	2.000	19.313	0.052

Tab. 10.2 Tabulka výpočtů měřených veličin 4_4a

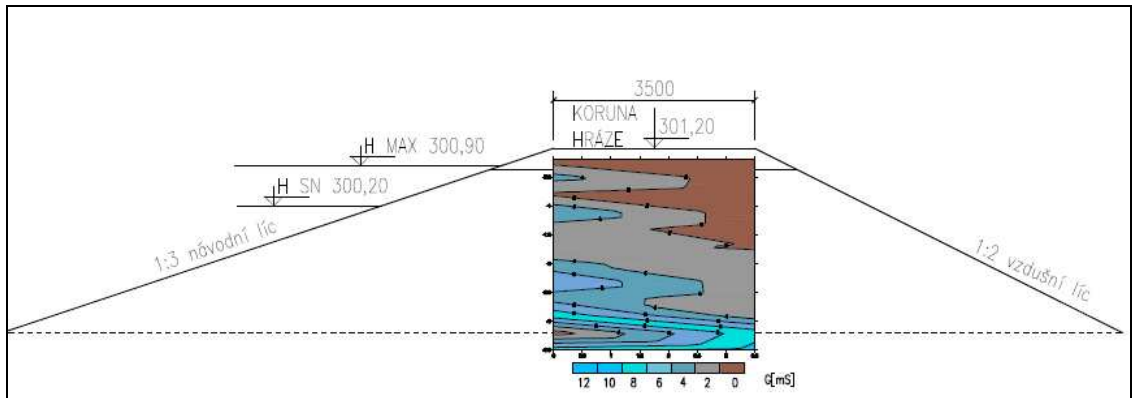
25.5.2012		el.odpor	reaktance	el. Vodivost	el. Impedance	fázový posun	admitance	plocha	delká	rezistivita	konduktivita
board 4	h_x	R_x [Ω]	$ X_x $ [Ω]	G [$\cdot 10^{-3}$ S]	$ Z $ [Ω]	φ [rad]	Y [$\cdot 10^{-3}$ S]	A [m ²]	L [m]	ρ [Ω·m]	σ [S·m ⁻¹]
channel		4_4a									
4_1	3.5	96	545	10.428	553.633	1.397	0.002	0.018	2.000	0.863	1.159
4_2	3.2	424	1505	2.358	1563.689	1.296	0.001	0.018	2.000	3.816	0.262
4_13	2.9	134	818	7.481	828.449	1.409	0.001	0.018	2.000	1.203	0.831
4_4	2.6	485	1044	2.060	1151.313	1.136	0.001	0.018	2.000	4.368	0.229
4_5	2.3	297	1530	3.368	1558.114	1.379	0.001	0.018	2.000	2.672	0.374
4_6	2.0	358	1885	2.794	1919.013	1.383	0.001	0.018	2.000	3.222	0.310
4_7	1.7	507	1185	1.974	1288.714	1.167	0.001	0.018	2.000	4.560	0.219
4_8	1.4	581	1273	1.720	1399.381	1.142	0.001	0.018	2.000	5.233	0.191
4_9	1.1	581	1324	1.720	1446.034	1.157	0.001	0.018	2.000	5.233	0.191
4_10	0.8	1780	2599	0.562	3150.031	0.970	0.000	0.018	2.000	16.019	0.062
4_14	0.5	643	1283	1.556	1435.036	1.106	0.001	0.018	2.000	5.786	0.173
4_12	0.2	478	1289	2.092	1374.778	1.216	0.001	0.018	2.000	4.302	0.232



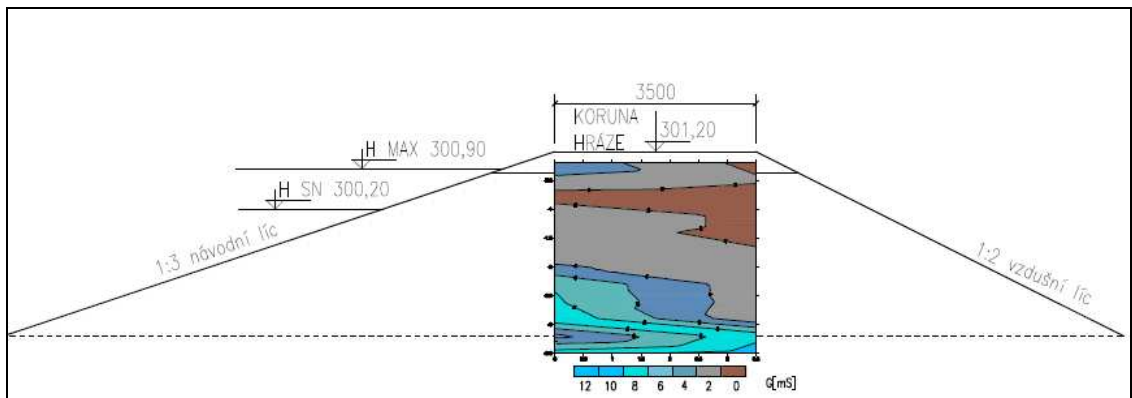
Obr. 10.2 Elektrická vodivost 17.3.2012



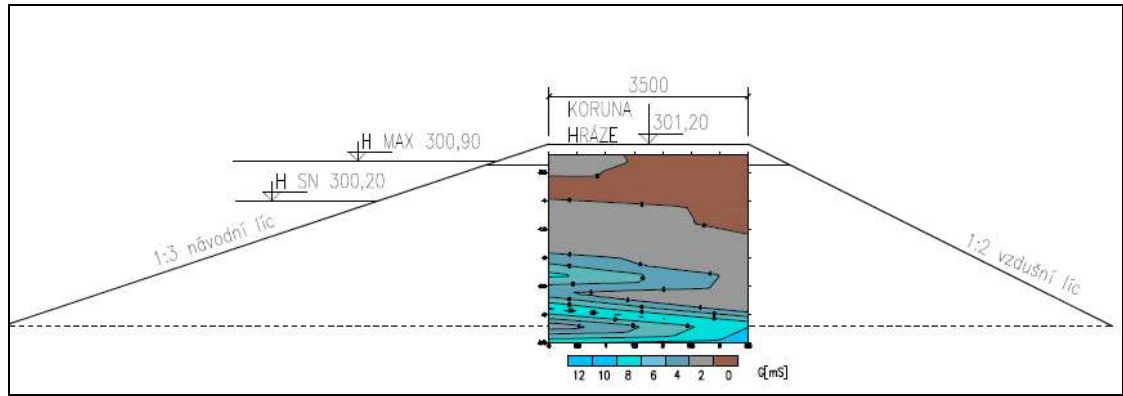
Obr. 10.3 Elektrická vodivost 26.4.2012



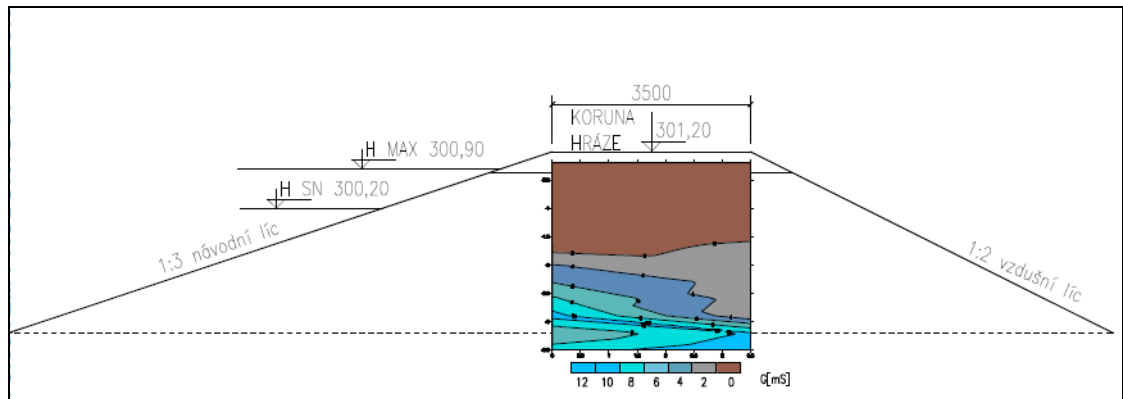
Obr. 10.4 Elektrická vodivost 25.5.2012



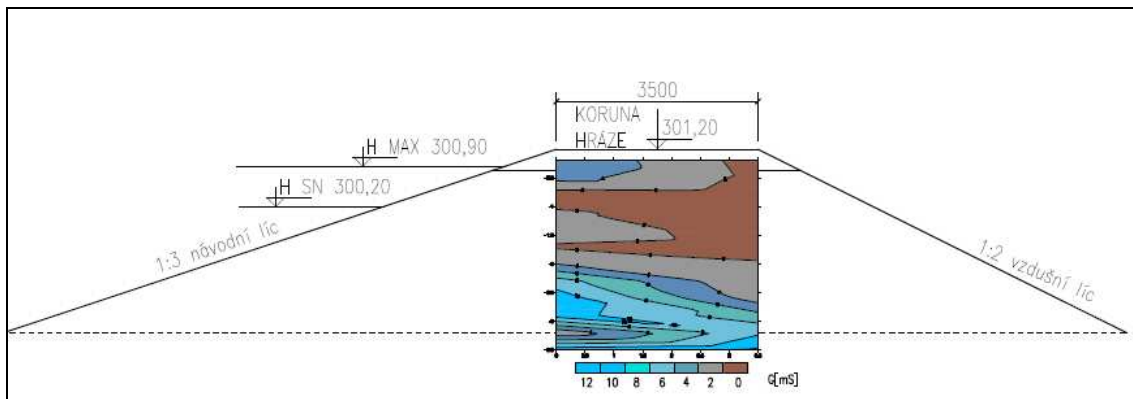
Obr. 10.5 Elektrická vodivost 20.6.2012



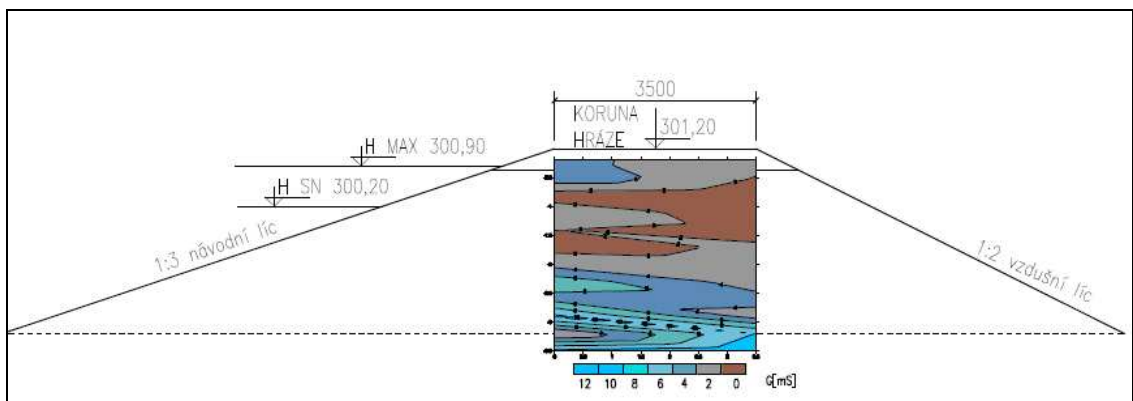
Obr. 10.6 Elektrická vodivost 18.7.2012



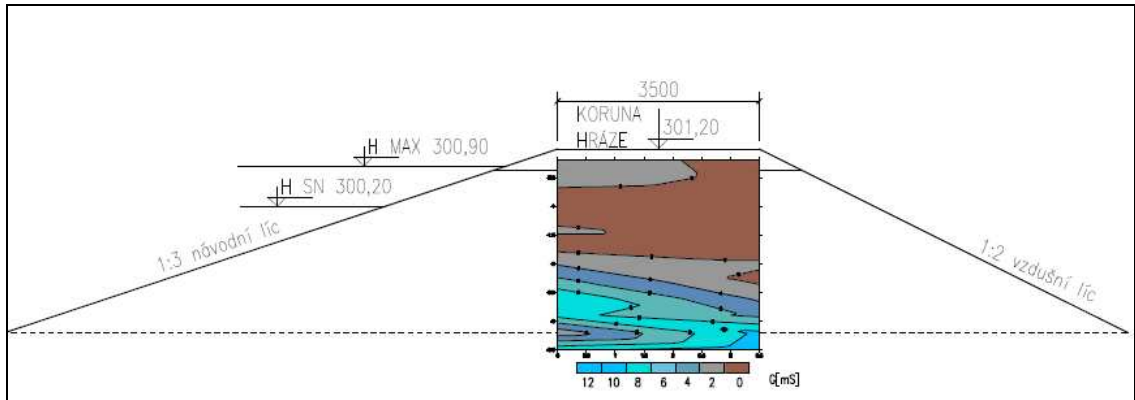
Obr. 10.7 Elektrická vodivost 21.8.2012



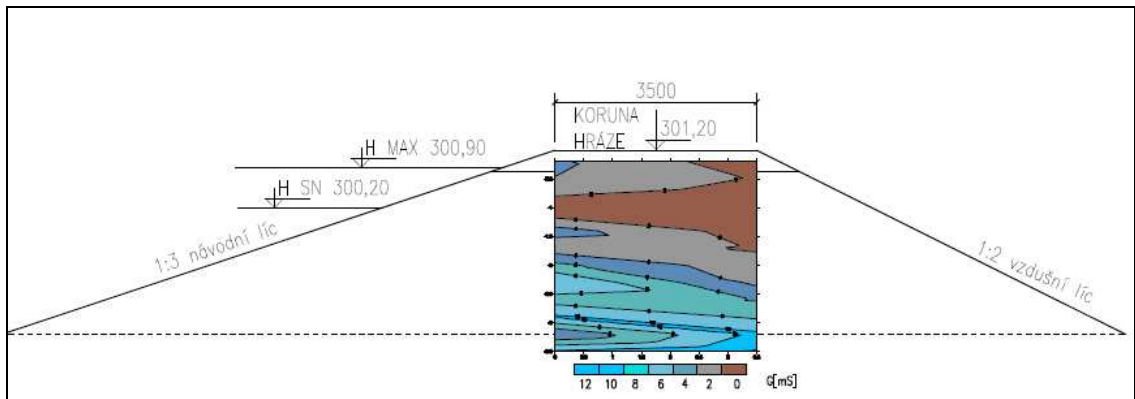
Obr. 10.8 Elektrická vodivost 16.9.2012



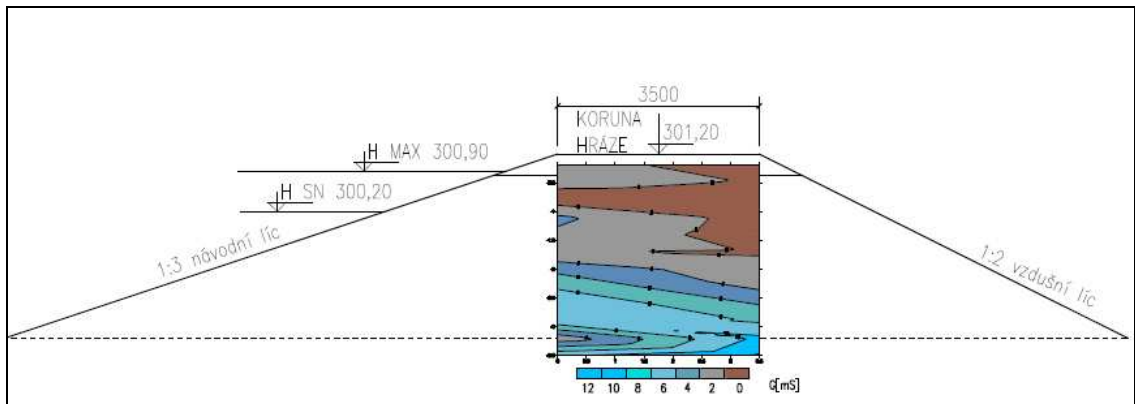
Obr. 10.9 Elektrická vodivost 29.10.2012



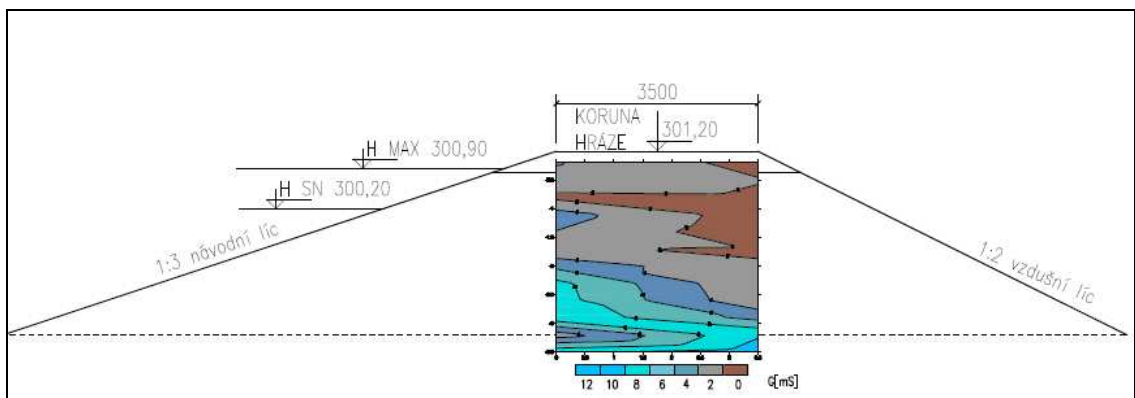
Obr. 10.10 Elektrická vodivost 21.11.2012



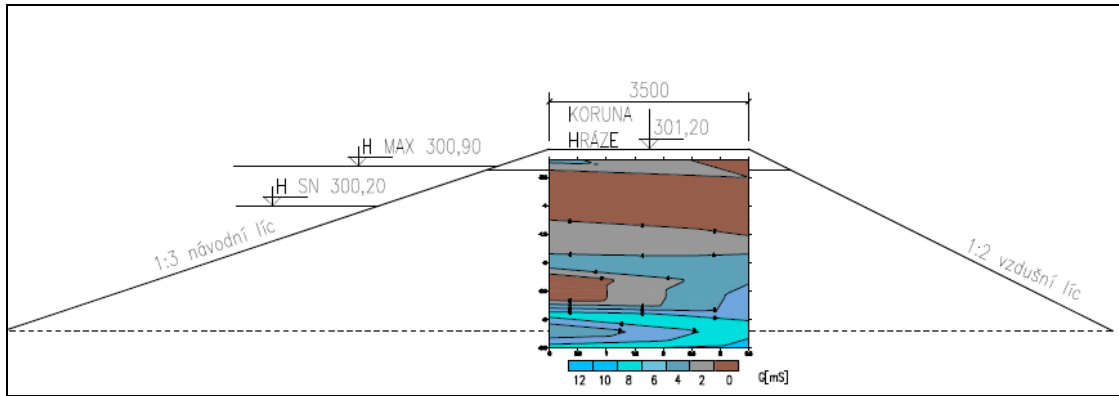
Obr. 10.11 Elektrická vodivost 21.12.2012



Obr. 10.12 Elektrická vodivost 2.1.2013



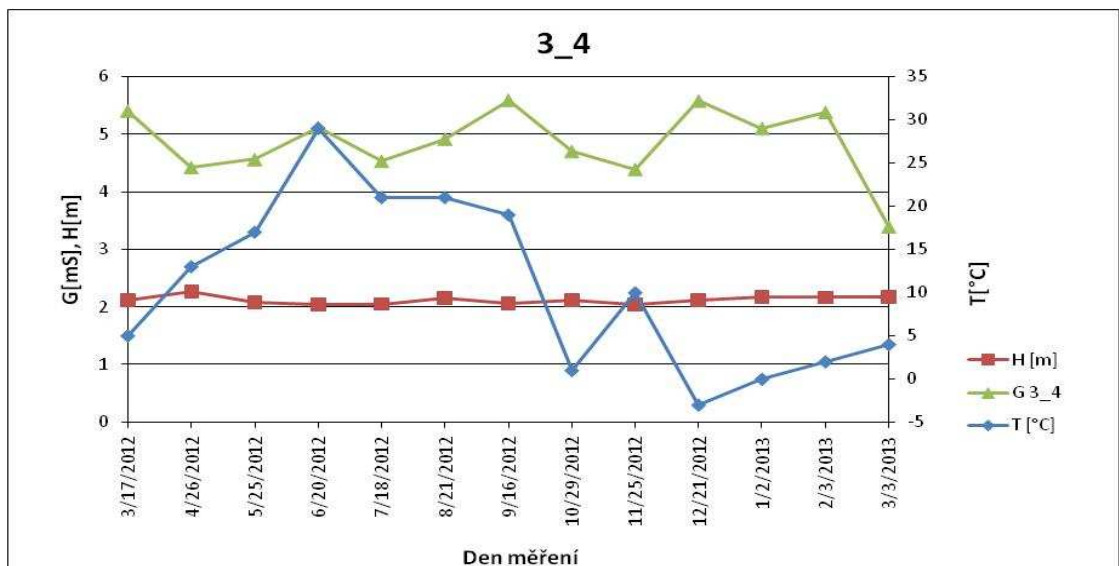
Obr. 10.13 Elektrická vodivost 3.2.2013

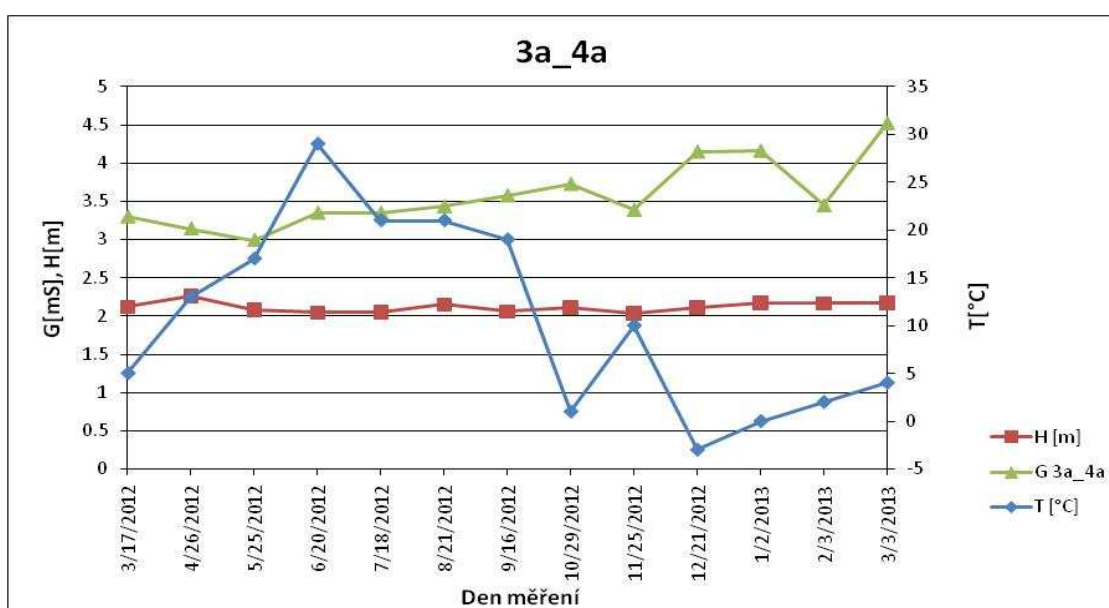
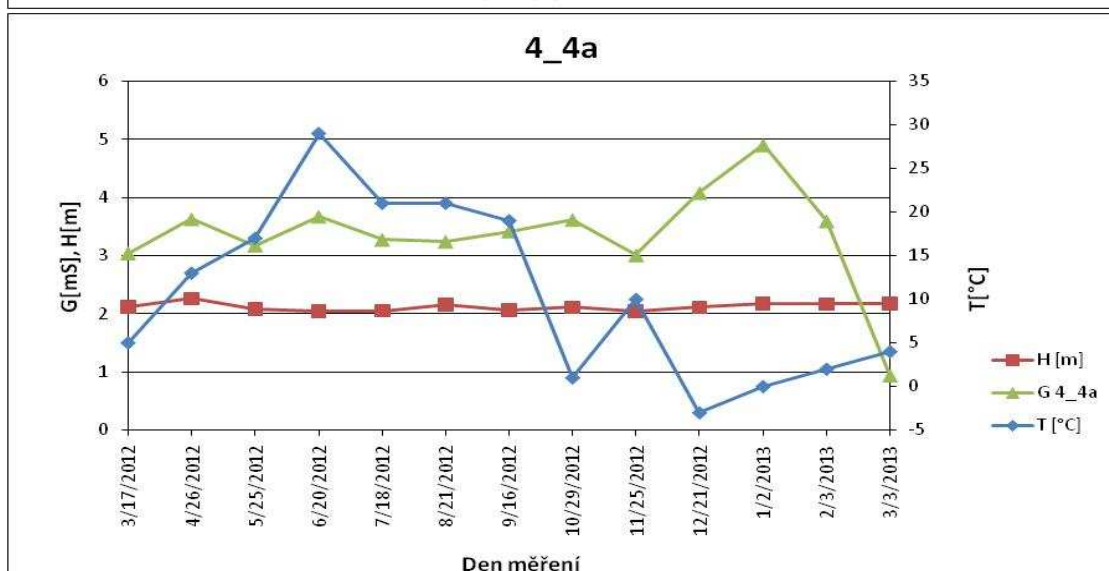
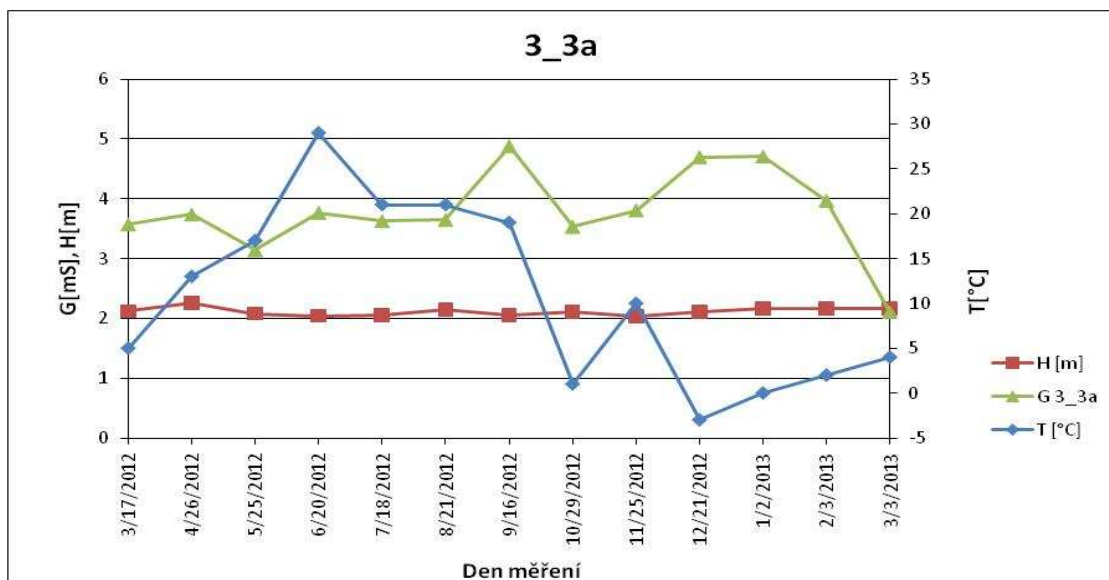


Obr. 10.14 Elektrická vodivost 3.3.2013

Na obrázcích 10.2 až 10.14 je znázorněna mapa elektrické vodivosti zjištěná v den měření v každém měsíci. Podle stupnice elektrické vodivosti G [mS] uvedené u každého obrázku z důvodu srovnatelnosti výsledků měření vždy ve stejném rozsahu, lze vymezit oblasti s anomáliemi. Z fyzikální podstaty měřicí metody vyplývá, že hodnota elektrické vodivosti se mění dominantně s obsahem vody v měřeném profilu a dále s obsahem rozpuštěných solí. Lze proto konstatovat, že s rostoucí hodnotou elektrické vodivosti stoupá obsah vody v zemině. Největší obsah vody je ve spodní části zemní hráze a především v jejím podloží. Může to vést k tomu, že by se na vzdušné straně hráze mohla vytvořit víronová plocha a poškodit tak těleso hráze.

Během celého období mého měření jsem pozorovala i souvislost teploty vzduchu s hodnotou elektrické vodivosti, avšak zjištění nejsou jednoznačná. Výsledky se výrazněji promítají pouze v obdobích, kdy jsou vysoké teploty vzduchu a může tak v zemině dojít ke kumulaci vodní páry nebo naopak při teplotách pod bodem mrazu, kdy se v zemině mohou vytvářet ledové krystaly a zemina se stává špatným vodičem elektrického proudu. Hodnoty elektrické vodivosti, teploty a také výšku hladiny jsem znázornila do grafů (obr. 10.15). Tyto hodnoty jsem vyhodnotila ve dvou příčných profilech 3_3a a 4_4a, návodní líc 3_4 a vzdušný líc 3a_4a (obr. 10.1). Na návodním líci hráze v profilu 3_4 je třeba zvážit i vliv větru a výběh vln. Na vzdušném líci se bude vlivem větru a slunečního svitu více projevovat spíše vysoušení tělesa hráze. Je to znát i dle obrázků (10.5 až 10.7) kdy v letních měsících byly teploty maximální. Hráz byla suchá a tím poklesla i hodnota elektrické vodivosti.



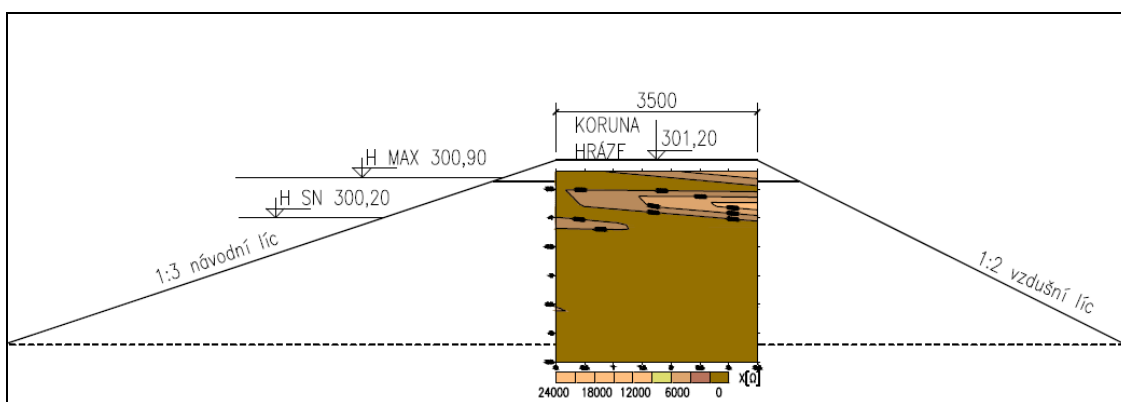


Obr. 10.15 Teplota vzduchu, hloubka vody a elektrická vodivost G

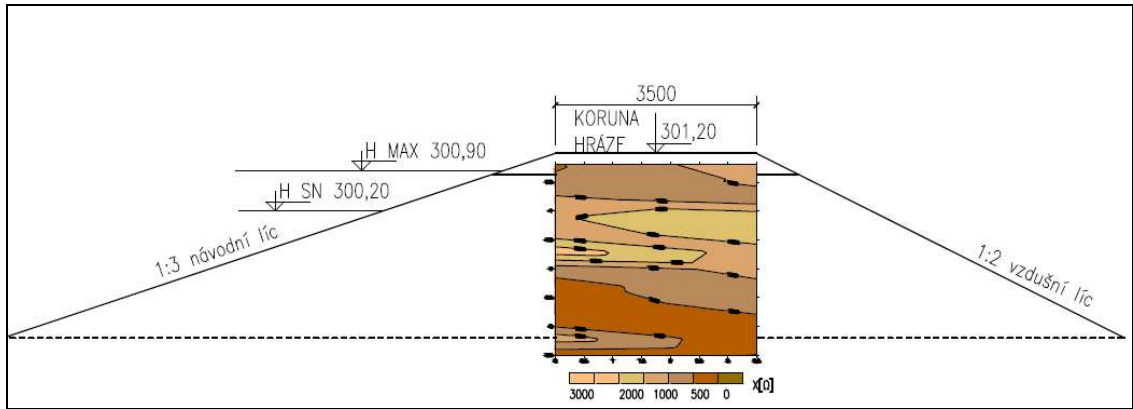
Vyhodnocení změn konsolidace zeminy je znázorněno na (obr. 10.17 až obr. 10.29) pomocí změn imaginární složky elektrické impedance, tj. reaktance X_x . Materiál je hlinitojílový s místy příměsemi písku. Hráz je homogenní, ale na mapách reaktance X_x je znát rozdílnost materiálu. Na hodnotu měřených hodnot X_x mají velký vliv také klimatické podmínky. V zimních měsících tedy v lednu, únoru a březnu (obr. 10.17, obr. 10.28, obr. 10.29, obr. 10.30) reaktance vykazuje rozdílné hodnoty než v ostatních měsících. Tyto rozdílné vyšší hodnoty jsou pravděpodobně zapříčiněny minusovými teplotami nebo silnou vrstvou ledu na hladině (obr. 10.16). Hodnoty na obr. 10.17, obr. 10.27, obr. 10.28 a obr. 10.29 však ukazují, že zemní hráze je z hlediska mechaniky zemin homogenní, z hlediska elektrických vlastností zeminy jsem upozornila na místy rozdílný materiál (viz kapitola 7.2.3 Zemina). Hodnoty reaktance X_x zjištěné v ostatních měřených měsících jsou vzájemně poměrně srovnatelné.



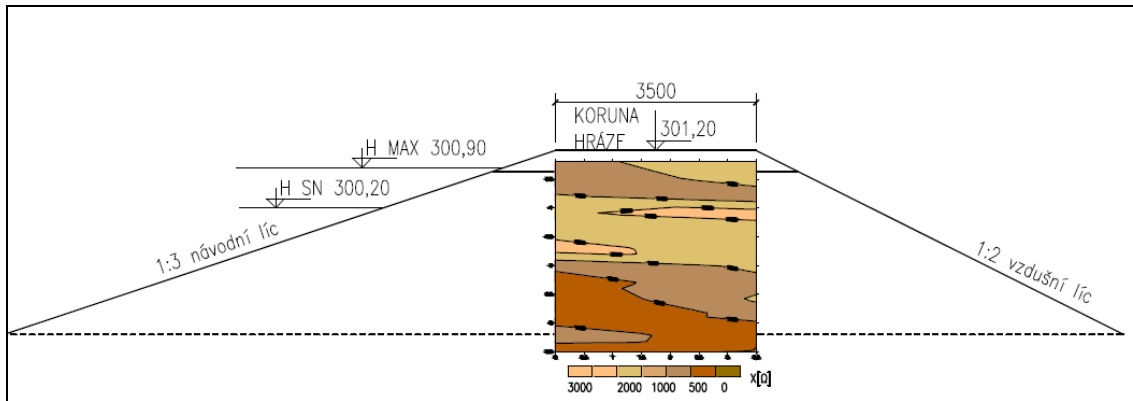
Obr. 10.16 Zmrzlá hladina vody (Pařílková, 17.3.2012)



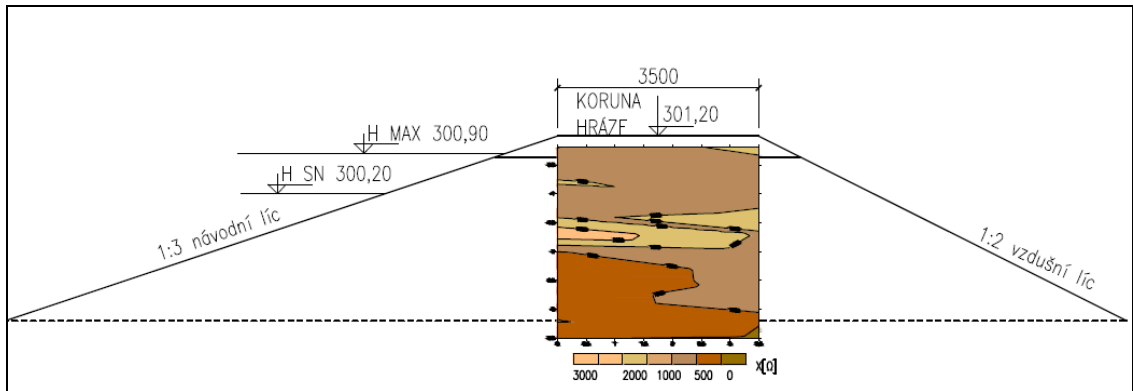
Obr. 10.17 Reaktance 17.3.2012



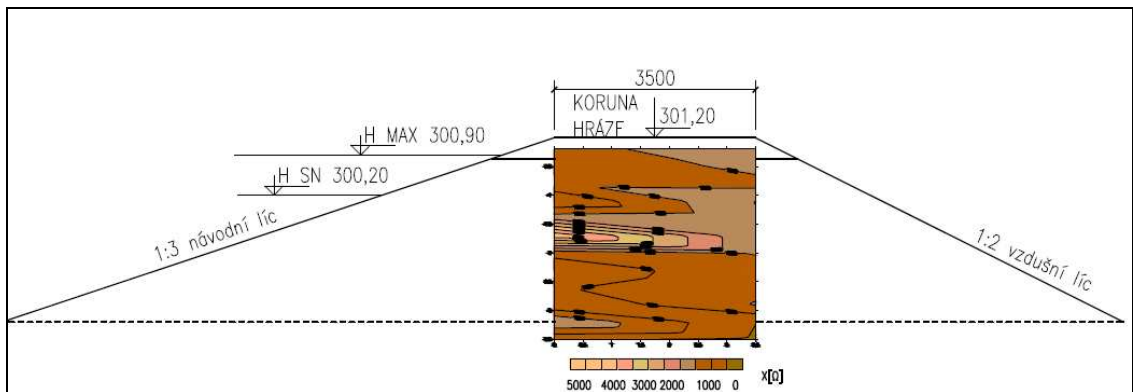
Obr. 10.18 Reaktance 26.4.2012



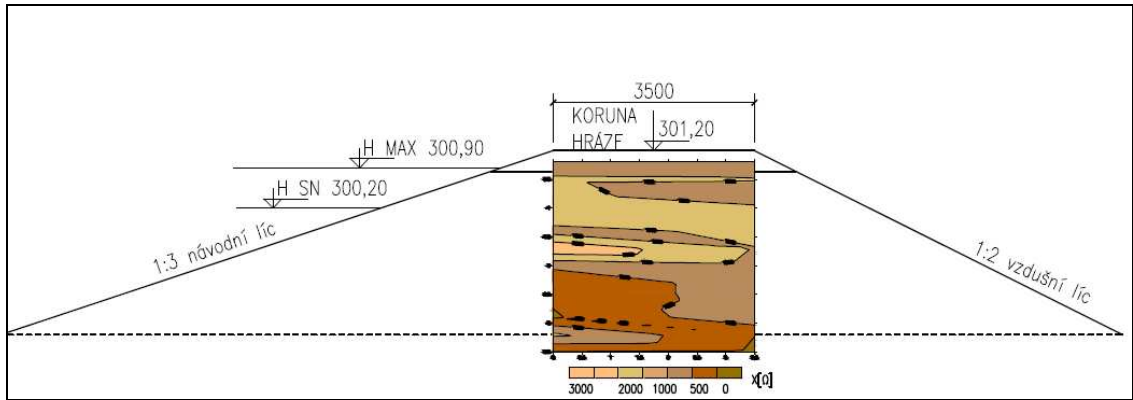
Obr. 10.19 Reaktance 25.5.2012



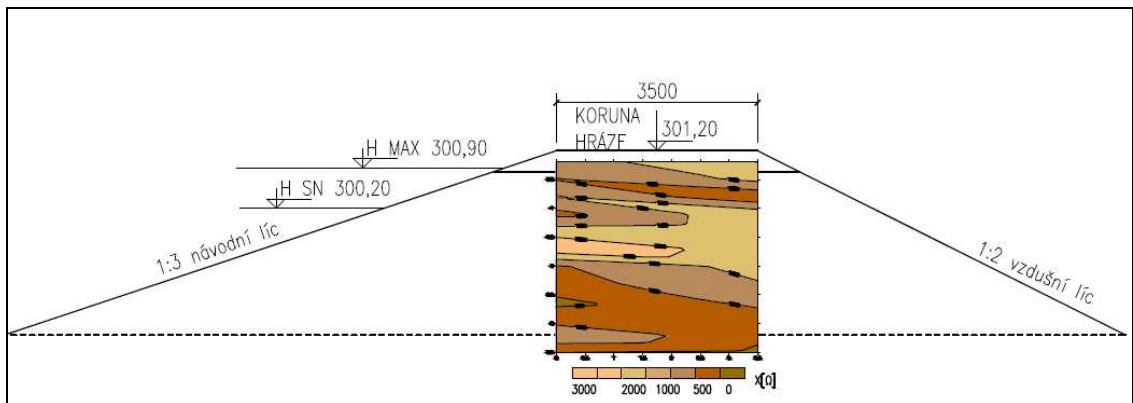
Obr. 10.20 Reaktance 20.6.2012



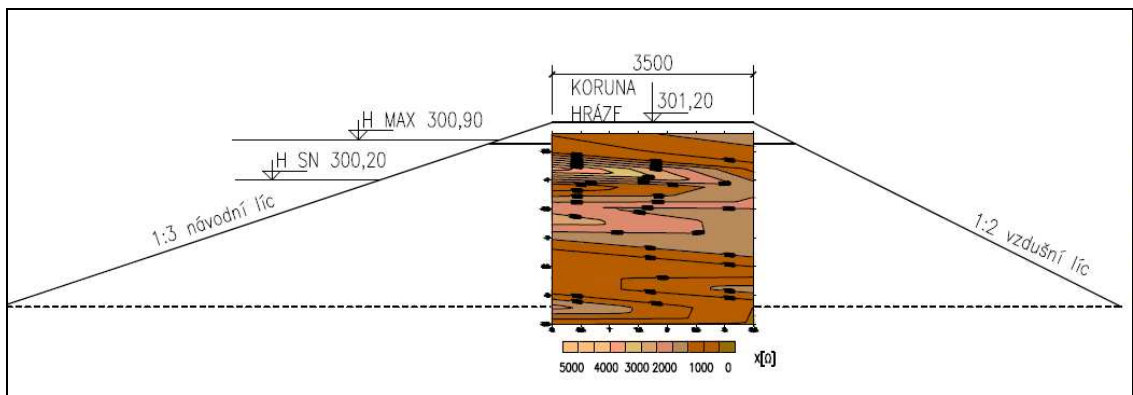
Obr. 10.21 Reaktance 18.7.2012



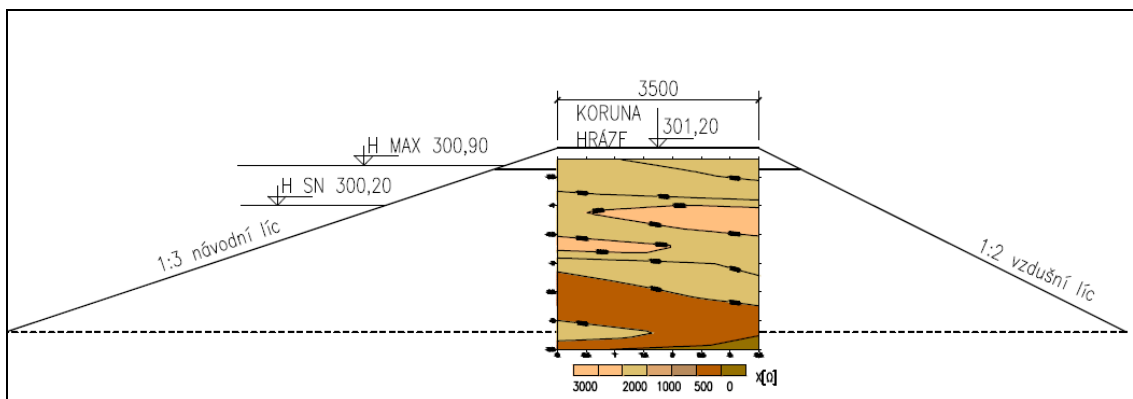
Obr. 10.22 Reaktance 21.8.2012



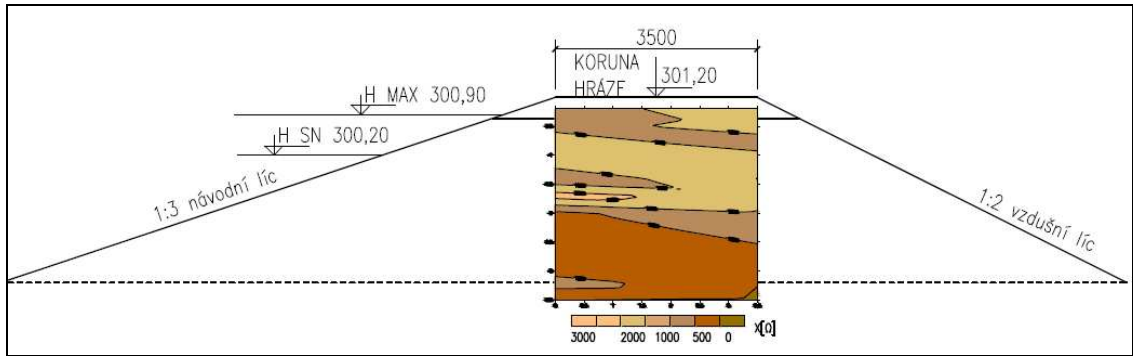
Obr. 10.23 Reaktance 16.9.2012



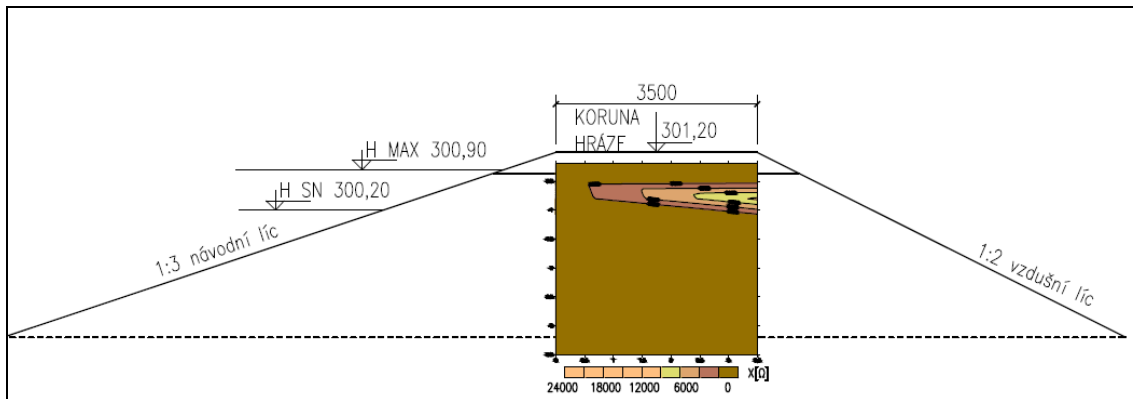
Obr. 10.24 Reaktance 29.10.2012



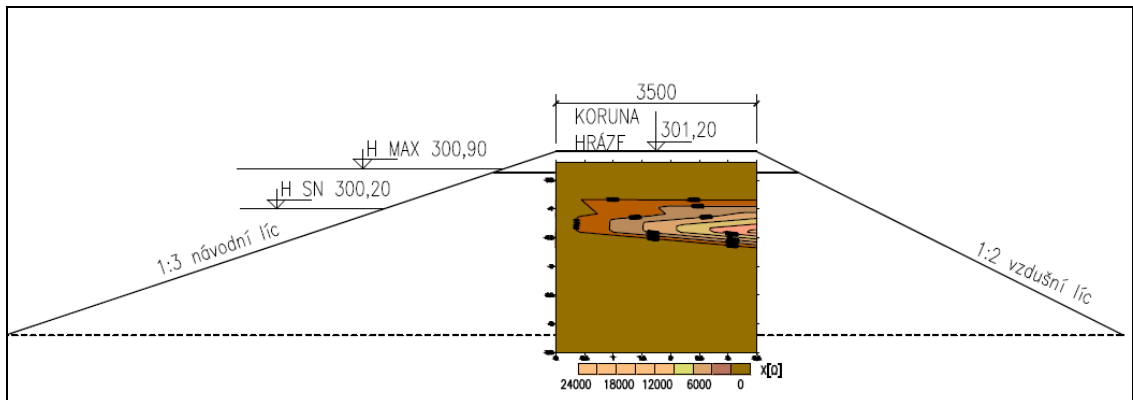
Obr. 10.25 Reaktance 21.11.2012



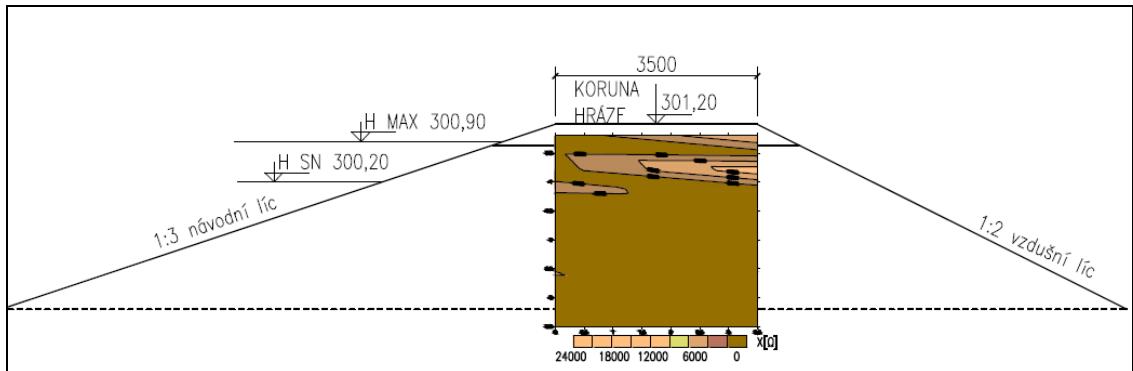
Obr. 10.26 Reaktance 21.12.2012



Obr. 10.27 Reaktance 2.1.2013



Obr. 10.28 Reaktance 3.2.2013



Obr. 10.29 Reaktance 3.3.2013

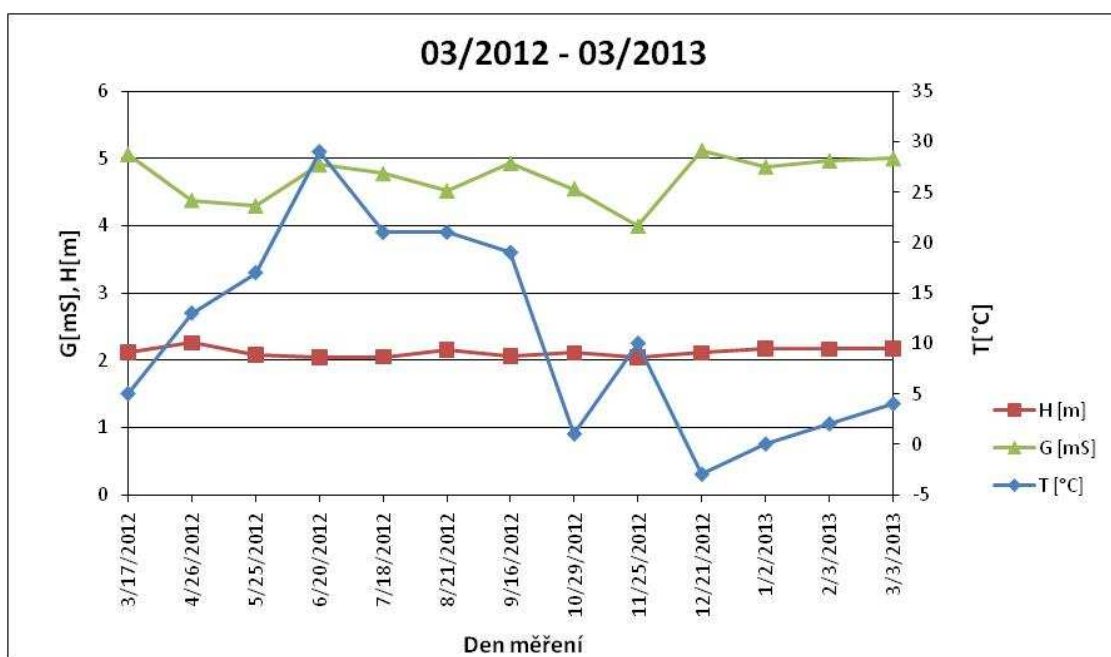
Už výše bylo uvedeno, že moje první měření bylo provedeno 17. března 2012. Hlavním úkolem bylo znázornit změny elektrické vodivosti a reaktance, ale i další

veličiny (teplota vzduchu, úroveň hladiny vody v nádrži, srážky, pozorování intenzity větru, působení živočichů a lesní zvěře apod.). Všechny vypočtené a stanovené hodnoty jsou přiloženy v příloze č. 2.

Délka každého měření na hrázi trvala vždy okolo 2 až 3 hodin. Výška hladiny vody se v mou měřeném období pohybovala od 299,68 m n. m. do 299,90 m n. m. Hloubka vody v nádrži byla v rozmezí 2,04 m až 2,26m. Další hodnotou byla již dříve zmíněná teplota vzduchu. Maximální teplota při měření byla 29°C naměřena 20. června 2012, což jak jsem již uvedla, mohlo ovlivnit hodnoty elektrické vodivosti zjištěné v letních měsících.

Každý měsíc jsem si zapisovala podmínky průběhu měření a mohu konstatovat, že všechna měření proběhla korektně a zjištěné hodnoty jsou v pořádku. Pouze v dubnu byla 1 elektroda odhrabána a kabely byly vyřaty z ochranného obalu, zůstaly však nepoškozeny. V květnu nebyla posečená hráze a elektrody šlo těžko nalézt.

Celkovou průměrnou elektrickou vodivost G stanovenou aritmetickým průměrem hodnot zjištěných na návodním líci hráze jsem pro jednotlivé měřené dny znázornila graficky v souvislosti s teplotou vzduchu a hloubkou vody (obr. 10.30).

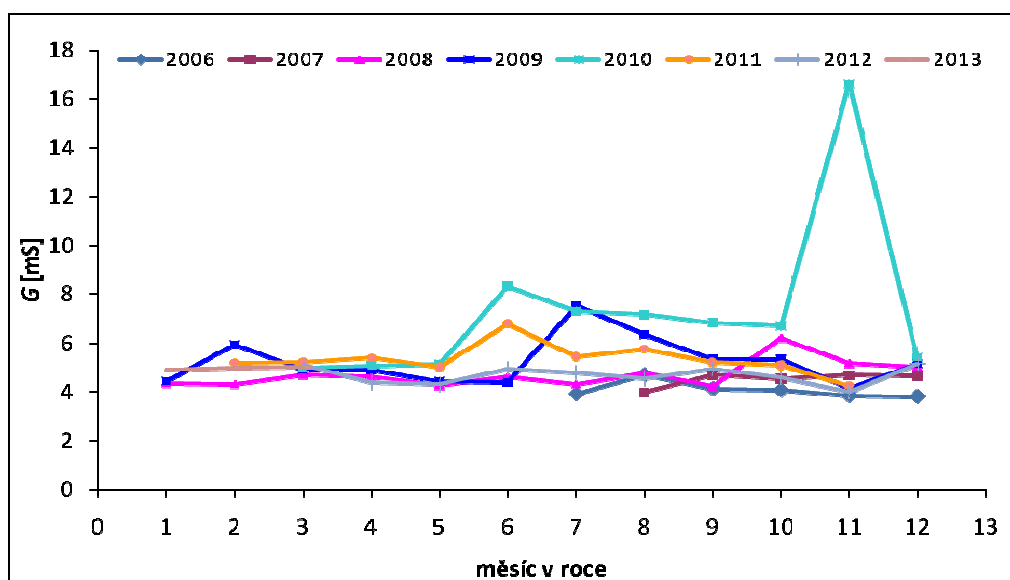


Obr. 10.30 Průběh teploty vzduchu, hloubky vody v nádrži a celkové elektrické vodivosti G měřené na návodním líci hráze v období 03/2012 – 03/2013

11 ZÁVĚR

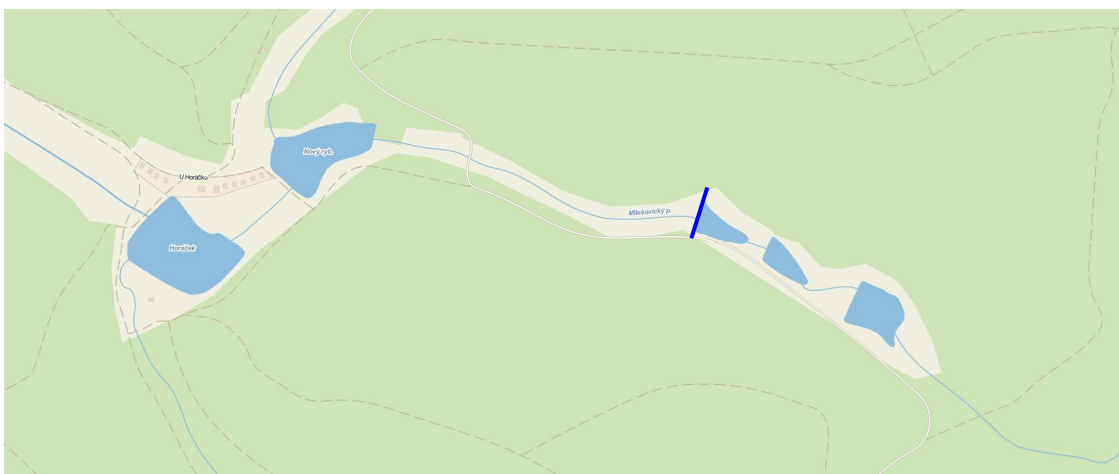
Vodní nádrž Bezedník III byla vybudována roku 1979. Po opakovaných opravách realizovaných v důsledku podezření na průsak vody tělesem zemní hráze, bylo v roce 2006 z koruny hráze zabudováno do jejího tělesa 7 tyčových sond (0-6) a po její opravě v konci roku 2006 a počátku roku 2007 bylo zahájeno její systematické monitorování metodou elektrické impedanční spektrometrie. Roku 2009 byla sonda č. 1 poničena vandalem (všechny vodiče byly odříznuty těsně u zhlaví tyče) a dále nepoužitelná. Všechna následná, a tedy i moje měření, jsou realizována od profilu 0_2. Délka fiktivního elektrického vodiče je tak sice vzhledem k dalším měřeným profilům dvojnásobná, avšak zjištěné hodnoty elektrické impedance v jednotlivých měřených úrovních nevybočují z řady zjištěné v profilech označených 0_1 a 1_2, a proto je možno uvedený profil 0_2 zahrnout do sledování. Protože monitorování zemní hráze nádrže Bezedník III bylo provedeno jako pilotní, tj. bez předešlých zkušeností využití nové měřicí aparatury realizované a ověřované řešením mezinárodních projektů v programu EUREKA, ukázalo se, že zde byly nevhodně zvoleny průměry vodičů zajišťujících přenos dat ze snímače do řídicího PC. U některých sond došlo k utržení kabelu, což bylo identifikovatelné nesmyslně vysokými hodnotami měřené rezistance a reaktance. Abych mohla vhodně sestrojít mapy elektrické vodivosti a reaktance, nahradila jsem chybné hodnoty daty podle průběhů z minulých let. Na vzdušnou stranu hráze byly sondy zabudovány v roce 2009, což mi umožnilo vyhodnotit mapy elektrické vodivosti a reaktance v příčném profilu hráze.

Ze zájmu jsem provedla zhodnocení průběhu celkové elektrické vodivosti G na návodním líci (obr. 11.1), která byla vždy v daném měsíci stanovena aritmetickým průměrem ze všech 72 měřených bodů. Hodnoty elektrické vodivosti za rok 2012 se pohybují ve stejné úrovni jako měření z roku 2006, které je měřením počátečním. Výjimkou byl rok 2009, 2010 a 2011 kdy hodnoty v letních měsících jsou značně vyšší. Výkyv v listopadu 2010 způsobily enormní srážky, kdy v době měření byla voda z nádrže odváděna bezpečnostním přelivem. Hodnoty elektrické vodivosti z prvních tří měsíců letošního roku nevybočují oproti předešlým rokům.



Obr. 11.1 Průběh celkové měřené elektrické vodivosti na návodním líci

Přesto že jsem studentkou oboru Vodní hospodářství a vodní stavby a vyhodnocené hodnoty bych správně měla uvádět v hydraulických veličinách (hydraulická vodivost, stupeň nasycení), tak při vyhodnocení anomálii zemní hráze malé vodní nádrže Bezedník III to nebylo možné. Metoda elektrické impedanční spektrometrie, kterou jsem využila, je nepřímou měřicí geofyzikální metodou. Proto bych musela provést kalibraci měřených elektrických veličin vůči veličinám hydraulickým. Odběr vzorků ze zemní hráze však není jednoduchý a provádět vrty v daném objektu by ani z hlediska stability nebylo vhodné. Dle mých zjištění nádrž slouží pro záchyt vody v krajině jako estetický prvek a jako napajedlo pro lesní zvěř, jiný vodohospodářský význam nemá. Domnívám se, že v případě protržení tělesa zemní hráze by se voda rozlila pouze v údolí (obr. 11.2), ze kterého by byla postupně přirozenou cestou Milešovickým potokem odvedena.



Obr. 11.2 Situace zemní hráze nádrže Bezedník III

Cílem mojí bakalářské práce bylo vymezit anomální oblasti v zemní hrázi malé vodní nádrže Bezedník III. Na základě svých měření mohu konstatovat, že použitá metoda elektrické impedanční spektrometrie a realizovaná měřicí aparatura je pro uvedenou problematiku vhodná. Je využitelná i z dlouhodobého hlediska, kde velkou výhodou vidím ve skutečnosti, že je možno monitorování provádět velmi podrobně, jednotlivé úrovně a oblasti měření lze podle znalostí objektu a řešeného problému vhodně volit. V mém konkrétním případě je zřejmým nedostatkem poddimenzování průměrů vodičů, které se následně zkroutily do jednoho provazce, což na některých tyčích způsobilo, že se časem některé vodiče přetrhly. Pokud došlo k přetržení vodiče u zakončení sondy, nebylo možné vodiče spojit pro další použití. Pro další lokality bych doporučila měřit v místě aplikace sondy i teplotu do zeminy. Možná by se mohla prokázat její užší návaznost na měřené elektrické veličiny.

Přestože jsem podobnou měřicí techniku využila poprvé, oceňuji intuitivnost měřicí aparatury a uživatelského softwaru, které jsem zvládla po zaškolení. Pozitivně rovněž hodnotím možnost vyhodnotit výsledky monitorování ve formě map, v nichž jsou místa s anomáliemi zřejmá. Přestože např. elektrická vodivost velmi úzce souvisí s obsahem vody v zemině hráze, je nutné, aby závěry vyplývající z měření prováděla vždy osoba znalá problematiky. Např. na mnou sledované lokalitě by mohlo ve sledované oblasti dojít k prvnímu chybnému závěru již v důsledku nejednotných elektrických parametrů zeminy.

Alena Sedláková

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ODBORNÁ LITERATURA

BRANČÍK, L., (200) Elektrotechnika 1. Elektrotechnika 1. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004. s. 1 (s.)ISBN: 80-214-2607- 1.

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

ČSN CEN ISO/TS 17892-1. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemín - Část 1: Stanovení vlhkosti zemín*. Účinnost od 05/2005.

ČSN EN 13286-2. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Proctorova zkouška*. Účinnost od 11/2005.

ČSN EN 1997-1. *Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla*. Účinnost od 10/2006.

HRABAL, A., (1976) *Příspěvek k řešení komplexních vodohospodářsko-melioračních soustav v intenzivní zemědělské oblasti jižní Moravy: [Autoreferát kand. dis.]*. Brno: [s.n.], 1976. 19 s.

JŮVA, K., HRABAL, A., PUSTĚJOVKÝ, R. (1980). *Mále vodní nádrže*. SZN. Praha. 1980.

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

NOVÁK, M. (2011). *Vyhodnocení změn v rybníční hrázi monitorovaných metodou EIS*. Brno, 2011. 63 s., 2 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Jana Pařílková, CSc..

PAŘÍLKOVÁ, J. a kol. (2007). *Realizace - výzkum - vývoj a výroba automatizovaného systému sledování změn vlhkosti zemín metodou EIS*. Dílčí oponovaná zpráva, GEOtest, a.s.

PAŘÍLKOVÁ, J. a kol. (2008). *Realizace - výzkum - vývoj a výroba automatizovaného systému sledování změn vlhkosti zemín metodou EIS*. Dílčí oponovaná zpráva, GEOtest, a.s.

PAŘÍLKOVÁ, J. a kol. (2013). *Automatizovaný systém pro analýzu vybraných charakteristik a procesů v porézním prostředí metodou EIS*. Závěrečná oponovaná zpráva – technická část, GEOtest, a.s.

PAŘÍLKOVÁ, J., GARDAVSKÁ, Z., FEJFAROVÁ, M., ZACHOVAL, Z., VESELÝ, J., PAVLÍK, I. (2011). *VYUŽITÍ METODY EIS PŘI MONITOROVÁNÍ VYBRANÝCH PROCESŮ V PŮDĚ*. Příspěvek na konferenci Influence of Anthropogenic Activities on Water Regime of Lowland Territory Physics of Soil Water. ISBN 978-80-89139-23-1. VHZ ÚH SAV. Michalovce. 2011.

PAŘÍLKOVÁ, J., PAŘÍLEK, L., VESELÝ, J., ZACHOVAL, Z., PAVLÍK, J., PROCHÁZKA, L., (2008). *Elektrická impedanční spektrometrie (EIS) pro vodohospodářské účely. Mokřady a voda v krajině*. Konference s mezinárodní účastí. 18.6. – 19.6.2008, Třeboň, ISBN 978-80-254-2329-5, p. 49 – 52.

PAŘÍLKOVÁ, J., PAVLÍK, J. (2010). Realizace - výzkum, vývoj a výroba automatizovaného systému sledování změn vlhkosti zemin metodou EIS. *Oponovaná zpráva projektu OE240 za rok 2009*. Brno.

PAŘÍLKOVÁ, J., UHMANNOVÁ, H. (2002). Metody použité při měření průsakových křivek na fyzikálním modelu sypané hráze. *Vodní hospodářství*. 2002. 52(4/2002). p. 89 - 92. ISSN 1211 – 0760.

PAŘÍLKOVÁ, J.; KREJČÍ, I. (2006). Two innovative methods of dike monitoring. *Journal of Hydrology and Hydromechanic*. 2006. 54(4). p. 344 - 356. ISSN 0042-790X.

POLÁČEK, J. (2006). Význam malých vodních nádrží v protipovodňové ochraně. VEDA CZ – průvodce informacemi o vědě a výzkumu. <http://www.veda.cz/article.do?articleId=12856>.

ŘÍHA, J. (2005). Hydrotechnické stavby II. – modul 01. *Studijní opory*, VUT v Brně.

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

STARA, V. (1997). Rizika porušení vzdouvacích staveb na tocích při extrémních hydrologických situacích (1997-1999). *Projekt GA ČR č. 103/97/0175*.

STARA, V. (1999). Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a dopravních systémů (1999-2003). *Výzkumný záměr VUT CEZ: J22/98:261100006*.

STARÝ, M. (1990). *Nádrže a vodohospodářské soustavy*. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1990. ISBN 80-214-0191-5.

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

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

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

WEIGLOVÁ, K. (2005). Mechanika zemin. Modul BF02-M02, Vlastnosti zemin. In: *Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia*.

PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE

[1] Technická dokumentace VN Kobeřice (1979 – 2009)

INTERNETOVÉ ZDROJE

[A] http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/cviceni/cviceni_lenticky/technicka_zarizeni.htm

[B] storm.fsv.cvut.cz

[C] http://fzp.ujep.cz/~Pokornyr/01_Materialy/1GEO/Prednasky/GEO_MO_10.pdf

[D] <http://vyuka.spsslipnik.cz/VOGLOVA/d%C3%A1lkov%C3%A9%20studium/POS%20A1/7.Z%C3%A1kladn%C3%AD%20vlastnosti%20zemin.doc>

- [E] http://www1.osu.cz/orthoptera/druhy/xya_var.htm
- [F] ekologie-v-kostce.com
- [G] <http://www.geology.ar.gov/water/groundwater.htm>
- [H] http://www.dolnimorava.org/attachments/historicke_konstrukce_hrazi_rybniku.pdf
- [I] <http://www.kobericeubrna.cz/index.php?nid=9687&lid=cs&oid=2030285>
- [J] http://geoportal.gov.cz/web/guest/map_aktualni_ortofotomapa,
[http://geoportal.gov.cz/web/guest/map ak. ortofotomapa](http://geoportal.gov.cz/web/guest/map_ak_ortofotomapa)
- [K] [http://geoportal.gov.cz/web/guest/map 50.leta ortomapa](http://geoportal.gov.cz/web/guest/map_50.leta_ortomapa)

SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1 Orientační sklony svahů hrází.....	15
Tab. 5.1 Klasifikace zemin	17
Tab. 5.2 Orientační fyzikálně mechanické vlastnosti zhutněných zemin	19
Tab. 5.3 Vhodnost zemin pro různé zóny hutnění hráz	20
Tab. 7.1 Průtoky M – denní	29
Tab. 7.2 Průtoky N -leté	29
Tab. 9.1 Parametry přístroje Z-metr 2.....	36
Tab. 10.1 Tabulka výpočtů měřených veličin 3_3a	42
Tab. 10.2 Tabulka výpočtů měřených veličin 4_4a.....	42

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Pohled na hráz.....	10
Obr. 2.2 Pohled na vzdušnou stranu hráze	10
Obr. 3.1 Členění prostoru nádrže.....	11
Obr. 4.1 Rozdělení nádrží podle přívodu vody	12
Obr. 4.2 Průtočná nádrž Bezedník III	13
Obr. 4.3 Rozdělení dle půdorysného tvaru osy hráze	13
Obr. 4.4 Homogenní hráz na nepropustném podloží	14
Obr. 4.5 Nehomogenní hráz se středním těsněním.....	14
Obr. 4.6 Nehomogenní hráz	14
Obr. 5.1 Klasifikační diagram zemin s částicemi < 60 mm	18
Obr. 5.2 Diagram plasticity pro částice < 0,5 mm.....	19
Obr. 5.3 Křivka zrnitosti.....	20
Obr. 5.4 Nesoudržné zeminy	21
Obr. 5.5 Soudržné zeminy	21
Obr. 6.1 Koloběh vody v přírodě	22
Obr. 6.2 Nasycená a nenasycená zóna	23
Obr. 7.1 Aktuální ortofotomapa	24
Obr. 7.2 Ortomapa z 50 let	24
Obr. 7.3 Příčný řez hrází.....	26
Obr. 7.4 Detail původního příčného řezu hrází.....	26
Obr. 7.5 Vzdušný líc hráze a zahrází vodní nádrže Bezedník III	27
Obr. 7.6 Detailní pohled na návodní líc hráze vodní nádrže	27
Obr. 7.7 Pohled na hráz a bezpečnostní přeliv	28
Obr. 7.8 Celokovový požerák.....	28
Obr. 7.9 Mapa odporovosti zeminy	29
Obr. 7.10 Dno vypuštěné nádrže s rozdílnou barevností materiálu zeminy	30

Obr. 8.1 Grafické vyjádření fázoru elektrické impedance	32
Obr. 8.2 Prostředí mezi elektrodami jako vodič elektrického proudu	33
Obr. 9.1 Letecký pohled , měřená místa	34
Obr. 9.2 Vertikální dělení sondy.....	35
Obr. 9.3 Instalace sond.....	36
Obr. 9.4 Použitá měřicí aparatura (PC, Z-metr 2, napájecí zdroj, měnič napětí)	37
Obr. 9.5 Diagnostické okno pro testování základních modelů přístroje	38
Obr. 9.6 Uživatelské okno měření	38
Obr. 9.7 Uživatelské okno výběru	39
Obr. 9.8 Uživatelské okno kalibrace	40
Obr. 9.9 Uživatelské okno pro export naměřených dat	40
Obr. 10.1 Detail umístění sond	41
Obr. 10.2 Elektrická vodivost 17.3.2012.....	43
Obr. 10.3 Elektrická vodivost 26.4.2012.....	43
Obr. 10.4 Elektrická vodivost 25.5.2012.....	43
Obr. 10.5 Elektrická vodivost 20.6.2012.....	43
Obr. 10.6 Elektrická vodivost 18.7.2012.....	44
Obr. 10.7 Elektrická vodivost 21.8.2012.....	44
Obr. 10.8 Elektrická vodivost 16.9.2012.....	44
Obr. 10.9 Elektrická vodivost 29.10.2012.....	44
Obr. 10.10 Elektrická vodivost 21.11.2012.....	45
Obr. 10.11 Elektrická vodivost 21.12.2012.....	45
Obr. 10.12 Elektrická vodivost 2.1.2013.....	45
Obr. 10.13 Elektrická vodivost 3.2.2013.....	45
Obr. 10.14 Elektrická vodivost 3.3.2013.....	46
Obr. 10.15 Teplota vzduchu, hloubka vody a elektrická vodivost	47
Obr. 10.16 Zmrzlá hladina vody	48

Obr. 10.17 Reaktance 17.3.2012.....	48
Obr. 10.18 Reaktance 26.4.2012.....	49
Obr. 10.19 Reaktance 25.5.2012.....	49
Obr. 10.20 Reaktance 20.6.2012.....	49
Obr. 10.21 Reaktance 18.7.2012.....	49
Obr. 10.22 Reaktance 21.8.2012.....	50
Obr. 10.23 Reaktance 16.9.2012.....	50
Obr. 10.24 Reaktance 29.10.2012.....	50
Obr. 10.25 Reaktance 21.11.2012.....	50
Obr. 10.26 Reaktance 21.12.2012.....	51
Obr. 10.27 Reaktance 2.1.2012.....	51
Obr. 10.28 Reaktance 3.2.2013.....	51
Obr. 10.29 Reaktance 3.3.2013.....	51
Obr. 10.30 Teplota vzduchu, hloubka vody v nádrži a celková elektrická vodivost G měřené na návodním líci hráze v období 03/2012 – 03/2013	52
Obr. 11.1 Průběh celkové měřené elektrické vodivosti na návodním líci.....	53
Obr. 11.2 Situace zemní hráze nádrže Bezedník III.....	54

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Latinská abeceda

A	průřezová plocha vodiče	[m ²]
d	délka elektrody	[m]
f	kmitočet budicího signálu	[Hz]
G	elektrická vodivost (konduktance)	[S]
H	hloubka vody	[m]
h_k	kapilární výška	[m]
h_x	hloubka	[m]
I	elektrický proud	[A]
I_D	relativní ulehlost	[-]
I_p	index plasticity	[-]
L	vzdálenost mezi elektrodami	[m]
n_w	objemová vlhkost	[%]
Q_{100}	100 – letý průtok	[m ³ ·s ⁻¹]
Q_{md}	m – denní průtok	[m ³ ·s ⁻¹]
Q_n	n – letý průtok	[m ³ ·s ⁻¹]
R	elektrický odpor	[Ω]
R_p	výsledná hodnota reálné části měřené elektrické impedance	[Ω]
S_r	stupeň nasycení	[%]
t	doba přepínání mezi měřeními	[s]
T	teplota	[°C]
U	elektrické napětí	[V]
U_g	hodnota měřicího napětí	[V]
U_N	přepočítaná hodnota napětí na normálovém rezistoru	[V]
U_n	hodnota napětí na normálovém rezistoru	[V]
U_{x0}	hodnota měřeného napětí	[V]
$U_{x0'}$	přepočítaná hodnota napětí na měřené elektrické impedanci	[V]
U_{x90}	hodnota měřeného napětí	[V]
w	vlhkost	[%]
X	elektrická reaktance	[Ω]
X_p	výsledná hodnota imaginární části měřené impedance	[Ω]
Y	elektrická admitance	[S]
Z	elektrická impedance	[Ω]

Řecká abeceda

ρ	elektrická rezistivita	$[\Omega \cdot \text{m}]$
σ	elektrická konduktivita	$[\text{S} \cdot \text{m}^{-1}]$
φ	fázový posun	$[\text{rad}]$
ω	úhlová rychlost	$[\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}]$

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BP	bakalářská práce
C	kapacitor
CL	jíl s nízkou plasticitou
CS	jíl písčitý
ČHMU	Český hydrometeorologický ústav
EIS	elektrická impedanční spektrometrie
H+	vodíkový kation
HDPE	polyetylen
Id	jedinečný identifikátor provedeného měření
L	induktor
ML	hlína s nízkou plasticitou
MS	hlína písčitá
OH-	hydroxidový anion
PC	osobní počítač
R	rezistor
USB	universal serial bus
ÚVST	ústav vodních staveb
ZSZ	západo-severozápad

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA Č. 1	3
PŘÍLOHA Č. 2.....	39