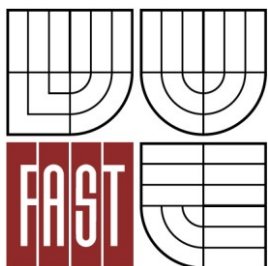




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

VYHODNOCENÍ ZMĚN V RYBNIČNÍ HRÁZI MONITOROVANÝCH METODOU EIS

EVALUATION OF CHANGES IN POND DAM MONITORED BY EIS METHOD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAEL NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JANA PAŘÍLKOVÁ, CSc.

BRNO 2012



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

Michael Novák

Název

**Vyhodnocení změn v rybníční hrázi
monitorovaných metodou EIS**

Vedoucí bakalářské práce

doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.

**Datum zadání
bakalářské práce**

10. 3. 2011

**Datum odevzdání
bakalářské práce**

27. 5. 2012

V Brně dne 10. 3. 2011

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.
- 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.
- Pařílková, J. a kol. (2010). EUREKA 2010. Schedule-Proceedings, Tetčice.
- 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

- Rešerše podkladů k problematice rybníčních hrází a monitorovacích metod.
- Realizace měření na určené lokalitě.
- Zpracování vybraných dat z monitorování a realizovaných měření.
- Dokumentace a vyhodnocení.

Předepsané přílohy

- Pojednání o problematice, experimentálním výzkumu a způsobu řešení.
- Popis experimentu na lokalitě, užívaných měřicích metod a metody EIS.
- Grafické vyobrazení experimentu.
- Program a průběh měření, výsledky a jejich zpracování.
- Dokumentace měření a zpracování výsledků.
- Závěry z teorie a měření.

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací


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

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá vyhodnocením monitorování zemní hráze rybníka vybudovaného v katastru obce Jevíčko. Pro identifikování sledovaných změn, které souvisejí s proměnným zatížením zemní hráze vodou, v čase a prostoru, byla zvolena nepřímá elektrická měřicí metoda elektrické impedanční spektrometrie. Metoda je v práci popsána, výsledky monitorování jsou publikovány v grafické podobě a jsou komentovány.

Klíčová slova

zemina, hráz, rybník, monitorování, elektrická impedanční spektrometrie

Abstract

The bachelor's thesis deals with the evaluation of monitoring of earthen dike of fish pond which was built near the municipality Jevíčko. To identify the observed changes, which are related to variable loads earth dike with water, in time and space has been selected indirect electrical method of measuring electrical impedance spectrometry. This method is described in the work and the results of monitoring are published in graphical form and are commented.

Key words

soil, dike, fish pond, monitoring, electrical impedance spectrometry

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

NOVÁK, Michael. *Vyhodnocení změn v rybniční 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..

Prohlášení:

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

V Brně dne 21.5.2012



.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji doc. Ing. Janě Pařílkové, CSc. a panu Luboši Pařílkovi za cenné rady a připomínky, za odbornou, technickou, materiální aj. pomoc při vypracovávání bakalářské práce. Také děkuji mé rodině za trpělivost a podporu po celou délku mého studia.

V Brně dne 21.5.2012



.....
podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	CÍL PRÁCE	11
3	MALÉ VODNÍ NÁDRŽE	12
3.1	ZEMNÍ HRÁZE MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ.....	12
3.1.1	Zatřídění a vhodnost zemin	12
3.1.2	Zeminy pro těsnicí část hráze.....	16
3.1.3	Zeminy pro stabilizační část hráze	17
3.1.4	Zhutnění.....	17
3.2	NÁVRH PŘÍČNÉHO PROFILU HRÁZE.....	17
3.2.1	Homogenní hráz.....	17
3.2.2	Nehomogenní hráz.....	18
3.2.3	Koruna hráze	18
3.3	FUNKČNÍ OBJEKTY	18
3.3.1	Výpustný objekt.....	18
3.3.2	Bezpečnostní přeliv.....	19
3.3.3	Odběrná zařízení	19
3.3.4	Sdružené objekty	19
3.3.5	Speciální objekty	19
4	PORUŠENÍ SYPANÝCH ZEMNÍCH HRÁZÍ	20
4.1	PŘÍČINY PORUCH.....	20
4.1.1	Erozivní činnost proudu vody	20
4.1.2	Filtrační deformace	21
4.1.3	Další příčiny poruch	21
5	VODA V ZEMINĚ	22
6	POPIS ZÁJMOVÉ LOKALITY.....	24
6.1	VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ	24
6.2	VÝSTAVBA HRÁZE A ZKOUŠKY ZHUTNĚNÍ	27
6.2.1	První etapa výstavby.....	27
6.2.2	Druhá etapa výstavby.....	29
6.3	NÁVRH MĚŘICÍCH STANOVISŤ	31
7	MĚŘICÍ METODA EIS	36
7.1	ELEKTRICKÁ IMPEDANCE.....	36
7.1.1	Další veličiny	38

7.2	MĚŘICÍ SONDY	39
7.3	INSTALACE SOND	40
8	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ	42
8.1	NAPOUŠTĚNÍ RYBNÍKA	43
8.2	STÁLÁ HLADINA	46
8.3	VYPOUŠTĚNÍ RYBNÍKA.....	50
8.4	VÝVĚR VODY	53
9	ZÁVĚR	54
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	56
	SEZNAM TABULEK.....	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	59
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	61
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	62
	SEZNAM PŘÍLOH	63

1 ÚVOD

Voda je pro člověka nepostradatelná a nenahraditelná, proto byla historicky významná města zakládána u vodních toků. Voda zde plnila různé funkce, např. funkci vodárenskou, závlahovou, chovnou, estetickou. První nádrže se stavěly v Číně, a to již v roce 2000 před naším letopočtem. První rybníky (Šálek, 2001) byly na českém území pravděpodobně budovány v 8. a 9. století.

Na počátku 14. století se čeští šlechtici zúčastnili rytířských výprav krále Jana Lucemburského, nebo dříve křižáckých výprav do Palestiny, odkud si přinesli řadu poznatků o chovu ryb a výstavby rybníků. Od těchto dob se u nás začíná rybníkářství rozvíjet a zdokonalovat. Jsou budovány vyšší hráze, spodní výpusti se osazují čepovými uzávěry, hráze a bezpečnostní přelivy jsou zpevňovány. Na zpevněných hrázích rybníků byly budovány cesty, které přispěly k rozvoji obchodu s rybami. Zručnost budovatelů v navrhování a výstavbě vzrostla na takovou úroveň, že byli zváni do okolních zemí (Šálek, 2001).

Rozvoj rybníkářství zabrzdily husitské války, kdy bylo mnoho hrází strženo. Po válkách, až se situace uklidnila, se opět začíná výstavba rybníků. V této době je nejvýznamnějším stavitelem Vilém z Pemštejna, který vybudoval celou řadu rybníků na Moravě a ve východních a jižních Čechách. Neznámějším z jeho děl je rybník Bezdrev nedaleko Hluboké nad Vltavou (Šálek, 2001).

Na počátku 16. století se začíná budovat Zlatá stoka, kanál dlouhý přes 40 km, vyhloubený v nepatrném sklonu, který zásobuje třeboňské rybníky vodou z Lužnice. Tento projekt začal Štěpánek Netolický a jeho pokračovatelem byl Jakub Krčín z Jelčan a Sedlčan, který upravil a prodloužil Zlatou stoku a některé z Netolického rybníků zvětšil. Jakub Krčín se zasloužil o vybudování dvou největších rybníků na území Čech (Svět a Rožmberk). Rybník Rožmberk (obr. 1.1), s hrází o délce 2,5 km a maximální výškou 11,5 m, patřil ve své době k technicky nejvyspělejší vodohospodářským dílům ve střední Evropě (Šálek, 2001).



Obr. 1.1 Rybník Rožmberk [C]

Třicetiletá válka v 17. století měla za důsledek stagnaci výstavby rybníků v Čechách. Až na konci 19. století se začíná rybníkářství opět probouzet a je postaveno na vědeckém základu chovu ryb. Životem ryb se zabýval prof. A. Frič. Jeho poznatky aplikoval rybníkář Václav Horák, po něm i Josef Šusta, na jihočeském panství Schwarzenbergů (Šálek, 2001).

Na počátku 20. století probíhaly rekonstrukce významných třeboňských rybníků. V současné době se budují nádrže, které plní funkce spíše účelové (ve velké míře náleží k protipovodňovým opatřením), krajínotvorné nebo jsou součástí biocenter. Pozornost je soustředěna na revitalizaci a odbahnění stávajících rybníků a na obnovu jejich funkčního zařízení (Šálek, 2001).

S výstavbou rybníků, ale i jiných vodních nádrží, je vždy spojeno riziko protržení hráze, které může způsobit mimořádnou povodeň, anebo již probíhající povodeň umocnit. Od velké povodně, na Moravě a ve východních Čechách, v roce 1997 je území České republiky zaplavované téměř každý rok.

Poškození nebo protržení hrází při povodni v roce 1997 bylo spíše ojedinělé, vyskytovalo se jen u velmi malých nádrží, např. rybník Luh, rybník Velký Bělíčský a rybník Pustý [H].

Poslední velká povodeň na území ČR byla v roce 2002, která zasáhla hlavně jižní Čechy a celé povodí Vltavy a následně i část toku Labe. Při této povodni bylo protrženo celkem 23 rybníčních hrází a 83 bylo výrazně poškozeno [H]. I tyto skutečnosti potvrdili nezbytnost aplikace monitorovacího systému.

Ústav vodních staveb Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně se otázkou zjišťování změn probíhajících v zemních hrázích při jejich zatížení vodou začal intenzivněji věnovat v roce 1998 (Stara, 1997), (Stara, 1999). V Laboratoři vodohospodářského výzkumu ÚVST byla realizována měřicí aparatura s termistorovými snímači, která umožňuje sledovat průběh zatížení zemní hráze. Nepřímá odporová měřicí metoda i aparatura byly ověřeny v laboratorních podmínkách (Pařílková, 2002). Metoda se ukázala při studiu požadovaného jevu vhodnou, avšak současně byl konstatován její hlavní nedostatek – nutnost uložení snímačů při budování hráze. Proto byla dále, pro uvedená měření, řešena možnost aplikace metody elektrické impedanční spektrometrie (Pařílková, 2006) včetně realizace měřicí aparatury.

Od té doby urazila metoda EIS kus cesty a nyní je testováno její využití nejen na sypaných zemních hrázích vodních nádrží (vodní dílo Karolínka, rybník nedaleko obce Jevíčko, vodní nádrž Bezedník III. v katastru obce Kobeřice), ale i při měření vlhkosti různých materiálů (cihly, dřevo).

2 CÍL PRÁCE

Cílem mojí bakalářské práce (dále BP) bylo seznámit se s metodou elektrické impedanční spektrometrie a jejím využitím při monitorování zemních hrází, naučit se pracovat s měřicí aparaturou s přístrojem Z-metr II a ovládacím softwarem Z-Scan a vyhodnotit změny monitorované v rybníční hrázi nedaleko obce Jevíčko.

V roce 2008 byly do tělesa zemní hráže nainstalovány sondy pro monitorování změn metodou elektrické impedanční spektrometrie (dále jen EIS). Monitorování probíhá od srpna 2008, kdy se rybník napouštěl. Poslední měření zpracované v bakalářské práci je z prosince 2011 přičemž měření v roce 2011 jsem společně s vedoucí BP prováděl. Ve vyhodnoceném období musela nádrž čelit lokální povodni, drobnému průsaku hráže a změnám teploty.



Obr. 2.1 Napouštění rybníka – stav 26.09.2008 (Pařílková, 2008)



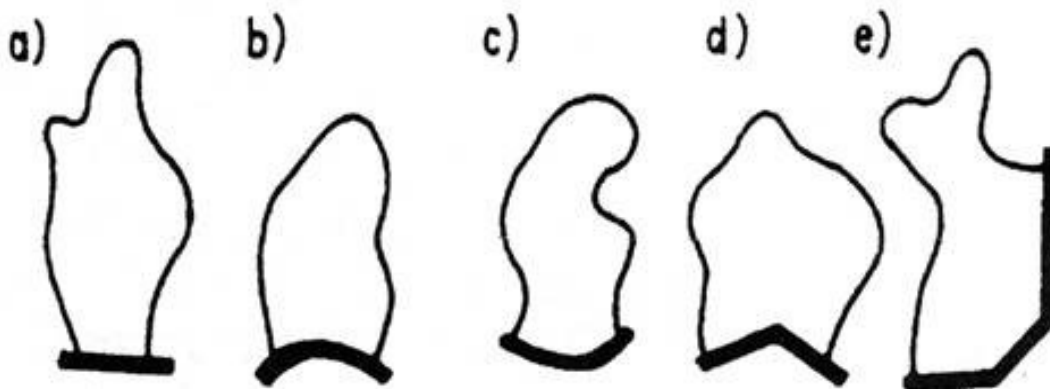
Obr. 2.2 Vypuštěný rybník po výlovu – stav 02.12.2011 (Pařílková, 2011)

3 MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

Malé vodní nádrže jsou (ČSN 75 2410) definovány jako nádrže se sypanou zemní hrází, jejichž maximální objem po hladinu ovladatelného prostoru není větší než 2 mil. m³ a největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m. Maximální hloubka je definována jako svislice od maximální hladiny po nejnižší místo nádrže, neuvažují se lokální větší hloubky v místě původního koryta, hlavní rybniční stoky atd.

3.1 ZEMNÍ HRÁZE MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Hráze malých vodních nádrží se navrhují jako zemní. Podle půdorysného uspořádání mohou být přímé, zakřivené a lomené (obr. 3.1), dle vztahu k vodní ploše se dělí na čelní, boční, dělicí a obtokové nebo dle přívodu vody do nádrže na průtočné, obtokové nebo boční.



a) přímá, b) a c) zakřivené, d) a e) lomené [B]

Obr. 3.1 Půdorysný tvar hrází

Výběr zeminy pro stavbu zemní hráze doporučuje zpravidla inženýrsko-geologický průzkum, který pomáhá nalézt lokalitu vhodných zemín v blízkosti navrhované nádrže. Inženýrsko-geologickým průzkumem jsou určeny fyzikálně-mechanické vlastnosti a objemy zeminy, případně její další důležité parametry (např. těžitelnost) [B].

3.1.1 Zatřídění a vhodnost zemín

Zatřídění a vhodnost zemín pro stavbu zemních hrází přejímá ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“ z rozdělení do skupin a tříd dle ČSN 75 2310 „Sypané hráze. Příklad zatřídění zemín je uveden v tab. 3.1 a obr. 3.2 a 3.3 [B].

Tab. 3.1 Zatřídění zemin (ČSN 75 7410)

a) Klasifikace štěrkových zemin

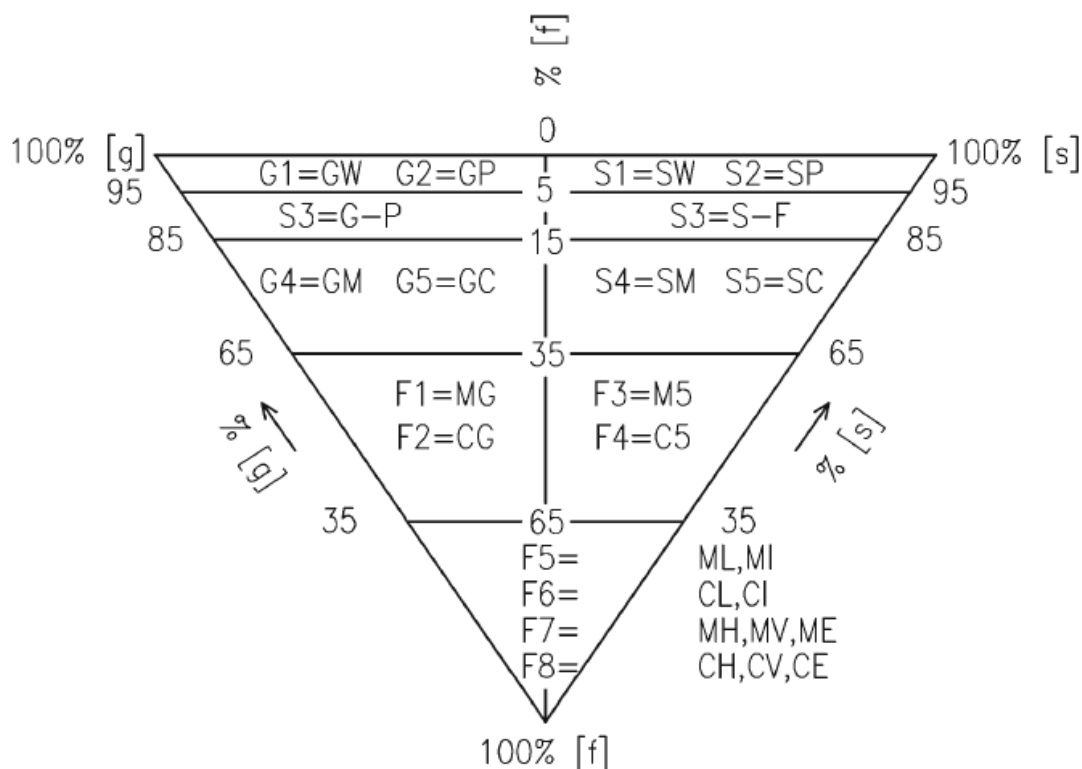
Název zeminy	Symbol	Třída	Kvalitativní znaky			
			Obsah jemnozrnné frakce (<0,06 mm) [%]	C_u [-]	C_c [-]	Diagram plasticity
Štěrky dobře zrněný	GW	G1	<5	>4	1 až 3	-
Štěrky špatně zrněný	GP	G2	<5	<4	<1 nebo >3	-
Štěrky s příměsí jemnozrnné zeminy	G-F	G3	5 až 15	-	-	-
Štěrky hlinitý	GM	G4	15 až 35	-	-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

b) Klasifikace písčitých zemin

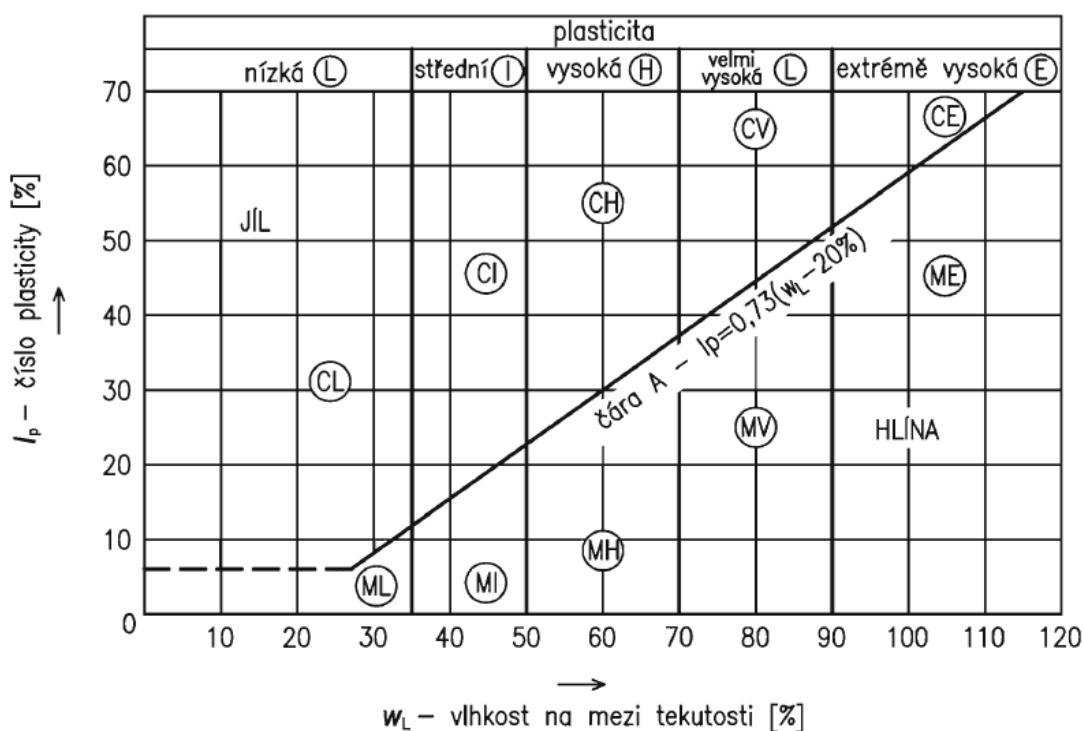
Název zeminy	Symbol	Třída	Kvalitativní znaky			
			Obsah jemnozrnné frakce (<0,06 mm) [%]	C_u [-]	C_c [-]	Diagram plasticity
Písek dobře zrněný	SW	S1	<5	>6	1 až 3	-
Písek špatně zrněný	SP	S2	<5	<6	<1 nebo >3	-
Písek s příměsí jemnozrnné zeminy	S-F	S3	5 až 15	-	-	-
Písek hlinitý	SM	S4	15 až 35	-	-	pod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

c) Klasifikace jemnozrnných zemin

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 písčitá	MS	F3	35 až 65	$g < s$	pod A	-
Jíl písčitý	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



Obr. 3.2 Klasifikační diagram zemin s částicemi < 60 mm (ČSN 75 2410)



Obr. 3.3 Diagram plasticity (pro částice < 0,5 mm) (ČSN 75 2410)

Pro určení charakteristických vlastností zemin se může použít tabulka 3.2. Hodnoty ve sloupcích 8, 9 a 10 platí pro zeminy zhuštěné na maximální objemovou hmotnost zjištěnou standardní Proctorovou zkouškou (ČSN EN 13286-2). Neodpovídá-li zjištěná objemová hmotnost a vlhkost hodnotám ve sloupcích 4 a 5 tabulky 3.2, je třeba mechanické vlastnosti zeminy posoudit individuálně (ČSN 75 2410).

Tab. 3.2 Orientační fyzikálně mechanické vlastnosti zhutněných zemin (ČSN 75 2410)

Skupina	Zdánlivá hustota		Standardní Proctorova zkouška		Objemová hmotnost suché zemin		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 3.3, která je vhodná pro orientační posouzení zemin s vlhkostí blízkou vlhkosti optimální (ČSN 75 2410).

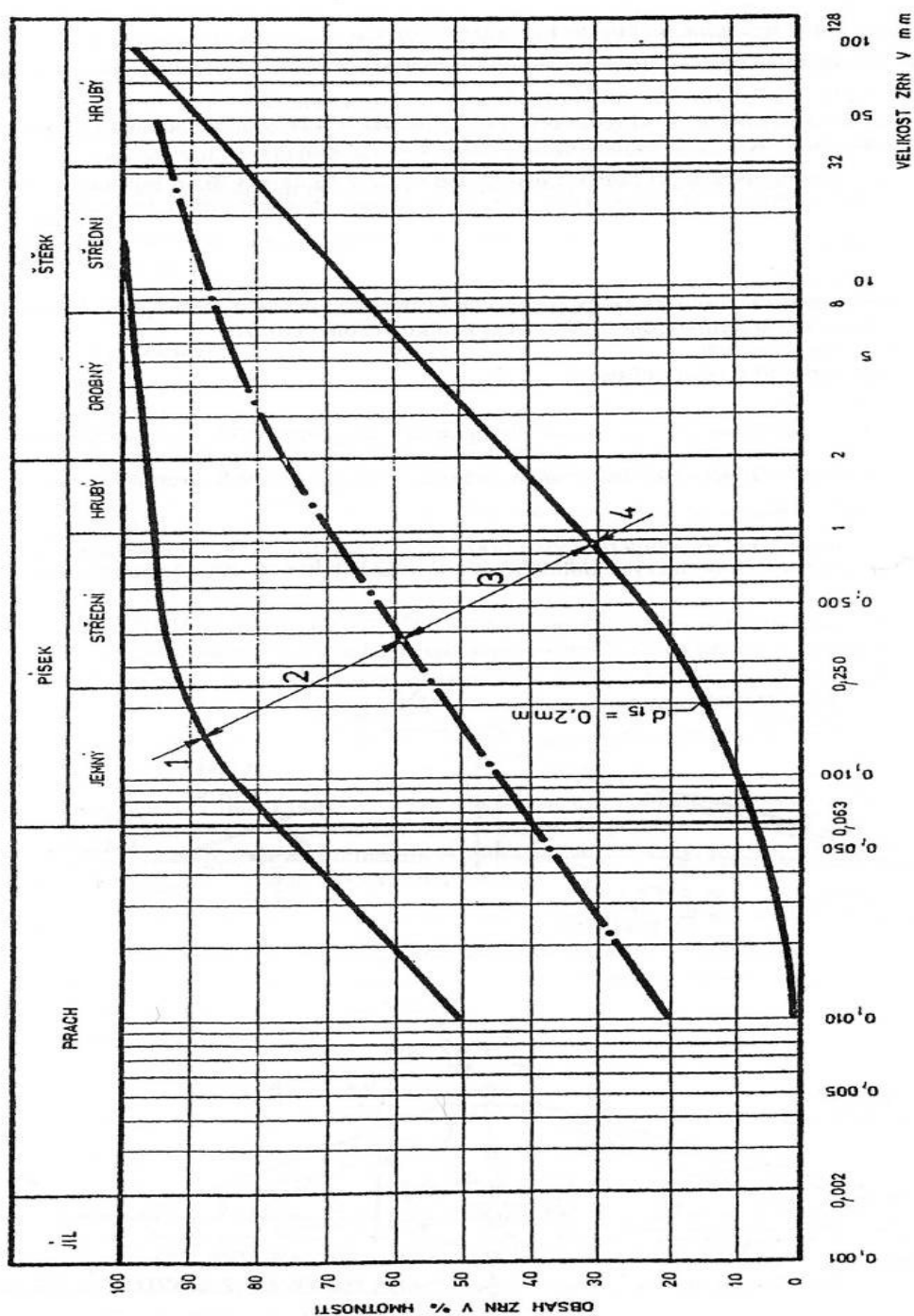
Tab. 3.3 Vhodnost zemin pro různé zóny hutnění hrází (ČSN 75 2410)

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
CH-ME	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná
CH-CE	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná

3.1.2 Zeminy pro těsnicí část hráze

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

- křivka zrnitosti leží v oblasti 2, popř. 1 podle obr. 3.4,
- obsah organických látek není větší než 5% hmotnosti,
- mez tekutosti není větší než 50%,
- velikost největších ojedinělých zrn přesahuje 60 mm,
- číslo (index) plasticity I_p u zemin třídy ML, CL, CS a MS je větší než 8% (ČSN 75 2410).



Obr. 3.4 Křivky zrnitosti [B]

3.1.3 Zeminy pro stabilizační část hráze

Zeminy, ale i jiné stavební materiály, pro stabilizační část hráze, musí být po zhutnění propustné, odolné vůči objemovým změnám vlivem počasí a průsakové vody. Nesmí obsahovat organické látky a takové látky, které by po rozpuštění ve vodě způsobily výrazné zvýšení pórovitosti zhutněné sypaniny, popřípadě by mohly působit agresivně na konstrukci hráze a objektů [B].

3.1.4 Zhutnění

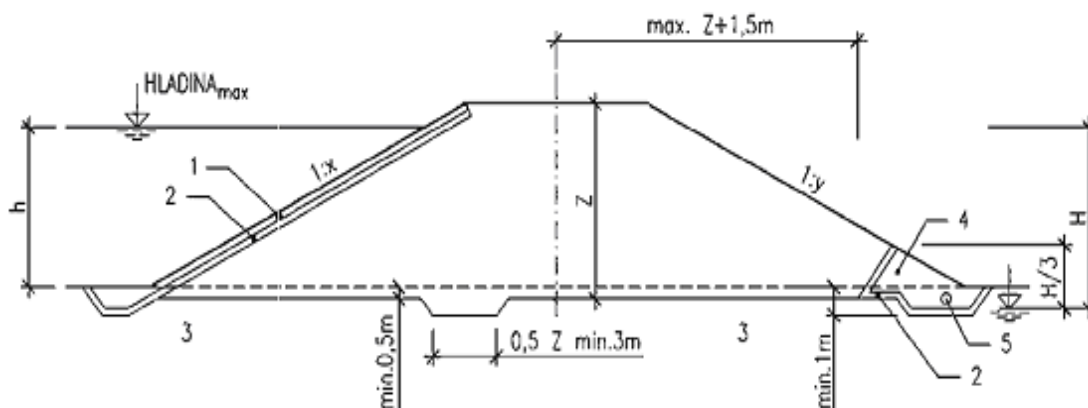
Všechny materiály (zeminy) v tělese hráze musí být řádně zhutněny. Jemnozrnné zeminy se hutní na 95 % maximální objemové hmotnosti sušiny podle standardní Proctorovy zkoušky a u nesoudržných zemin se hutní tak, aby relativní ulehlost dosáhla hodnoty $I_D = 0,8$. U jemnozrnných zemin nemá vlhkost w při hutnění překračovat meze $-2 \% < w_{opt} < +3 \%$ (ČSN 75 2410).

3.2 NÁVRH PŘÍČNÉHO PROFILU HRÁZE

Typ, tvar, konstrukce a založení hráze, musí (ČSN 75 2410) splňovat podmínky filtrační stability hráze a podloží s bezpečným a kontrolovatelným odvedením průsakové vody, statické a deformační stability jednotlivých částí i celku, požadované vodotěsnosti nádrže, bezpečnosti proti přelití a porušení hráze a životnosti vodního díla. V příčném profilu se hráz navrhuje lichoběžníkového tvaru (jednoduchého nebo složeného). V závislosti na použitém materiálu se zemní hráze navrhují jako homogenní (stejnorodé) nebo nehomogenní (nestejnorodé – zonální).

3.2.1 Homogenní hráz

Materiál pro homogenní hráz musí být přiměřeně nepropustný a konstrukčně stálý. Podle ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“ lze tento typ hrází používat pouze do výšky 6 m. Uspořádání hráze, zavázání do nepropustného podloží a nejmenší rozměry patního drénu jsou znázorněny na obr. 3.5.

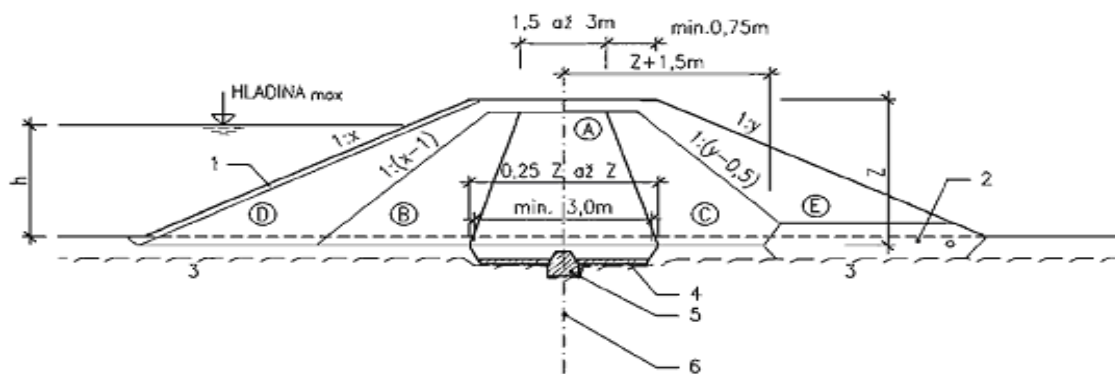


Obr. 3.5 Homogenní hráz na nepropustném podloží (1 - opevnění, 2 - filtr, 3 - nepropustné podloží, 4 - patní drén, 5 - drenážní potrubí) (dle ČSN 75 2410)

3.2.2 Nehomogenní hráz

Nehomogenní zemní hráz je tvořena ze dvou nebo více druhů zeminy. Jednotlivé druhy zemin se do tělesa hráze ukládají odděleně, jak je ukázáno na obr. 3.6 (zóna A – těsnění, zóna B a C – přechodová stabilizační, zóna D a E – stabilizační).

Těsnění nehomogenní zemní hráze se navrhuje jako střední nebo návodní, je nejčastěji tvořeno nepropustnou zeminou, ve výjimečných případech může být tvořeno i jinými materiály (beton, asfaltobeton, plastová folie). Horní část těsnění musí být uložena v nezámrazné hloubce a min. 0,5 m nad maximální hladinou (Šálek, 2001).



Obr. 3.6 Nehomogenní hráz se středním těsněním (1 – opevnění, 2 – drenážní prvek, 3 – skalní podloží, 4 – betonová vyrovnávací vrstva, 5 – betonová zavazující ostruha, 6 – těsnící prvek v podloží) (dle ČSN 75 2410)

3.2.3 Koruna hráze

Na převýšení koruny hráze nad maximální hladinou má vliv několik faktorů. Mezi nejzávažnější náleží konstrukce a umístění těsnění hráze, výběh větrové vlny, odolnost hráze vůči přelití, předpokládané sedání a ochrana tělesa hráze (např. proti zamrzání).

Šířka koruny hráze je dána konstrukcí komunikace, která po ní vede. Pokud se počítá pouze s obslužným provozem (výlov, opravy, atd.) případně turistickým provozem po koruně zemní hráze, navrhuje se její šířka minimálně 3,5 m. Je-li doprava vyloučena a hráz je vyšší než 5 m, musí být šířka koruny hráze alespoň 3 m. Koruna hráze se zpevňuje štěrkem, makadamem, atd. Komunikace vedené po koruně zemní hráze a koruny hrází vodárenských nádrží musí být odvodněny směrem ke vzdušnému líci sklonem 2 % až 3 %. V ostatních případech je odvodnění směrem do nádrže [B].

3.3 FUNKČNÍ OBJEKTY

Funkční objekty na malých vodních nádržích musí zaručit bezpečnost, spolehlivost, snadnou údržbu a obsluhu vodního díla. Funkční objekty se dělí na výpustná zařízení, bezpečnostní přelivy, odběrná zařízení, sdružená zařízení a speciální objekty.

3.3.1 Výpustný objekt

Výpustný objekt je zařízení určené k vypouštění vody z nádrže při různých výškách hladiny. Výpustné zařízení se umísťuje do nejnižšího místa nádrže, aby bylo možno nádrž zcela vypustit a odvodnit. Kapacita výpustí musí umožnit vyprázdnění nádrže

nebo snížení hladiny na požadovanou výšku za daný čas. U nádrží s objemem větším než 1 mil. m³ musí být navrženy výpusti dvě. Minimální průměr spodní výpusti je 300 mm. Na nátok do výpustí se osazují česle (ČSN 75 2410).

Výpustný objekt se skládá ze tří částí, vtokové části, výpustného potrubí a vývaru. Potrubí prochází celým tělesem hráze a navrhuje se tak, aby v něm, za každých podmínek, bylo proudění o volné hladině. Do vtokové části se umisťují uzávěry, mezi nejpoužívanější patří šoupátka, segmenty, stavidla a požeráky (Šálek, 2001).

3.3.2 Bezpečnostní přeliv

Bezpečnostní přeliv je konstruován tak, aby bezpečně převedl vodu z nádrže při povodni a nedošlo tak k přelití koruny hráze. Přelivy se budují zpravidla nehrazené. Hrazený přeliv se může použít tehdy, je-li na hrázi stálá obsluha (ČSN 75 2410).

Bezpečnostní přeliv je dimenzován na kontrolní povodňovou vlnu, která je dána významem díla a zařazením do kategorie. Na přelivu ani v jeho blízkosti nesmí být umístěna zařízení, která by snížila jeho kapacitu nebo způsobila jeho ucpání (např. česle) (ČSN 75 2410).

Přeliv může být podle konstrukčního uspořádání korunový, boční, šachtový, kašnový, žlabový násoskový, doplňkový a nouzový. Korunové přelivy jsou součástí koruny hráze a přelivná hrana je rovnoběžná s osou hráze. Tento typ přelivu se nedoporučuje používat u hrází vyšších než 5 m (ČSN 75 2410).

3.3.3 Odběrná zařízení

Odběrná zařízení se navrhují podle druhu a provozně technických podmínek (např. odběr vody pro závlahu, atd.). Odběry vody se navrhují gravitační nebo tlakové, s konstantním nebo proměnným odběrem vody, z hladiny nebo vhodné hloubky (ČSN 75 2410).

3.3.4 Sdružené objekty

Sdružené funkční objekty plní funkci výpustí, bezpečnostního přelivu a odběrných zařízení. Při návrhu sdruženého objektu je nutné zohlednit jeho technickou, provozní i ekonomickou vhodnost. Nejčastěji používané přelivy u těchto objektů jsou šachtové a žlabové (ČSN 75 2410).

3.3.5 Speciální objekty

Malé vodní nádrže mohou být budovány z mnoha důvodů (zadržení vody v krajině, význam estetický, závlahy, požární nádrže atd.), proto se navrhují speciální objekty, které požadované funkce plní. Uvedené objekty se navrhují individuálně podle místních podmínek a požadavků, např. u rybníčních nádrží je vhodné navrhnout loviště a kádiště, prokysličovací zařízení, příjezdové komunikace a sjezdy do rybníka nebo přístupová schodiště a rampy (ČSN 75 2410).

4 PORUŠENÍ SYPANÝCH ZEMNÍCH HRÁZÍ

S výstavbou sypaných zemních hrází, které zadržují vodu stále nebo jen nárazově, je vždy spojeno riziko jejich porušení. Porušením hráze (Jandora, 2002) vzniká povodňová vlna, která může mít katastrofické následky, jak na lidských životech, tak i na majetku, jehož hodnota může převyšovat i cenu vodního díla.

4.1 PŘÍČINY PORUCH

Návrh jakékoliv hráze nemůže zajistit úplnou bezpečnost a vždy existuje možné riziko jejího porušení. Poruchy zemních hrází (Jandora, 2002) je možné rozdělit na poruchy způsobené erozivní činností proudu vody, filtračními deformacemi, ztrátou stability, aj. Uvedené typy poruch spolu mnohdy vzájemně souvisejí a v praxi se projevují současně nebo vyvolávají jedna druhou.



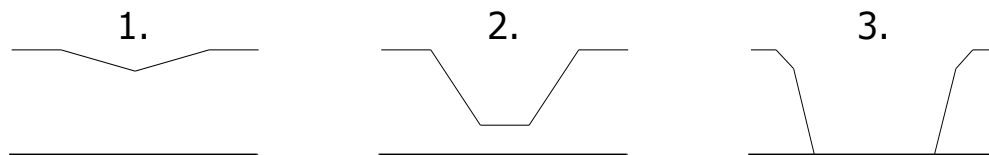
Obr. 4.1 Protržení hráze Melínského rybníka při povodních v roce 2002 [G]

4.1.1 Erozivní činnost proudu vody

Poruchy tělesa zemní hráze způsobené erozivní činností proudu vody lze rozčlenit na poruchy způsobené přelitím (obr. 4.1), působením vln, vodním proudem a povrchovou erozí při intenzivních deštích (Jandora, 2002).

Sypané zemní hráze (Jandora, 2002) nejsou běžně navrhované jako přelévané, a proto mají pouze omezenou odolnost proti porušení povrchovou erozí. Je-li návodní líc nedostatečně opevněn, může dojít k jeho abrazi vlivem výběhu větrových vln.

V důsledku nedostatečné kapacity skluzu pod přelivem nebo odpadního koryta, může dojít k podemletí vzdušné paty hráze.

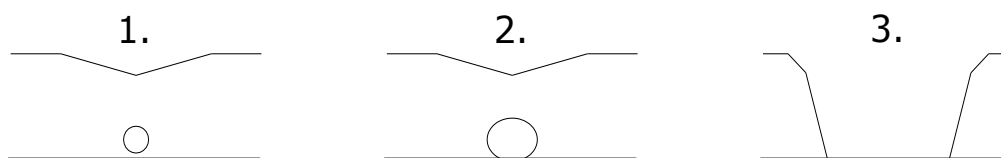


Obr. 4.2 Schéma porušení sypané hráze přelitem (Jandora, 2002)

4.1.2 Filtrační deformace

Poruchy v důsledku filtrační deformace mohou nastat v případě nekontrolovaného průsaku tělesem zemní hráze nebo jejím podložím. Mechanismem vedoucím k poruše může být sufoze (vnitřní, kontaktní, vnější) nebo prolomení těsnicího prvku (Jandora, 2002), což je vyplavování jemnozrnných částic vedoucí ke zvýšení propustnosti materiálů hráze a narušení jejich struktury (vznik dutin a průsakových kanálů).

Prolomení těsnicího prvku (Jandora, 2002) může nastat při jeho oslabení kontaktní sufozí (obr. 4.2), činností zvířat (např. hrabošů nebo bobrů) nebo i vlivem odumírajících kořenů stromů po jejich vykácení. Tyto okolnosti vedou k vytvoření privilegovaných cest (piping) v tělese hráze nebo jejím podloží.



Obr. 4.3 Schéma porušení sypané hráze sufozí (Jandora, 2002)

4.1.3 Další příčiny poruch

K dalším příčinám poruch zemních hrází patří ztráta stability, která může mít formu sesuvu vzdušného nebo návodního líce hráze. Sesuv návodního svahu může způsobit náhlá změna hladiny v nádrži.

Těleso zemní hráze je možno zpevnit vysázením stromů nebo keřů, které svými kořeny zasahují do tělesa hráze, ale kořeny (Jandora, 2011) mohou vést k porušení hráze filtrační deformací a vývraty mohou způsobit nátrže jak na vzdušném, tak i na návodním líci.

5 VODA V ZEMINĚ

Voda je přirozenou, trvalou a velmi důležitou součástí zemin. Obsah vody v konkrétním typu zeminy je značně proměnlivý (závislost na meteorologických, pedologických a dalších faktorech) a výrazně ovlivňuje její fyzikální vlastnosti, což může mít následně dopad i na realizované objekty. Podle ČSN CEN ISO/TS 17892-1 „*Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 1: Stanovení vlhkosti zemin.*“ se obsahem vody v zemině rozumí množství vody, které je možno ze zeminy odstranit vysušováním při teplotě 105°C až 110°C do ustálení hmotnosti.

Voda se v zemině vyskytuje v různých formách a v různých vazbách s částicemi zemin. Je ji možno specifikovat (Šimek, 1990) jako

- gravitační vodu – podléhá síle zemské přitažlivosti a lze ji dělit na vodu
 - volnou – souvisle vyplňuje póry zeminy pod hladinou podzemní vody, její pohyb podmiňuje jen síla gravitace,
 - kapilární – voda vztlínající v úzkých pórových kanálcích v důsledku povrchového napětí vody, sytí zeminu nad hladinou podzemní vody do tzv. kapilární výšky h_k ;
- vázanou (solvatační) vodu – její molekuly jsou připoutané k minerálním povrchům elektromolekulárními silami, ovlivňuje charakteristické vlastnosti (soudržnost, plasticitu) jemnozrnných zemin, podle intenzity vazby se dělí na
 - pevně vázanou (adsorbovaná) – síly vazby se odhadují na stovky až tisíce MPa, voda se chová jako pevná součást minerálních zrn, odstraní se ohřevem nad 150°C až 300°C,
 - slabě vázanou – vazebné síly jsou slabší než u pevně vázané vody, se vzdáleností od povrchu zrn síla vazby klesá, přechod do volné vody je postupný. Část této vody lze odstranit mechanicky (stlačením, odstředěním);
- vodní páru – vyskytuje se v pórech nenasycených zemin, pohybuje se z míst s vyšší vlhkostí do míst s nižší vlhkostí, z míst teplejších do míst chladnějších, má význam při promrzání zemin;
- strukturální vodu – součást minerálů, lze ji definovat jako
 - chemicky vázanou – v podobě H^+ a OH^- iontů je součástí krystalické mřížky, je možno ji odstranit ohřevem nad 200°C, chemické složení se pak mění a minerál se rozpadá,
 - krystalickou vodu – rovněž součástí mřížky, ale zachovává si molekulární formu, při ohřevu nad 60°C odchází, minerály se mění na bezvodné formy (např. sádrovec na anhydrit);
- led – při záporných teplotách se voda v zemině mění postupně na led. Nejdříve zamrzá volná voda, potom kapilární a slabě vázaná voda a při dlouhodobě nízkých teplotách zamrzá i voda pevně vázaná. Čistě sypké zeminu zamrzají stejnoměrně, objem pórové vody vzroste o 9%, v soudržných zeminách (obsahují vázanou vodu) probíhá promrzání nestejnoměrně. Nejdříve zamrzá voda uprostřed pórů, vytváří krystalky, které při stálých nízkých teplotách přerůstají do čoček nebo se spojují do souvislých vrstev různé tloušťky. Zvětšováním objemu V při zamrzání vzniká podtlak (sání). Promrzající vrstva se v průběhu zimy obohacuje kapilární vodou a tepelnou migrací. Při jarním tání led od povrchu terénu postupně taje, přebytečná voda se nemůže přes zmrzlé hlubší vrstvy vsakovat, zemina změkne a ztrácí únosnost → základová spára pod zámraznou hloubkou.

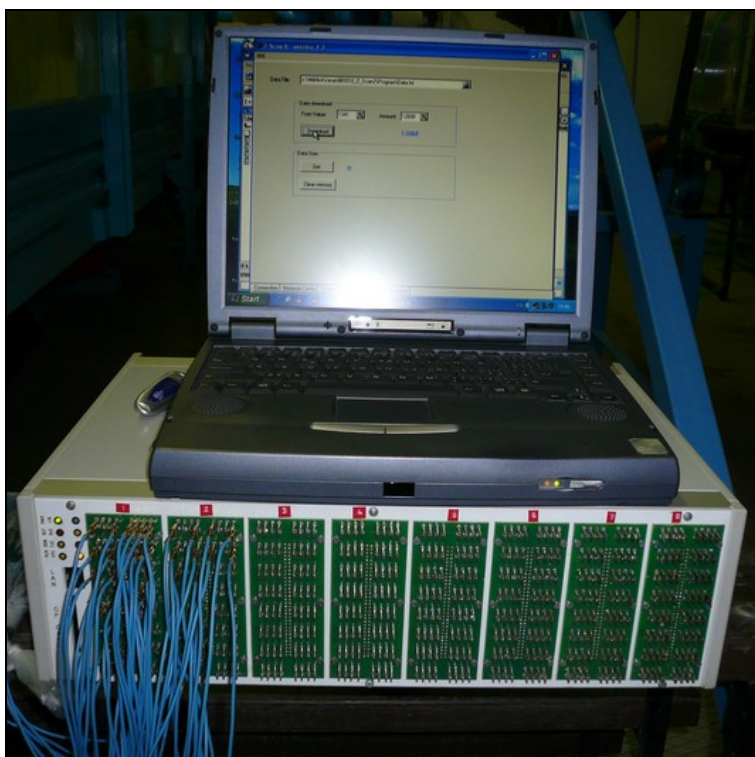
Kvantitativní vyjádření vody v zemině je možno provést prostřednictvím vlhkosti w , objemové vlhkosti n_w nebo stupně nasycení S_r (Weiglová, 2005).

Ačkoli z praktického hlediska s dopadem na stavebnictví má největší význam výskyt volné vody, má obsah vody v zemině svůj význam a vliv i při volbě měřicích metod a měřicích či monitorovacích aparatur, kterými je možno procesy probíhající v zeminách sledovat. Exaktní metody stanovení obsahu vody v zemině resp. vlhkosti lze rozdělit na dvě velké skupiny

- metody přímé, kdy se určí oddělené množství vody obsažené ve vzorku zeminy (metoda gravimetrická, extrakční a pyknometrická) a
- metody nepřímé, které jsou založené na měření jiných elektrických i neelektrických veličin závislých na obsahu vody v zemině (metoda potenciometrická, odporová, kapacitní, dielektrická, tenziometrická, vodivostní, neutronová, gamaskopická, absorpční mikrovlnná, nukleární magnetické rezonance, atd.).

Za základní metodu, podle které se kalibrují ostatní způsoby stanovení vlhkosti zeminy, lze považovat metodu gravimetrickou (vážkovou), kdy se odebraný vzorek půdy zváží a při dohodnuté teplotě se vysuší do konstantní hmotnosti (zpravidla při 105 °C). Hlavní nevýhodou metody je zdoluhavost stanovení a problematický odběr vzorků na "reprezentativním místě". Proto jsou v současnosti stále častěji používány nedestruktivní elektrické metody umožňující sledování dynamiky změn obsahu vody v zemině pomocí stabilně instalovaných snímačů.

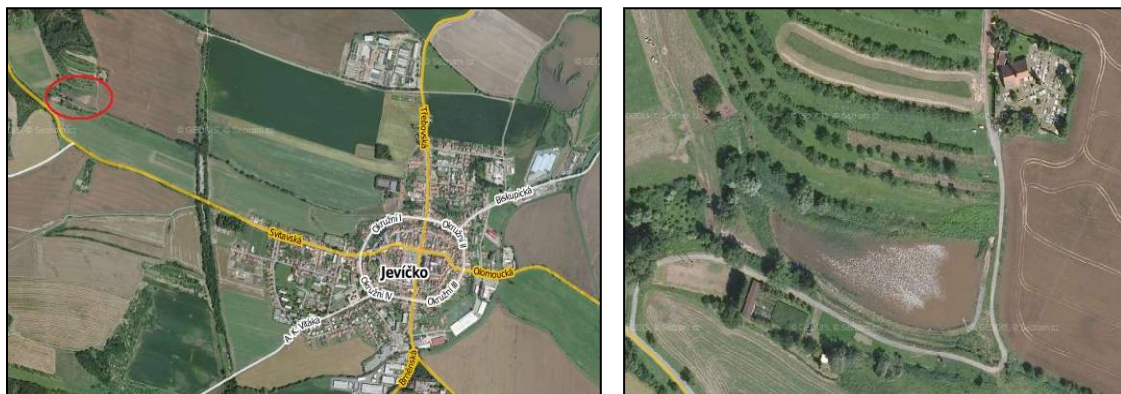
V návaznosti na výše uvedené teoretické poznatky a v souladu se zadáním BP jsem se orientoval na aplikaci nepřímé měřicí metody elektrické impedanční spektrometrie při monitorování zemní hráze rybníka nacházejícího se v katastru obce Jevíčko. Při měření jsem využíval měřicí aparaturu realizovanou v Laboratoři vodohospodářského výzkumu ÚVST (obr. 5.1).



Obr. 5.1 Přístroj Z-metr se 128 měřicími místy

6 POPIS ZÁJMOVÉ LOKALITY

Rybník se nachází v katastru obce Jevíčko při výjezdu směrem na obec Křenov (ZSZ od obce Jevíčko, obr. 6.1) v sousedství kostela se hřbitovem. Lokalita je součástí hydrogeologického rajonu Boskovická brázda, který je nesouměrnou úzkou tektonicky založenou depresí mezi Českomoravskou vrchovinou a Brněnským masivem. Je vyplněna permokarbonskými sedimenty značné mocnosti, které jsou místy překryté sedimenty křídového, neogenního a kvartérního stáří [1].



Obr. 6.1 Situace obce Jevíčko s vyznačením vybudovaného rybníka (veřejné mapové podklady)

Nedaleko nově vybudovaného rybníka se nachází prameniště „Pod Zadním Arnoštovem“, které je využíváno pro zásobování města Jevíčka pitnou vodou. Podle stanoviska hydrogeologa RNDr. Josefa Slavíka ze dne 14. března 2005 [1] nedojde provozováním stavby, chovem ryb se všemi doprovodnými procesy (hnojení rybníka, krmení ryb), k negativnímu, kvalitativnímu a kvantitativnímu ovlivnění uvedeného vodního zdroje.

6.1 VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ

Hráz rybníka je zemní homogenní v půdorysném tvaru písmene „L“ se sklony návodního líce 1:3 a vzdušného líce 1:2 s korunou šířky 2,5 m a délkou 150 m. Kóta koruny hráze je 380,50 m n. m. a maximální výška hráze nade dnem údolí je 2 m. Návodní svah je opevněn v místě vodorysu na délku svahu 2,5 m hrubým kamenným pohozem s urovnáním líce. Vzdušná strana hráze, koruna a návodní strana po opevnění jsou ohumusovány a osety travinou. Z plochy základu zemní hráze je sejmuta ornice a podorničí v tloušťce 30 cm [2].

Vodní plocha rybníka je 0,56 ha, objem vody je 7800 m³, dno se nachází převážně v úrovni původního terénu. Pouze v ploše zemníku před hrází je zahloubena cca 1 m. Hospodářská hladina daná horní hranou dluží v požeráku je určena na kótě 380,00 m n. m. [2].



Obr. 6.2 Vypouštěcí zařízení (Pařílková, 2008)



Obr. 6.3 Měření hloubky před vypouštěcím zařízením (Pařílková, 2008)

Vypouštěcí zařízení je provedeno jako betonový požerák výšky 3,2 m s výpustným potrubím o průměru 30 cm délky 12,5 m. Pod hrází je obetonování v délce 12 m. Přístup na požerák je z koruny hráze po lávce délky 4,5 m s jednostranným zábradlím [2].



Obr. 6.4 Požerák, lávka s jednostranným zábradlím (Pařílek, 2008)



Obr. 6.5 Požerák den po lokální povodni 16.07.2009 (Pařílek, 2009)

Bezpečnostní přeliv, s přelivnou hranou 2,5 m, je proveden jako boční žlab při pravém zavázání hráze. Žlab má přelivnou část z kamenné rovnaniny. Koruna bezpečnostního přelivu je na kótě 380,30 m n. m. [2].



Obr. 6.6 Umístění bezpečnostního přelivu (veřejné mapové podklady)

6.2 VÝSTAVBA HRÁZE A ZKOUŠKY ZHUTNĚNÍ

Hráz byla budována ze zeminy, která byla těžena ze dna budovaného rybníka. V průběhu výstavby zemní hráze, která probíhala ve dvou etapách, byly realizovány kontrolní zkoušky zhutnění tělesa hráze.

6.2.1 První etapa výstavby

První etapa výstavby probíhala v roce 2007. V červenci daného roku byly provedeny zkoušky zhutnění. Z budované hráze bylo odebráno celkem 8 neporušených vzorků zeminy. Místa odběru vzorků byla rovnoměrně rozmístěna po celé délce hráze, přičemž vzorky VZ-1 a VZ-2 byly odebrány z přední části hráze, ostatní vzorky po délce boční hráze. Laboratorním rozbořem bylo stanoveno jejich granulometrické složení, objemové hmotnosti, konzistenční meze a vlhkosti. U vzorku VZ-1 byl navíc stanoven obsah organických částic, a u vzorku VZ-2 obsah uhlíkatů. V místě odběru vzorků VZ-1, VZ-3, VZ-5 a VZ-7 byly též odebrány technologické vzorky zemin pro stanovení zhutnitelnosti zkouškou Proctor Standard. Dále byl pro stanovení zhutnitelnosti odebrán vzorek VZ-9 ze dna budovaného rybníka, neboť byl tento materiál použit pro navýšení hráze. Laboratorní rozborů odebraných vzorků byly provedeny v akreditované laboratoři firmy GEOtest, a.s. [3].

Dle výsledků provedených rozborů bylo zřejmé, že materiál použitý pro násyp hráze je nehomogenní a jeho zrnitostní složení se místo od místa liší, zejména v obsahu frakce hrubší než 0,063 mm, tedy písčité a šterkovité frakce. Vzorek VZ-1 a VZ-9 byl dle ČSN 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ zařazen jako jíl se střední plasticitou třídy F6 CI, vzorky VZ-3 a VZ-5 jako hlína s velmi vysokou až vysokou plasticitou tříd F7 CV a F7 CH. V ostatních vzorcích se vyskytovalo výrazně větší množství hrubozrných částic, vzorky VZ-2, VZ-6 a VZ-7 byly zařazeny jako písčité jíl třídy F4 SC a vzorky VZ-4 a VZ-8 jako písčité hlína třídy F3 MS. Dle ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“ byly zeminy třídy CS klasifikovány jako velmi vhodné, zeminy třídy MS a CI jako vhodné a zeminy třídy CH a CV jako málo vhodné pro homogenní hráze [3].

Ve vzorku VZ-3 byla zjištěna lokální nehomogenita, při laboratorním rozboru byl zjištěn zjevně vysoký obsah organických částic, který zapříčinil zvýšenou vlhkost 52,6%, což je hodnota o 20 % až 30 % vyšší než u ostatních vzorků [3].

Z objemových hmotností, vlhkostí a výsledků provedených zkoušek zhutnitelnosti byla stanovena míra zhutnění na jednotlivých místech hráze. Její výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 6.1.

Dle ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“ je pro sypanou homogenní hráz požadována míra zhutnění 95% PS. Z výsledku zkoušek vyplývá, že zhutnění hráze je dostatečné pouze v přední části hráze, kde byly odebrány vzorky VZ-1 a VZ-2. Boční hráz nebyla dostatečně zhutněná [3].

Tab. 6.1 Výsledky kontrolní zkoušky zhutnění – I. etapa [3]

Číslo vzorku	Objem. hm. vlhké zeminy [kg·m ⁻³]	Vlhkost [%]	Objem. hm. suché zeminy [kg·m ⁻³]	Max. objem. hm. suché zeminy [kg·m ⁻³]	ρ _s [%]	Datum zkoušky
VZ-1	2110	16,5	1811	1731	104,6	16.7.2007
VZ-2	2030	22,4	1659	1639	101,2	16.7.2007
VZ-3	1770	52,6	1160	1575	73,6	16.7.2007
VZ-4	1820	22,1	1491	1639	90,9	16.7.2007
VZ-5	1860	32,1	1408	1591	88,5	16.7.2007
VZ-6	1860	25,2	1486	1639	90,6	16.7.2007
VZ-7	1890	26,5	1494	1639	91,2	16.7.2007
VZ-8	1830	25,4	1459	1639	89,0	16.7.2007

V těsné blízkosti míst odběru vzorků VZ-1, VZ-3, VZ-5 a VZ-7 bylo navíc kontrolně provedeno stanovení objemové hmotnosti polní zkouškou membránovým objemoměrem. Ze získaných údajů byla i zde stanovena míra zhutnění, která je uvedena v tabulce č. 6.2 [3].



Obr. 6.7 Místo kontrolní zkoušky zhutnění na hrázi – jamka po membránovém objemoměru (GEOtest, a.s., 07/2007)

Tab. 6.2 Výsledky polní zkoušky [3]

Zkouška u místa odběru vzorku	Obejm zkušební jamky [cm ³]	Váha vlhké zeminy [g]	Objem. hm. vlhké zeminy [kg·m ⁻³]	Vlhkost [%]	Objem. hm. suché zeminy [kg·m ⁻³]	Max. objem. hm. suché zeminy [kg·m ⁻³]	PS [%]	Datum zkoušky
VZ-1	7614	1473	1935	18,1	1638	1731	94,6	16.7.2007
VZ-3	12738	2249	1766	33,1	1327	1575	84,3	16.7.2007
VZ-5	11435	2389	2089	28,3	1629	1591	102,4	16.7.2007
VZ-7	13462	2476	1839	27,6	1442	1639	88,0	16.7.2007

Z provedených zkoušek je patrné, že míra zhutnění se místo od místa liší, a to dosti výrazně. Výsledky zkoušek se liší až o 16% oproti výsledkům stanoveným na odebraných neporušených vzorcích. Výsledky zkoušky provedené u místa odběru vzorku VZ-1 se blíží k požadované hodnotě, zkouška u místa odběru vzorku VZ-5 dosahuje požadované hodnoty. Ostatní zkoušky nesplňují kritéria požadovaná ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“ [3].

Vzhledem k tomu, že zhutnění zejména boční hráze nebylo dostačující, bylo doporučeno skrytí svrchní vrstvy násypu hráze včetně odstranění travního porostu a přehutnění násypu pojezdem silničním vibračním válečkem [3].

6.2.2 Druhá etapa výstavby

Po provedení doporučených nápravných opatření, kdy byla současně navýšena koruna zemní hráze na projektovanou úroveň přibližně o 1 m [4], byly v červenci 2008 provedeny druhé kontrolní zkoušky zhutnění hráze rybníka.

Následná kontrola zhutnění hráze byla provedena pěti zkouškami míry zhutnění zeminy jamkovou metodou pomocí membránového objemoměru jako v předešlém případě. Označení podle míst odběru vzorků zemin VZ-11 až VZ-15 navazovalo na předešlou etapu. [4].

Zkouška VZ-11 byla realizována na přední části hráze v úseku mezi profily 1 a 2 v hloubce 1 m pod korunou hráze, zkouška VZ-12 proběhla v blízkosti profilu 3 v hloubce 2 m pod korunou hráze. Tyto zkoušky byly realizovány na návodní straně hráze. Zkoušky VZ-13, VZ-14 a VZ-15 ověřovaly zhutnění koruny hráze v profilech 6, 9 a 11 (obr. 6.9) v hloubce 0 – 0,5 m pod korunou hráze [4].

Pro stanovení zhutnitelnosti zeminy a jejího granulometrického složení byly v těsné blízkosti míst zkoušek odebrány technologické vzorky zeminy. V akreditované laboratoři mechaniky zemin firmy GEOtest, a.s. bylo stanoveno zrnitostní složení odebraných zemin, jejich vlhkost a konzistenční meze. Na základě zjištěného zrnitostního složení byly zeminy zařazeny do tříd dle ČSN 73 1001 „Základová půda

pod plošnými základy“. Zkouškou zhutnitelnosti metodou Proctor Standard dle ČSN 72 1015 „Laboratorní stanovení zhutnitelnosti zemin“ byla zjištěna maximální objemová hmotnost zeminy při její optimální vlhkosti. V tabulce č. 6.3 je uveden souhrn zjištěných vlastností zemin včetně jejich zařídění dle ČSN 73 1001 [4].

Tab. 6.3 Vlastnosti a zařídění zemin – II. etapa [4]

Číslo vzorku	Hloubka odběru vzorku [m]	Lokalizace odběru vzorku	Vlhkost [%]	Konzistence	Max. objem. hm. suché zeminy [kg·m ⁻³]	Optimální vlhkost [%]	Zařídění zeminy dle ČSN 73 1001
VZ-11	-1,0	profil 1 - 2	17,2	pevná	1700	18,0	F6 CI
VZ-12	-2,0	profil 3	11,7	pevná	1857	13,0	F4 CS
VZ-13	-0,5	profil 6	18,4	pevná	1840	13,3	F4 CS
VZ-14	-0,3	profil 9	22,8	pevná	1675	17,8	F7 MH
VZ-15	0,0	profil 11	23,3	pevná	1653	18,2	F8 CH

Uvedené zařídění zemin se podobá zařídění zemin zjištěnému v předchozí etapě výstavby hráze. Opět je zde patrná nehomogenita materiálu hráze, který lze dle ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“ zařadit podle vhodnosti do homogenní hráze od materiálu velmi vhodného (třída CS) přes materiál vhodný (třída CI) až po materiál málo vhodný (třídy MH a CH) [4].

Stejnými postupy jako v předchozí etapě byla stanovena míra zhutnění zeminy v místech odběru jednotlivých vzorků, jejich výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 6.4 [4].

Tab. 6.4 Výsledky polní zkoušky – II. etapa [4]

Zkouška u místa odběru vzorku	Obejm zkušební jamky cm ³	Váha vlhké zeminy g	Objem. hm. vlhké zeminy [kg·m ⁻³]	Vlhkost [%]	Objem. hm. suché zeminy [kg·m ⁻³]	Max. objem. hm. suché zeminy [kg·m ⁻³]	ρ_s [%]	Datum zkoušky
VZ-11	9843	1936	1967	17,9	1668	1700	98,1	18.7.2008
VZ-12	8106	1841	2271	11,5	2037	1857	109,7	18.7.2008
VZ-13	11001	2179	1981	19,1	1663	1840	90,4	18.7.2008
VZ-14	12593	2532	2011	20,9	1663	1675	99,3	18.7.2008
VZ-15	11870	2311	1947	22,2	1593	1653	96,4	18.7.2008

Jak vyplývá z provedených zkoušek, všechny vzorky, mimo vzorek VZ-13, splnily normou ČSN 74 2410 „Malé vodní nádrže“ požadovanou míru zhutnění.

Vzorek VZ-13 požadavku definovanému normou nevyhovuje. Pro dosažení požadované hodnoty míry zhutnění bylo doporučeno v okolí profilu 6 (obr. 6.9) skryt vrstvu do hloubky cca 1,0 m pod úroveň hráze (0,5 m pod úroveň místa zkoušky), a materiál hráze lokálně nahradit zeminou o nižší přirozené vlhkosti a znovu zhutnit do požadované úrovně [4].

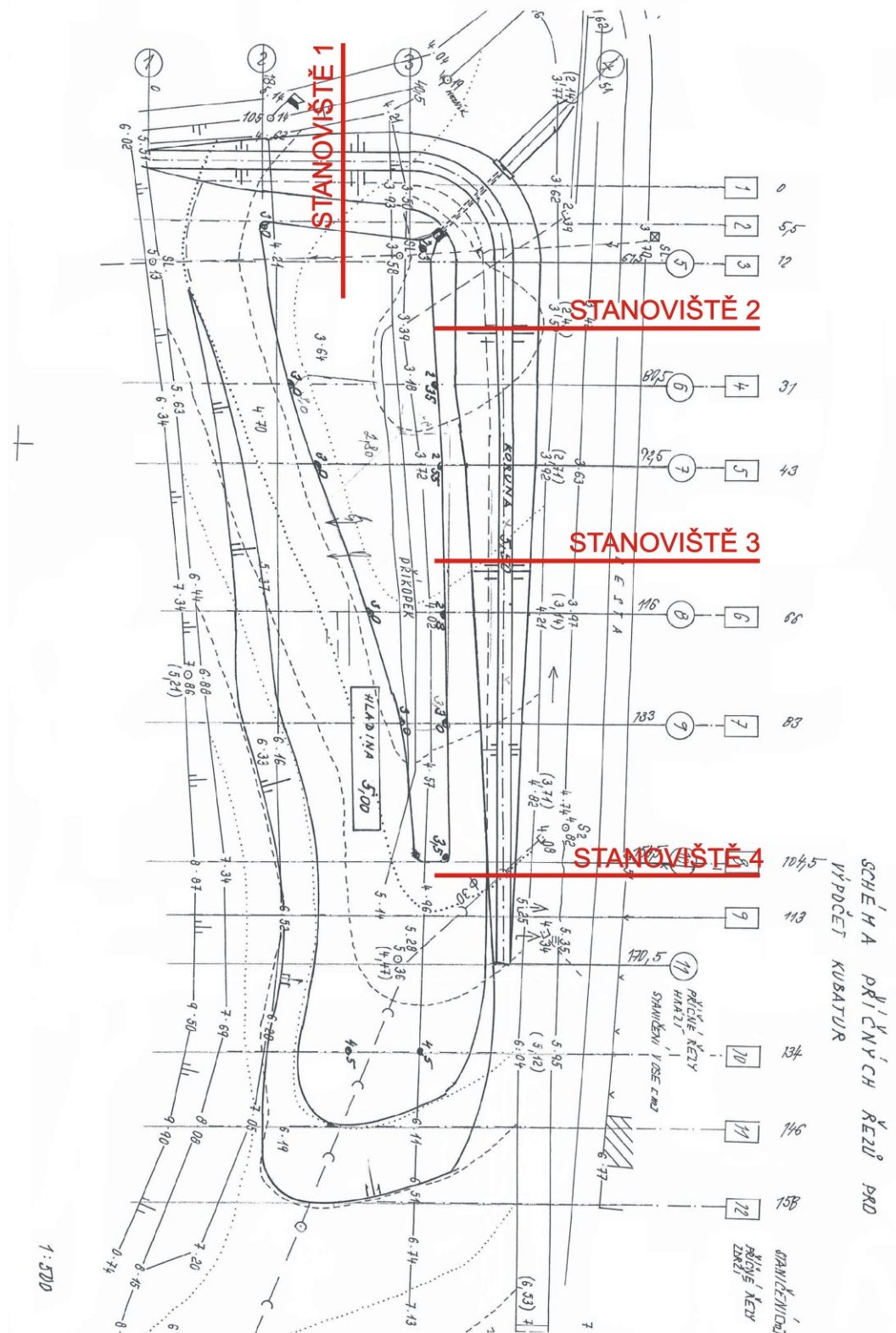
Po provedení uvedeného opatření byla provedena kontrolní zkouška míry zhutnění a bylo konstatováno, že i vzorek VZ-13 vyhověl.

6.3 NÁVRH MĚŘICÍCH STANOVÍŠŤ

Na základě zjištěného granulometrického složení materiálu zemní hráze byly po její délce navrženy čtyři stanoviště (Pařílková, 2010), na kterých probíhá monitorování změn elektrické vodivosti za použití sond EIS. Při výběru monitorovaných částí hráze bylo přihlédnuto ke vzniklým obtížím zjištěným při kontrolních zkouškách zhutnění hráze. Uvedená stanoviště jsou vyznačena na situaci lokality na obr. 6.8 a obr. 6.9.



Obr. 6.8 Situace rybníka s vyznačením měřených profilů (veřejné mapové podklady)



(obr. 6.10a). Na poli pod hrází však bývá pozorovatelný průsak (obr. 6.10b), který může signalizovat vznik privilegovaných cest podložím vybudovaného rybníka.



Obr. 6.10a Stanoviště 1 – měření 06.10.2011 (Pařílek, 2011)



Obr. 6.10b Průsak na poli za stanovištěm 1 – 27.04.2012 (Pařílková, 2012)

Druhé stanoviště (obr. 6.11) bylo určeno v blízkosti profilu č. 6 (obr. 6.9). Zde je zemní hráz tvořena písčítým jílem třídy F4 CS. Tato zemina je také vhodná pro konstrukci homogenní hráze. Kontrolními zkouškami zde bylo ale zjištěno nedostatečné zhutnění tělesa hráze. Měřením elektrické vodivosti, která koresponduje s vlhkostí zeminy, zde bude ověřeno, jestli nedochází k průsakům v horní části tělesa hráze (po úplném napuštění rybníka), neboť po provedení nápravných opatření již nebyly další zkoušky realizovány.



Obr. 6.11 Stanoviště 2 – navýšení zemní hráze rybníka, 25.11.2010 (Pařílková, 2010)

Třetí stanoviště (obr. 6.12) je situováno do oblasti profilu č. 8 – 9 (obr. 6.9). Zde je povrchová vrstva hráze tvořena jílovitou hlínou s vysokou plasticitou třídy F7 MH, která je pro homogenní sypané zemní hráze málo vhodná. Kontrolní zkoušky zhutnění byly na uvedeném stanovišti vyhovující. Monitorování ověřuje, jaký má málo vhodná jílovitá hlína vliv na propustnost hráze.



Obr. 6.12 Stanoviště 3 – měření 6.10.2011 (Pařílek, 2011)

Čtvrté stanoviště (obr. 6.13) je lokalizováno na koncové části hráze v blízkosti profilu č. 10 (obr. 6.9). Hráz je tvořena v horní části vhodným písčitým jílem třídy F4 CS. V první fázi výstavby zde bylo zjištěno nedostatečné zhutnění tělesa hráze. Monitorování ověřuje, zda byla nápravná opatření řádně provedena a nedochází-li ve spodních úrovních hráze k průsakům vody.



Obr. 6.13 Stanoviště 4 – měření 24.03.2011 (Pařílek, 2011)

V průběhu provozu se však na tělese hráze začala objevovat lokální poškození (obr. 6.14) způsobená patrně činností živočichů. V listopadu 2010 byla proto zemní hráz rybníka na základě doporučení plynoucích z pozorování a monitorování v délce od stanoviště 1 až po stanoviště 3 navýšena, přidaná zemina byla přehutněna pojezdem a pozorovaná lokální poškození byla přidanou zeminou sanována.



Obr. 6.14 Poškození hráze mezi stanovišti 2 a 3 – 21.07.2010 (Pařílek, 2010)

7 MĚŘICÍ METODA EIS

Z předchozího textu je zřejmé, že jednou ze základních fyzikálních charakteristik zemin je obsah vody, který má v konkrétním typu zeminy značný a někdy i rozhodující vliv na schopnost zhutnění. Možnou měřicí metodou umožňující sledování změn obsahu vody resp. vlhkosti v zeminách je EIS, která patří do skupiny nepřímých elektrických měřicích metod.

Metoda EIS umožňuje zjistit rozložení elektrické impedance či dalších elektrických veličin z ní vyplývajících (elektrické vodivosti, rezistivity, konduktivity apod.) uvnitř sledovaného objektu (homogenního i heterogenního), a tak sledovat jeho vnitřní strukturu a její změny. Vzhledem použitým elektrodám a způsobu jejich umístění do sledovaného objektu je možno metodu použít jako nedestruktivní (sondy trvale zůstávají ve sledovaném objektu) invazivní nebo neinvazivní (Pařílková, 2008). EIS je využívána při měření vlastností organických i anorganických látek. Představuje velmi citlivý nástroj pro sledování jevů probíhajících v objektech (např. změny probíhající v zemních hrázích při jejich zatížení vodou, v kanalizačních systémech při transportu vod se sedimenty, ve vlhkém zdivu při jeho vysoušení, dokumentování procesu vysoušení dřevěných stavebních prvků) nebo elektrokinetické jevy na rozhraní (např. elektroda zrno zeminy, mezi zrny zeminy).

7.1 ELEKTRICKÁ IMPEDANCE

Elektrická impedance je komplexní veličina (osahuje reálnou a imaginární složku), která popisuje zdánlivý elektrický odpor pórovitého prostředí a fázový posuv elektrického napětí proti elektrickému proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu dané frekvence. Podobně jako elektrický odpor charakterizuje vlastnosti zeminy pro stejnosměrný proud, elektrická impedance charakterizuje vlastnosti zeminy pro střídavý proud. Elektrická impedance je základní veličinou, kterou je třeba znát pro analýzu střídavých elektrických obvodů. Termínem střídavý signál je možno označit každý signál (harmonický, trojúhelníkový, pilový, obdélníkový, impulsní apod.), jehož směr se periodicky střídá (Pařílková, 2011).

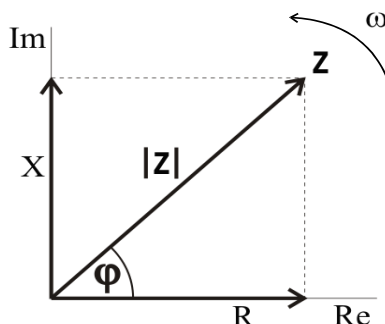
Jednotka elektrické impedance je shodná s jednotkou elektrického odporu, kterou je ohm $[\Omega]$. Na rozdíl od elektrického odporu, kde je napětí s proudem ve fázi, u elektrické impedance mohou být fázově posunuty. Elektrickou impedanci Z lze vyjádřit Ohmovým vztahem, který definoval německý fyzik George Simon Ohm na základě svých experimentálních zjištění v roce 1827, pro střídavé obvody, tj. poměrem fázoru elektrického napětí U a fázoru elektrického proudu I (Sedláček, 2010)

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

Frekvenční charakteristiku elektrické impedance Z lze vyjádřit jako funkci komplexní proměnné v algebraickém tvaru (Sedláček, 2010)

$$Z = R + iX, \quad (2)$$

kde R je elektrický odpor (rezistance) tvořící reálnou část elektrické impedance nezávislou na frekvenci a imaginární složka elektrické impedance je reaktance X , která se mění s frekvencí. Fázor elektrické impedance Z tvořený fázory U a I je uveden na obrázku (obr. 7.1) (Sedláček, 2010).



Obr. 7.1 Grafické vyjádření fázoru elektrické impedance (Pařílková, 2011)

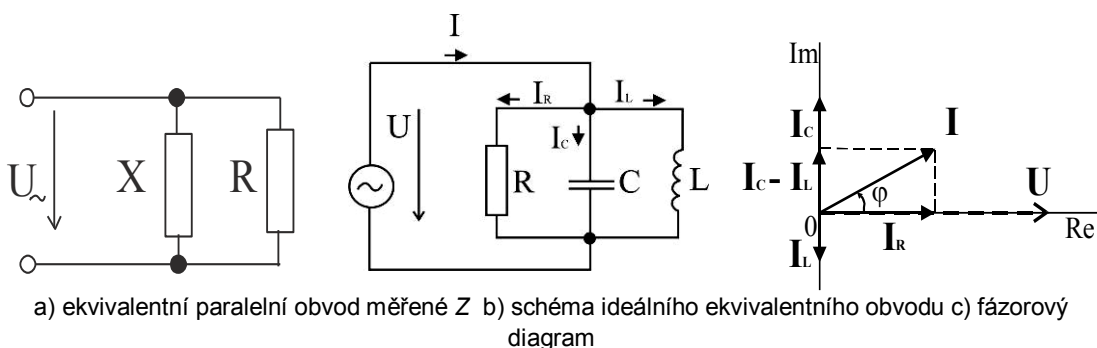
Na obr. 6.1 je také znázorněn modul vektoru impedance $|Z|$, který je možné vypočítat Pythagorovou větou (3), a fázový posun φ vyjádřený vztahem (4) (Pařílková, 2011)

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

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

Jak vyplývá ze vztahu (2) elektrická impedance je vždy větší nebo rovna reálnému elektrickému odporu v obvodu a závisí na zdánlivých odporech tj. indukanci (reaktance induktoru) X_L a kapacitanci (reaktance kapacitoru) X_C jednotlivých prvků obvodu střídavého proudu (Pařílková, 2011).

Pórovité zemní prostředí lze popsat elektrickou impedancí ekvivalentního elektrického obvodu tvořeného kombinací rezistoru R , induktoru L a kapacitoru C . Jejich zapojení v obvodu střídavého proudu je možné sériové (pro všechny prvky obvodu je společný fázor proudu) nebo paralelní (pro všechny prvky obvodu je společný fázor napětí), které se pro měření v zeminách ukázalo vhodnějším (obr. 7.2), (Pařílková, 2011).



Obr. 7.2 Ekvivalentní obvod měřené impedance (Pařílková, 2011)

7.1.1 Další veličiny

Inverzní hodnotou k měřené elektrické impedanci Z je admitance Y [S], která popisuje zdánlivou elektrickou vodivost monitorovaného prostředí a fázový posuv napětí proti proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu dané frekvence [A]

$$Y = \frac{1}{|Z|}. \quad (5)$$

Další důležitou veličinou je elektrická vodivost (konduktance) G [S], která vyjadřuje schopnost vodiče tvořeného zeminou s různým obsahem vody a minerálních solí vést elektrický proud. Čím větší je vodivost, tím silnější elektrický proud prochází vodičem při stejném napětí. Dobrý vodič má vysokou hodnotu elektrické vodivosti, špatný vodič má nízkou hodnotu elektrické vodivosti [E].

$$G = \frac{1}{R}. \quad (6)$$

S odporem R jsou také spojeny rezistivita ρ [Ωm] a konduktivita σ [$\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$]. Rezistivita (měrný elektrický odpor nebo také specifický elektrický odpor) vyjadřuje (7) elektrický odpor vodiče jednotkové délky (1 m) a jednotkové plochy kolmého průřezu (1 m^2) [E]

$$\rho = R \frac{A}{L}, \quad (7)$$

kde R [Ω] je elektrický odpor, A [m^2] je průřezová plocha vodiče počítaná z délky elektrody a L [m] je vzdálenost mezi elektrodami.

Konduktivita (měrná elektrická vodivost) popisuje schopnost zeminy vést elektrický proud. Zemina, která je dobrým vodičem, má vysokou hodnotu konduktivity (8), zeminy špatně vedoucí elektrický proud mají nízkou hodnotu konduktivity [E]

$$\sigma = \frac{1}{\rho}. \quad (8)$$

Konduktivita vody je dána obsahem všech vodivých látek v ní obsažených. Představuje přibližnou míru koncentrace iontů ve vodě resp. iontově rozpuštěných látek, s nimiž se voda v zemině potká a rozpustí [D], kromě plynů. Vyjadřuje proto nepřímý obsah minerálních látek (solí), které se ve vodě nacházejí. Limit vodivosti pro pitnou vodu je $125 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ (ČSN 75 7111, 1991), což odpovídá obsahu rozpuštěných látek asi $1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (vynásobením hodnoty elektrické vodivosti osmi se získá přibližná hodnota rozpuštěných látek v $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Optimálně by však pitná voda měla obsahovat rozpuštěných látek méně, asi $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ až $400 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (asi $25 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ až $50 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$). Vody s mineralizací více než $1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ se považují za minerální a nejsou vhodné pro stálé pití. V závislosti na složení mohou mít nepříjemnou chuť nebo i způsobit průjemové onemocnění. Časté jsou technické potíže např. snižování životnosti potrubí a ohřivačů teplé vody [F].

Destilovaná voda má konduktivitu $0,05 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ až $0,3 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$. Povrchové a podzemní vody $5 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ až $50 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$, některé průmyslové vody mohou mít hodnotu vyšší než $103 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$. Průměrná konduktivita pitných vod v ČR je asi $40 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$. Pro kojeneckou a stolní vodu platí mezní hodnota konduktivity $100 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Je tedy zřejmé, že konduktivita je velmi důležitým parametrem, který lze uvedenou metodou EIS stanovit.

7.2 MĚŘICÍ SONDY

Z fyzikálního hlediska lze sondy metody EIS charakterizovat jako pasivní snímače, které při působení měřené veličiny mění svoji charakteristickou vlastnost. Změna vlastnosti je proto mírou hodnoty měřené neelektrické veličiny. Z hlediska zapojení bylo při měření využito dvousvorkové zapojení při dodržení zásady těsného kontaktu snímače sondy s obklopujícím prostředím. Dvousvorkové zapojení neeliminuje vliv úbytků napětí na odporu přívodních kabelů a na přechodových odporech mezi snímači a měřeným prostředím. Pro změny sledované elektrické impedance vyvolané různým zatížením zemního profilu vodou je však dostatečně citlivé a přesné.

Sondy jsou osazeny na návodním i vzdušném líci zemní hráze rybníka cca 0,5 m pod hranou její koruny. Měřicí sondu tvoří dvě trubice, na nichž je 7 pasivních snímačů. V pravidelných délkách $d = 0,15 \text{ m}$ se střídá vodivý materiál – měřicí elektroda s nevodivým materiálem – izolant. Měřicí elektrody jsou vyrobeny z nerezových trubek s tloušťkou stěny $0,002 \text{ m}$ a vnějším průměrem $0,025 \text{ m}$, jako izolant byla použita polyamidová trubka stejných parametrů. Celková délka sond je $2,00 \text{ m}$ (obr. 7.3). Vzdálenost elektrodových trubic je $L = 2,0 \text{ m}$.

Středem trubic jsou vedeny k jednotlivým měřicím elektrodám vodiče zajišťující přenos budicího (el. proudu) a měřeného (el. napětí) signálu. Aby nedocházelo k průniku vlhkosti do prostoru s vodiči (parazitní elektrický odpor), jsou jednotlivé díly sondy spojeny těsnícím nevodivým silikonovým materiálem, který rovněž těsní sondy v jejich povrchové vrstvě. Vodiče jsou opatřeny popiskami a ukončeny konektorem faston.



detail elektrod

ukončení konektorem faston

Obr. 7.3 Tyčová dělená sonda (Pařílková, 2008)

7.3 INSTALACE SOND

Při zahájení napouštění rybníka dne 25.9.2008 byly do tělesa hráze ve zvolených profilech 1 až 4 (obr. 6.9) instalovány sondy EIS, kterými jsou sledovány změny probíhající v konstrukci zemní hráze v závislosti na změně úrovně hladiny vody v nádrži a na povětrnosti.

Instalaci sond (obr. 7.4) provedl pan Pařílek (VUT v Brně) a Ing. Pavlík (GEOtest, a.s.).

Nejprve byly do tělesa hráze v požadované délce a vzdálenosti vyhloubeny dva paralelní otvory, které byly následně rozšířeny na průměr tj. 0,027 m. Do připravených otvorů byly umístěny tyče s elektrodami, jejichž konce při povrchu hráze byly zaslepeny silikonovým tmelem. Volné konce vodičů opatřené popiskou a konektorem faston byly v igelitovém obalu umístěny pod povrch hráze. Na povrchu je těleso zemní hráze vždy upraveno tak, aby měřicí místa nebyla zřetelná.

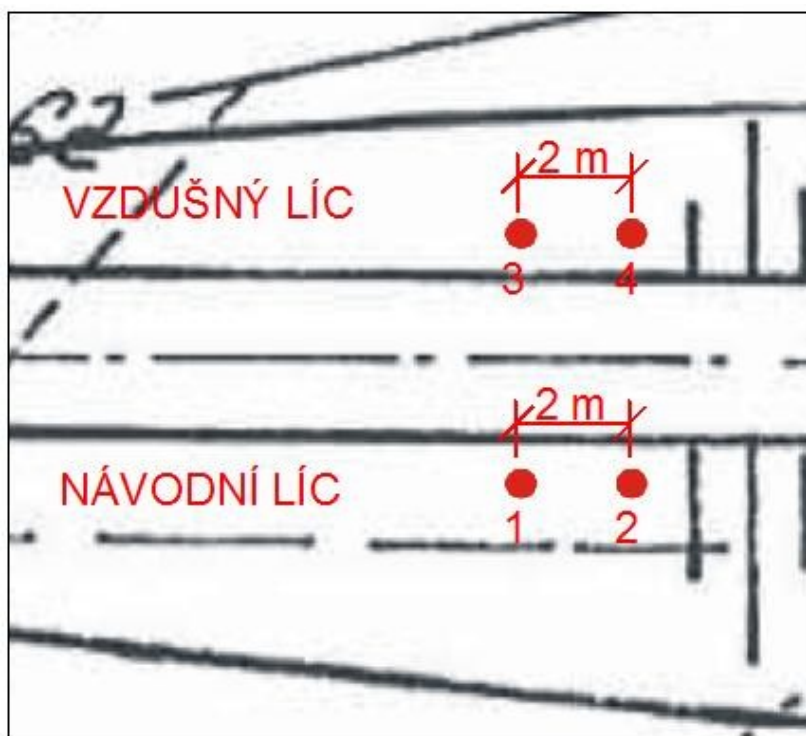




Obr. 7.4 Instalace měřicích sond (Pařílková, 2008)

8 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Na hrázi rybníka v Jevíčku jsou na čtyřech vybraných stanovištích (obr. 5.8 a obr. 5.9) instalovány vždy dvě sondy (pracovní označení tyčí se sedmi elektrodami je 1, 2, 3 a 4 – obr. 7.1). Jedna sonda, s označením tyčí 1 a 2, je na návodním líci hráze a druhá sonda, s označením tyčí 3 a 4, se nachází v protilehlé úrovni na vzdušném líci hráze.

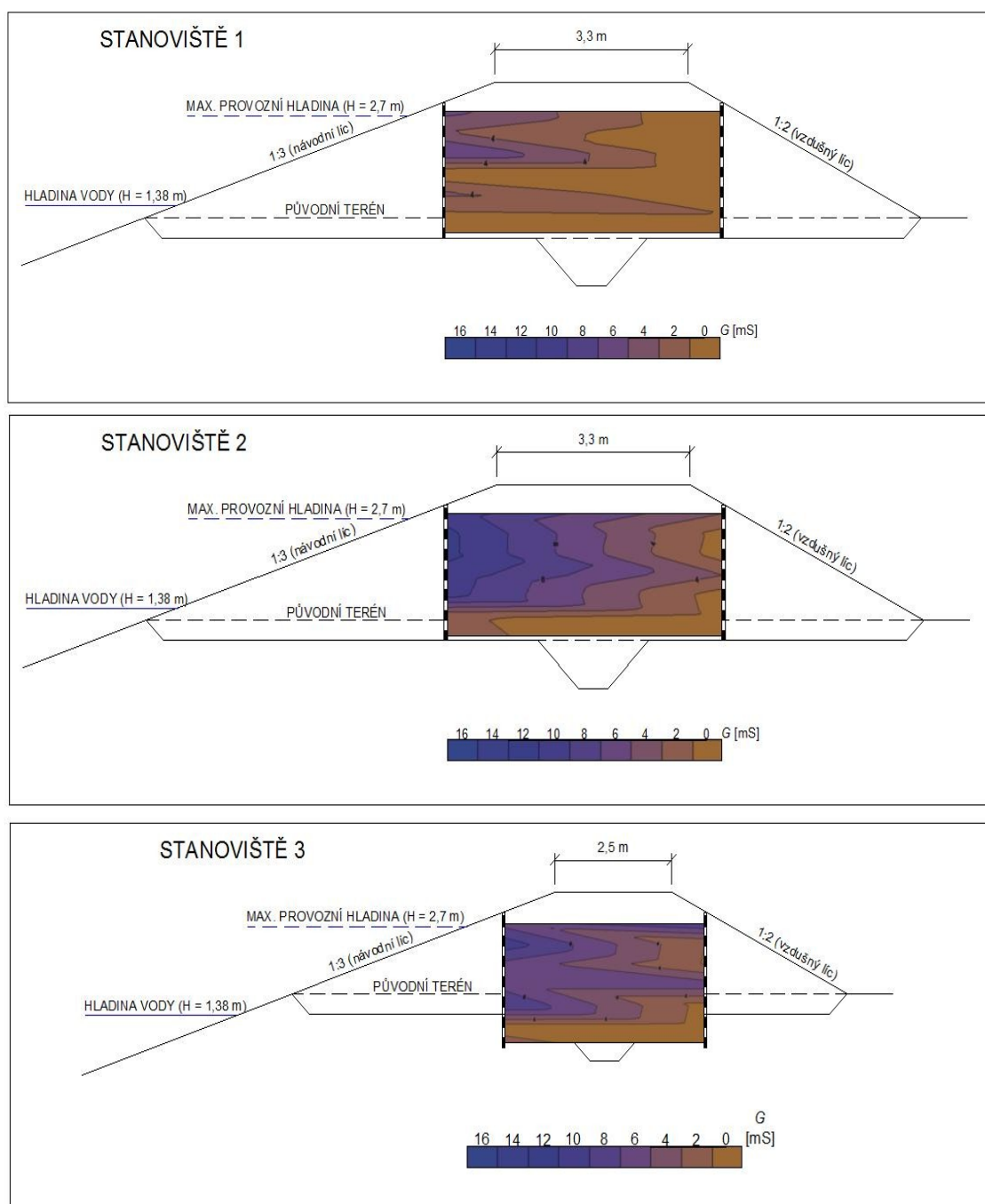


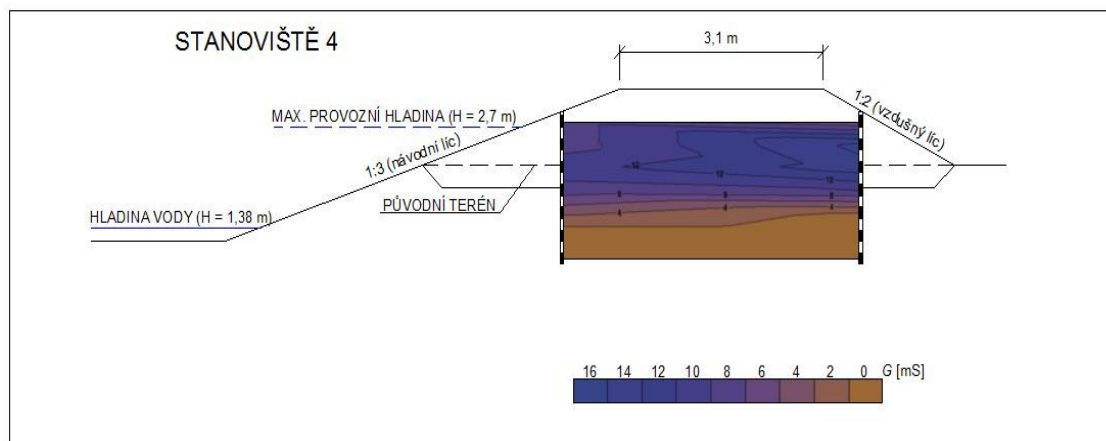
Obr. 8.1 Detail stanoviště s označením sond

Měřilo se jednou za měsíc, pokud to přírodní podmínky a stav hráze dovolily. Monitorování se nerealizovalo v zimních měsících (prosinec, leden, únor), kdy byl obtížný vjezd na lokalitu a funkci vypovídal monitor nadřazeného počítače, který proces snímání dat řídil prostřednictvím programu Z-Scan. Na každém stanovišti jsou vyhodnoceny vždy čtyři směry, návodní líc (1-2), vzdušný líc (3-4) a dva příčné profily (1-3 a 2-4). V každé měřené úrovni h_x bylo odečteno 5 až 15 hodnot elektrického odporu R (případně reaktance X), z nichž byla vyjádřena elektrická vodivost G jako inverzní hodnota aritmetického průměru R . Hodnoty, které výrazně vybočovaly z měřené řady (výrazně vyšší či naopak nízké) byly ze zpracování vyloučeny. Tyto výkyvy byly způsobeny v převážné míře špatným kontaktem sondy s přístrojem Z-metr, na což mělo zásadní vliv i postupné navyšování koruny hráze v důsledku zjišťovaných lokálních poruch. Délka přívodních vodičů k sondě byla dimenzována na původní geometrii hráze, avšak při jejích úpravách se dařilo jen velmi obtížně zajistit propojení ve všech sledovaných směrech. Měření bylo provedeno vždy při frekvenci budicího signálu $f = 8\,000\text{ Hz}$ a doba přepínání mezi měřeními byla zvolena $t = 200\text{ ms}$. Pro možnost grafického vyjádření byly hodnoty zjištěných elektrických vodivostí v jednotlivých úrovních vztaženy ke geometrickému středu měřeného profilu. Pokud byla vyjádřena časová změna elektrické vodivosti na jednotlivých stanovištích, potom se jedná o aritmetický průměr elektrické vodivosti ze všech úrovní měřeného profilu.

8.1 NAPOUŠTĚNÍ RYBNÍKA

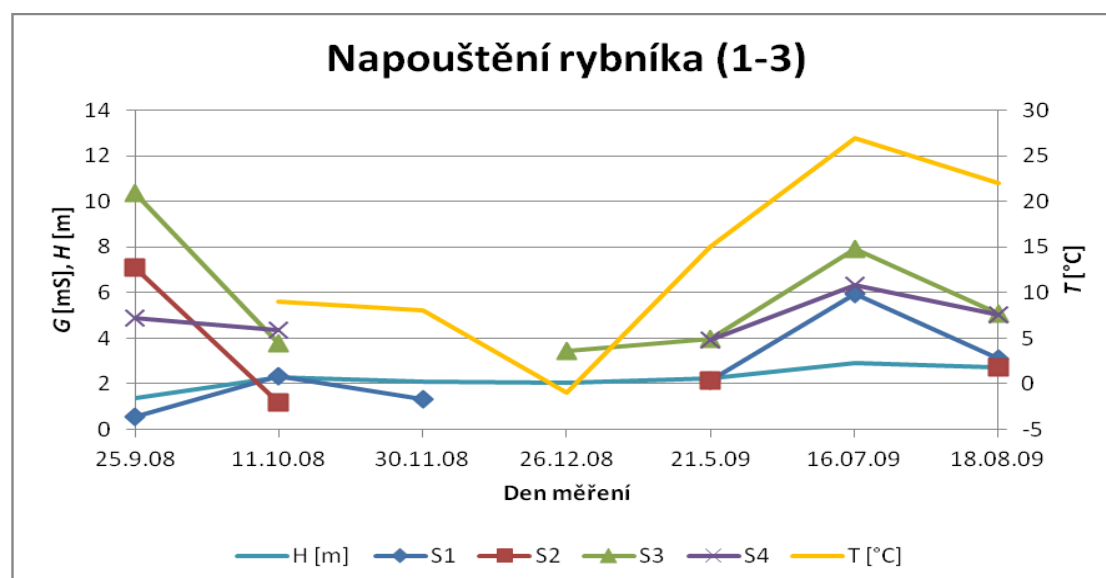
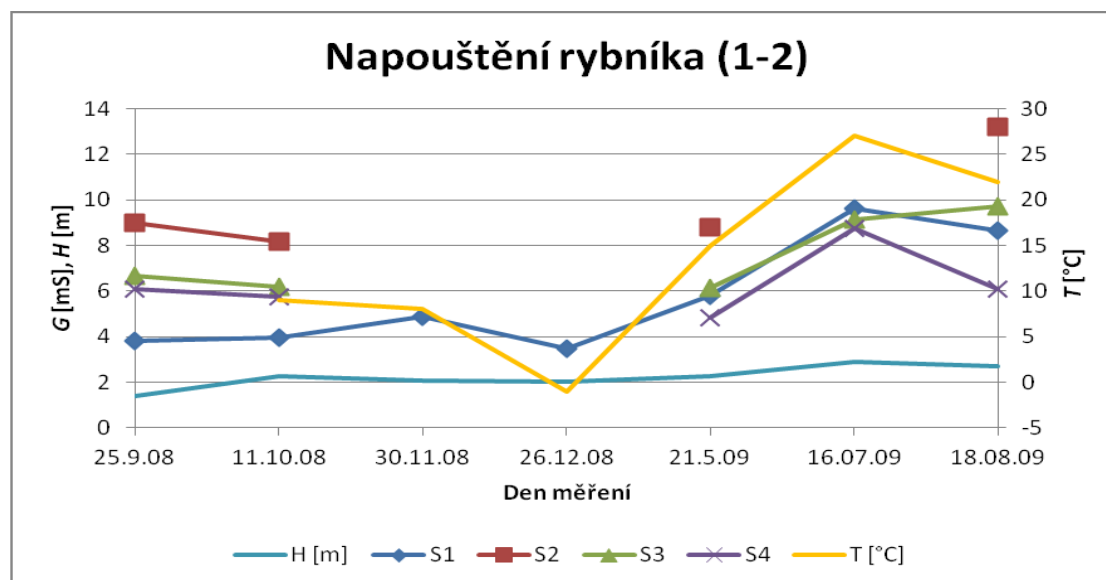
Jak bylo uvedeno již dříve, sondy nebyly instalovány před začátkem plnění rybníka. Instalace sond a zároveň první měření proběhlo 25. září 2008, v té době byla již hloubka vody v rybníce 1,38 m. Už při prvním měření se projevily změny způsobené odlišným složením a zhutněním zeminy v jednotlivých profilech. Rozdílnost hodnot elektrické vodivosti (konduktance) je s nejvyšší pravděpodobností způsobena technologickým postupem instalace sond (špatný kontakt sonda – zemina, nutnost ošetření otvoru pro sondu prolitím vodou). Grafické znázornění prvního měření je na obr. 8.2.

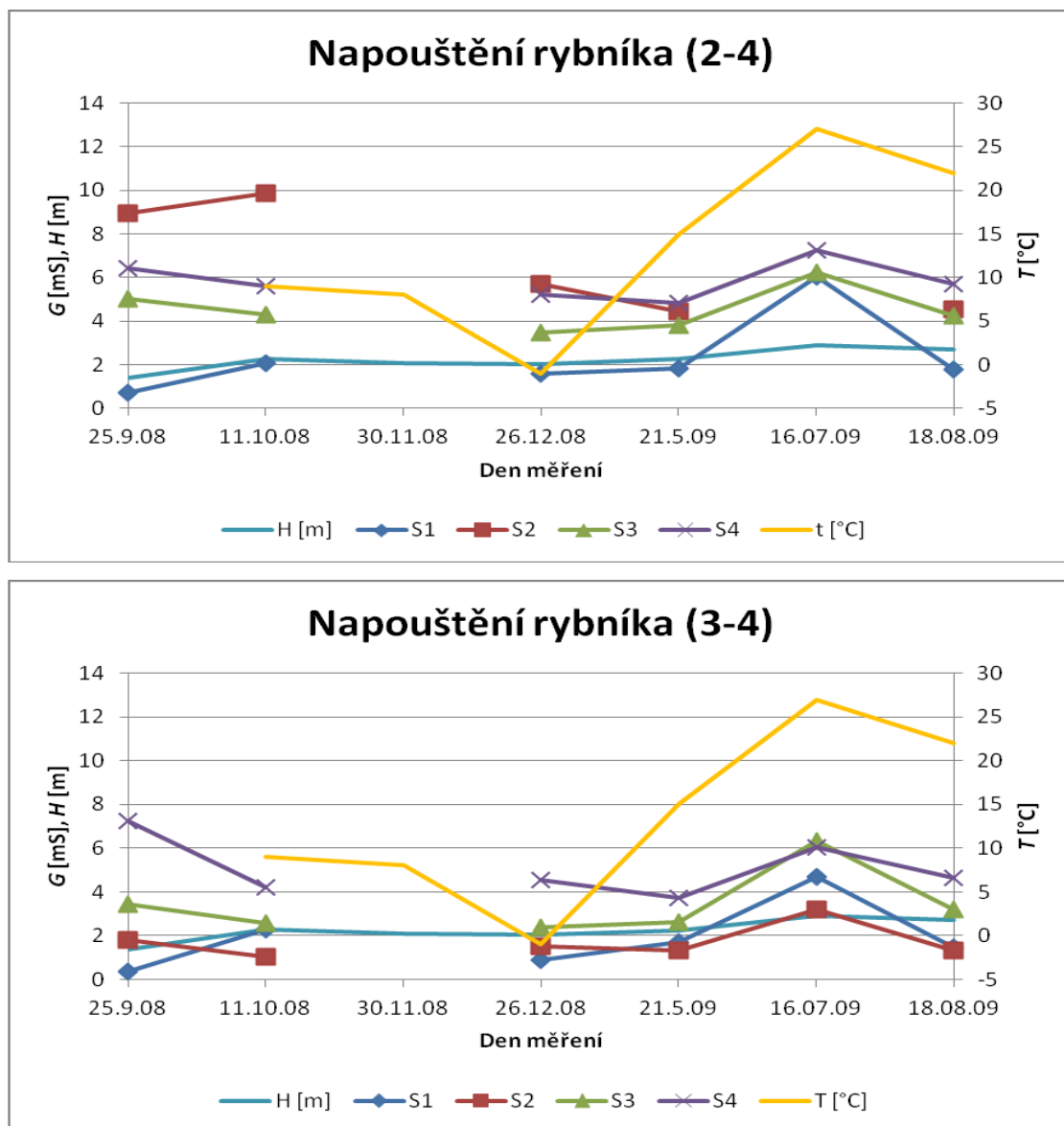




Obr. 8.2 Průběh elektrické vodivosti G změřený po instalaci sond

V roce 2008 proběhla ještě 3 měření. Hloubka vody v rybníce se pohybovala kolem 2 m. K plnému napuštění došlo až v červnu 2009. Průběh průměrné naměřené elektrické vodivosti v hrázi a výška vody v rybníku je znázorněna na obr. 8.3.





Obr. 8.3 Průměrná vodivost, výška hladiny a teplota v průběhu plnění rybníka

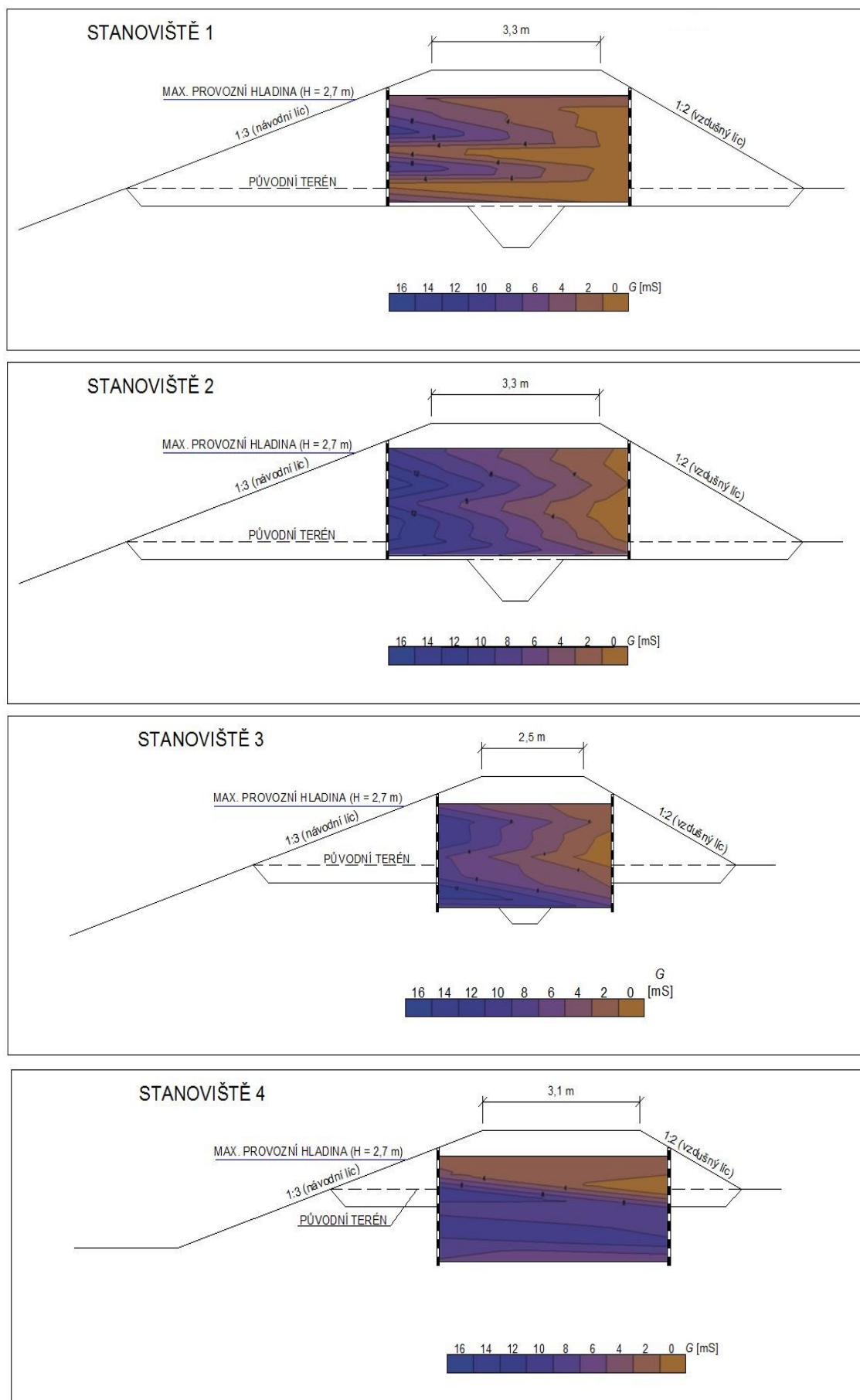
V listopadu 2008 byla na hráz navedena zemina, v den měření pršelo, a proto byla koruna hráze rozbahněná a měření nešlo provést. Navezení zeminy přispělo k sednutí hráze, a jak je z grafů vidět, v roce 2009 elektrická vodivost monitorovaná v zemině stoupá při zvednutí hladiny vody v rybníce, svůj vliv měla i zvyšující se teplota. Náhlé zvýšení elektrické vodivosti G v červenci 2009 bylo způsobeno lokální povodní, kdy byly všechny sondy zatopené. Hladina v rybníku byla, podle viditelného znečištění na vodoměrné lati, až na kótě 380,28 m n. m. Od uvedené události zůstaly pod vodou nebo v úrovni hladiny vody sondy na návodním líci na stanovištích 2 (obr. 8.4) a 3. Zvýšení elektrické vodivosti zeminy, které odpovídá uvedené skutečnosti, je možné pozorovat na příslušném grafickém vyjádření (obr. 8.3 – profil 1-2).



Obr. 8.4 Stanoviště 2 – sonda na návodním líci hráze (Pařílková, 2009)

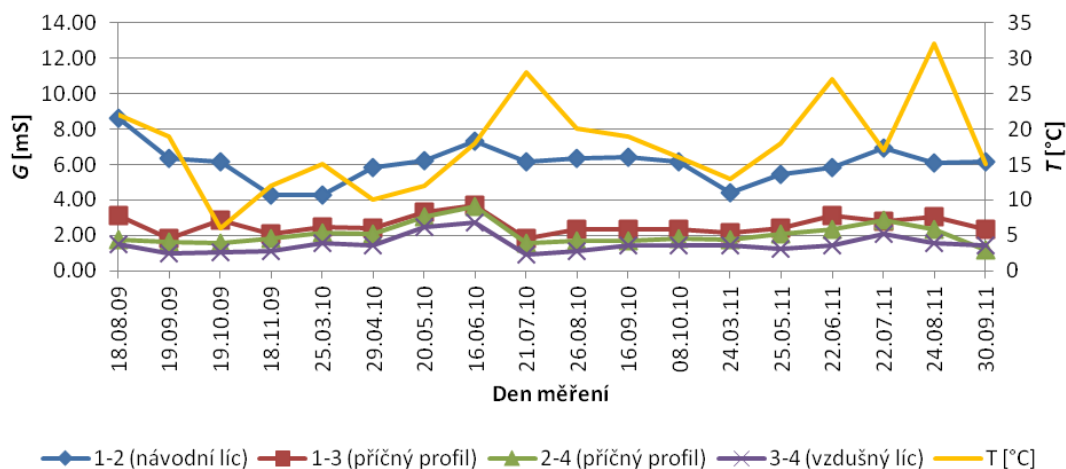
8.2 STÁLÁ HLADINA

Od srpna 2009 do září 2011 byla dle manipulačního řádu hladina držena na kótě 380,00 m n. m. (hloubka vody v nádrži 2,7 m), dle aktuálního stavu v den měření však bylo možno pozorovat rozptyl + 4 cm až + 8 cm. Během toho období lze sledovat vliv teploty na elektrickou vodivost, tedy i obsah vody v tělese hráze.

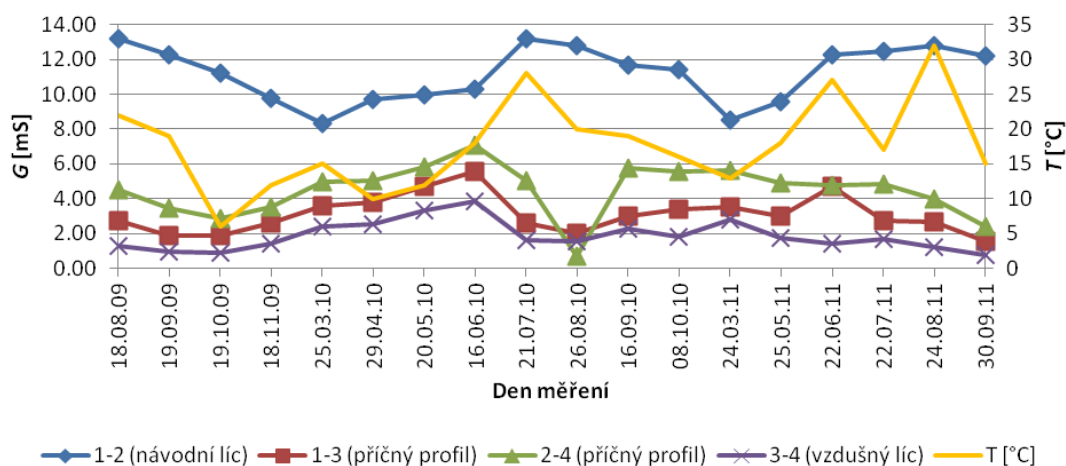


Obr. 8.5 Elektrická vodivost v příčných profilech při maximální hladině (26.08.2010)

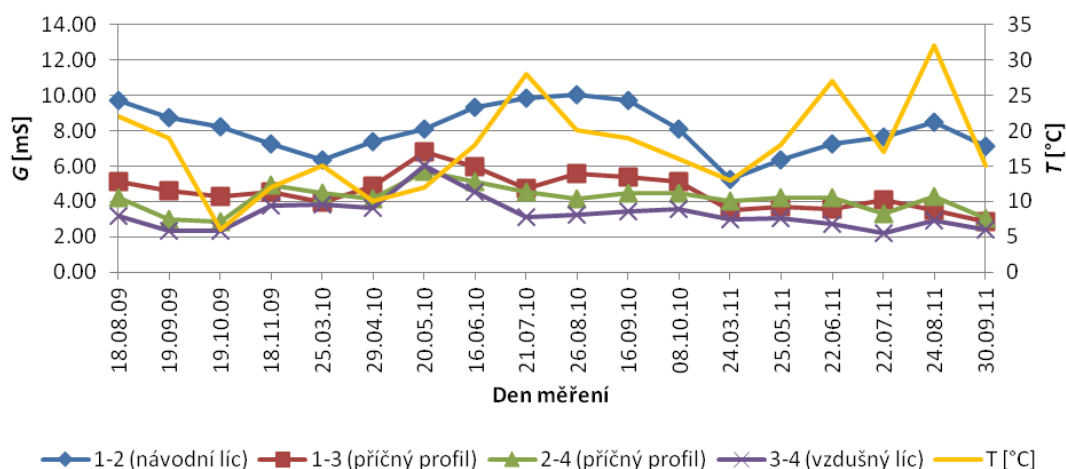
Stálá hladina (S1)

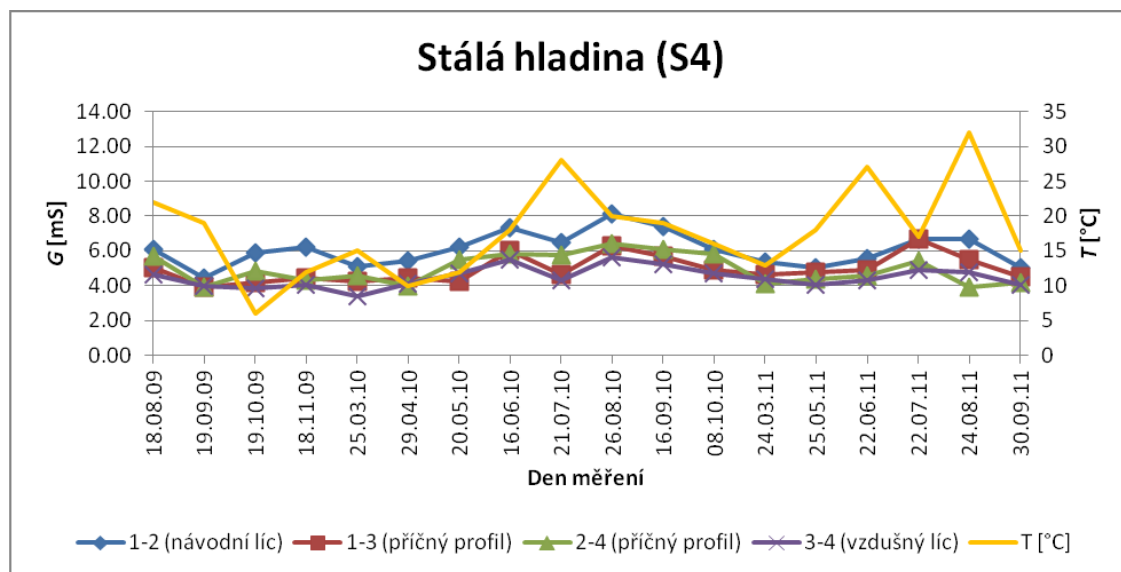


Stálá hladina (S2)



Stálá hladina (S3)





Obr. 8.6 Vliv teploty na vodivost

Z vyhodnocených průběhů nelze jednoznačně stanovit závislost změn elektrické vodivosti zeminy hráze na teplotě (měřena byla teplota vzduchu). Pokud budu brát v úvahu sondy umístěné na návodním líci hráze (profil 1-2, modrá křivka na obr. 8.6) je nutné uvážit rovněž vliv větru a výběh vln. U ostatních profilů bude naopak významným jevem doba slunečního osvětlení tělesa hráze a vliv větru, které budou způsobovat jeho vysoušení.

Přesto se zdá, že při vyšších teplotách vzduchu dosažených v letních měsících roku 2010 elektrická vodivost zeminy hráze mírně stoupá a po dosažení teplotního maxima v červenci 2010 začíná klesat. V roce 2011 lze uvedený trend pozorovat na stanovištích 1, 2 a 4 opět v letních měsících. Poněvadž v létě roku 2011 byla při měření zaznamenána dvě teplotní maxima, kdy byla teplota kolem 30°C a bylo dlouhodobě sucho, je možno i na uvedených stanovištích pozorovat pokles elektrické vodivosti. Může to být způsobeno vysoušením tělesa hráze. Na stanovišti 3 se vliv teploty projevuje výraznými skoky. Jak bylo uvedeno výše, na uvedeném stanovišti se nachází jílová hlína s vysokou plasticitou. Materiál je pro homogenní sypané hráze málo vhodný, dlouho se v něm drží voda. Propad hodnoty elektrické vodivosti na stanovišti 2, profil 2-4 v srpnu 2010 byl způsoben špatně naměřenými daty (ve vyhodnocení jsem ponechal z důvodu dokumentace monitorování).

Hodnotově nejmenší rozkolísanost sledované elektrické vodivosti je možno pozorovat na stanovišti 4. Monitorované místo je lokalizováno v koncové části hráze, je tvořeno vhodným písčitým jílem, a ačkoli zde v první fázi výstavby hráze bylo zjištěno nedostatečné zhutnění, monitorování nevykazuje žádné anomálie. Uvedená skutečnost může být způsobena nemožností většího výběhu vln, což dokumentuje křivka 1-2 (návodní líc), kde jsou hodnoty očekávané a elektrická vodivost je jen mírně vyšší než v příčných profilech 1-3 a 2-4. Poněvadž se profil nachází v blízkosti skupiny vzrostlých smrků, stín stromů brání i nadměrnému vysychání vzdušného líce hráze, profil 3-4. Logicky jsem očekával křivku 3-4 pod všemi výše zmíněnými závislostmi, což se potvrdilo na všech měřených stanovištích, avšak na stanovišti 4 se rozkolísanost hodnot elektrické vodivosti měřené na návodní oproti vzdušné straně projevuje nejmeně a obě křivky mají stejný trend.

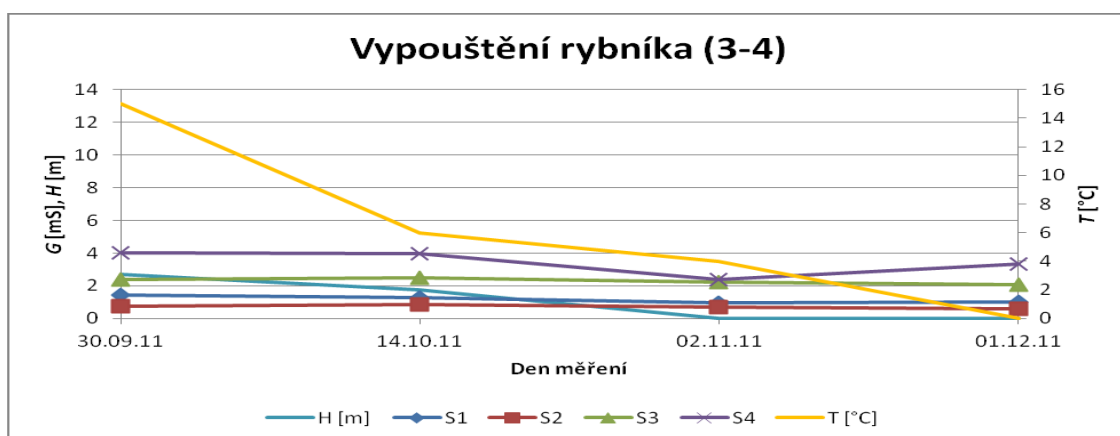
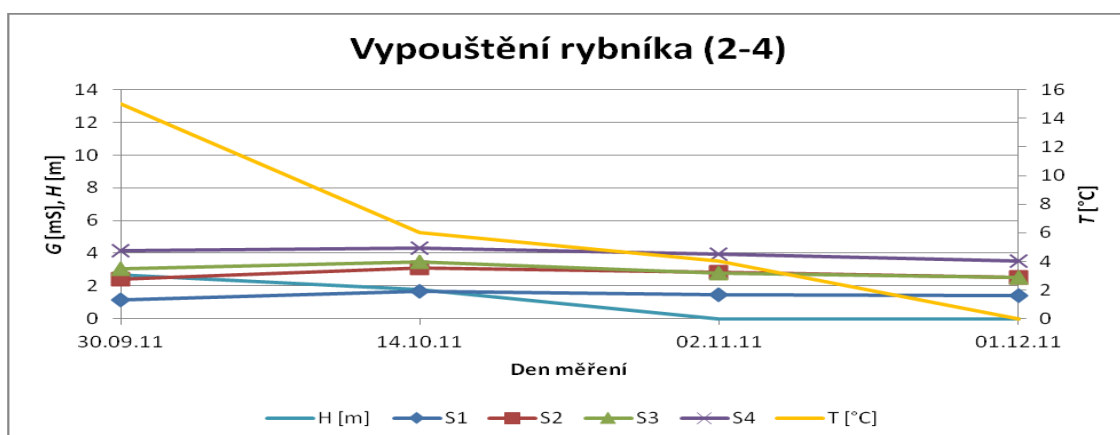
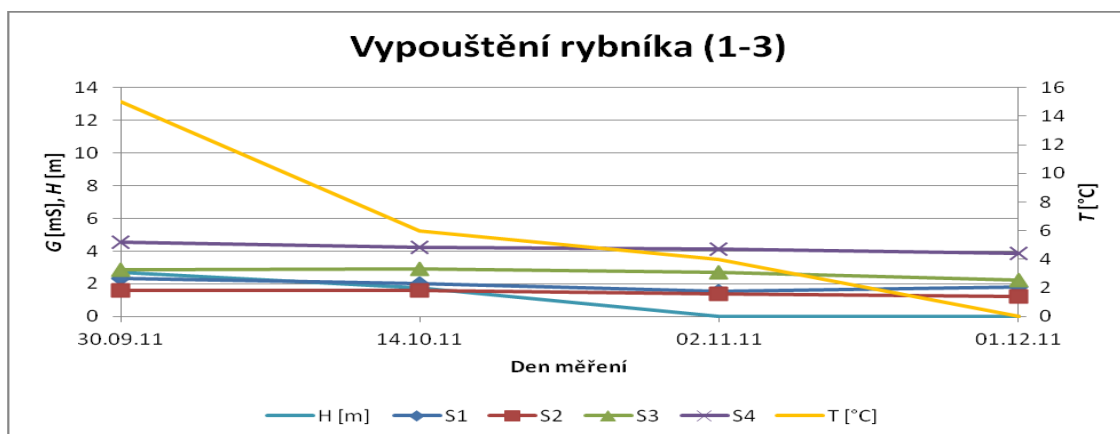
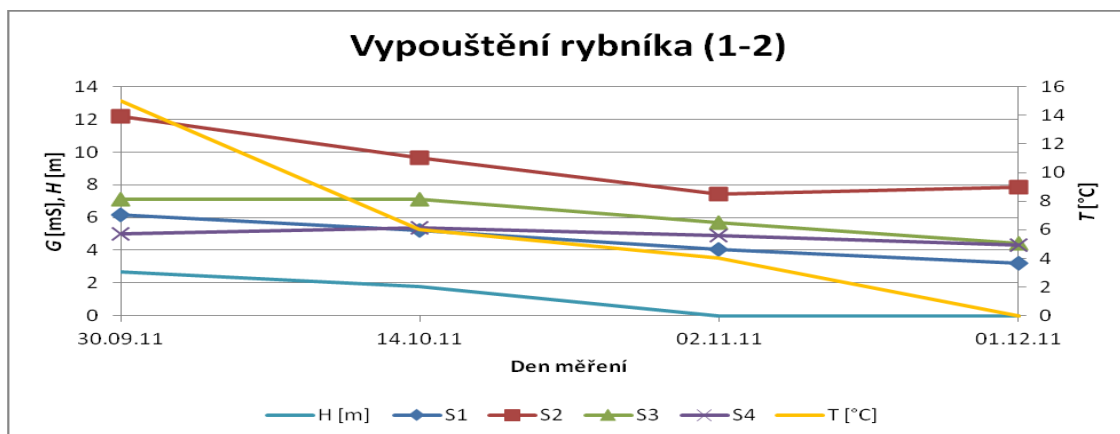
Z obrázku 8.5 je také patrné, jak špatné zhutnění zeminy má vliv na vlhkost tělesa hráze. Na stanovišti 2 jsou zjištěné hodnoty elektrické vodivosti na návodním líci hráze opakovaně nejvyšší, ačkoli hráz je v tomto místě tvořena materiálem vhodným (písčité jíly třídy F4 CS). Při budování hráze však bylo v uvedeném profilu konstatováno nedostatečné zhutnění, které se provedenými nápravnými opatřeními nepodařilo zcela odstranit. V hloubce 1,35 m (viz 8.4 Vývěr vody) byla zjištěna výrazná anomálie v měřených hodnotách elektrické vodivosti, která ukazovala na pravděpodobnost vzniku sufoze. Na základě výsledků monitorování došlo v říjnu 2010 k navýšení hráze v úseku stanovišť 1 až 3 a jejímu přehutnění pojezdem, čímž byl proces sufoze přerušen. Zřejmě však nedošlo k dostatečné sanaci porušeného místa, neboť v dubnu 2011 se nedostatek zhutnění projevil drobným vývěrem vody na vzdušném líci hráze (obr. 8.7).



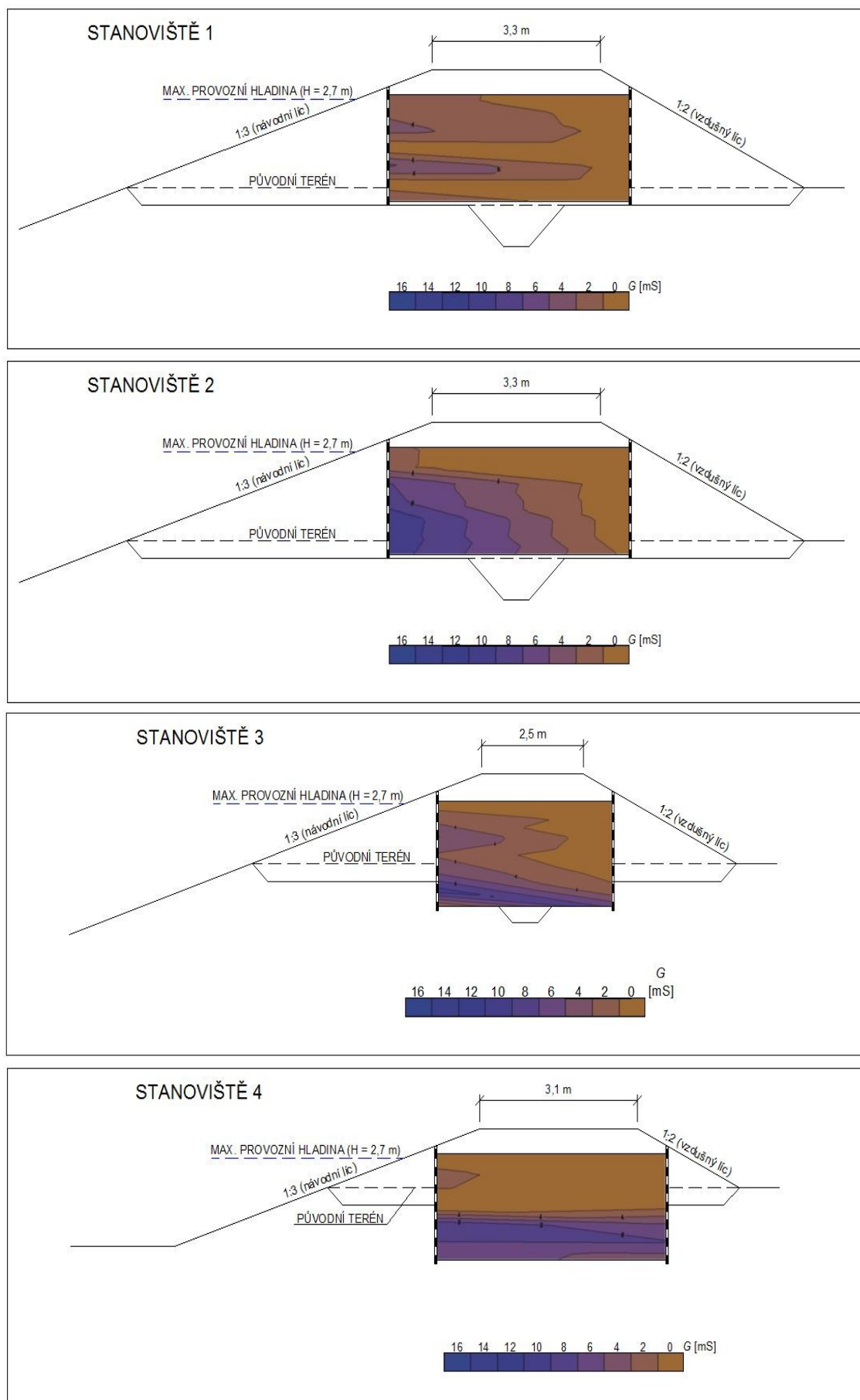
Obr. 8.7 Místo vizuálně pozorovaného vývěru vody na vzdušném líci hráze (Pařílková, 2011)

8.3 VYPOUŠTĚNÍ RYBNÍKA

V říjnu 2011 se začal rybník, za účelem výlovu, vypouštět. Průběh hladin a elektrické vodivosti v během uvedeného procesu je znázorněn na obr. 8.8. Opět je vidět největší vlhkost v na stanovišti 2 při návodním líci. V příčných profilech i na vzdušném líci hráze se hodnota elektrické vodivosti zastavila nejspíše na hodnotě elektrické vodivosti přirozeně vlhké zeminy. Na stanovišti 1, které je vystavené převládajícím větrům je pozorovatelný trend vysychání návodního líce hráze.



Obr. 8.8 Vývoj elektrické vodivosti při vypouštění rybníku

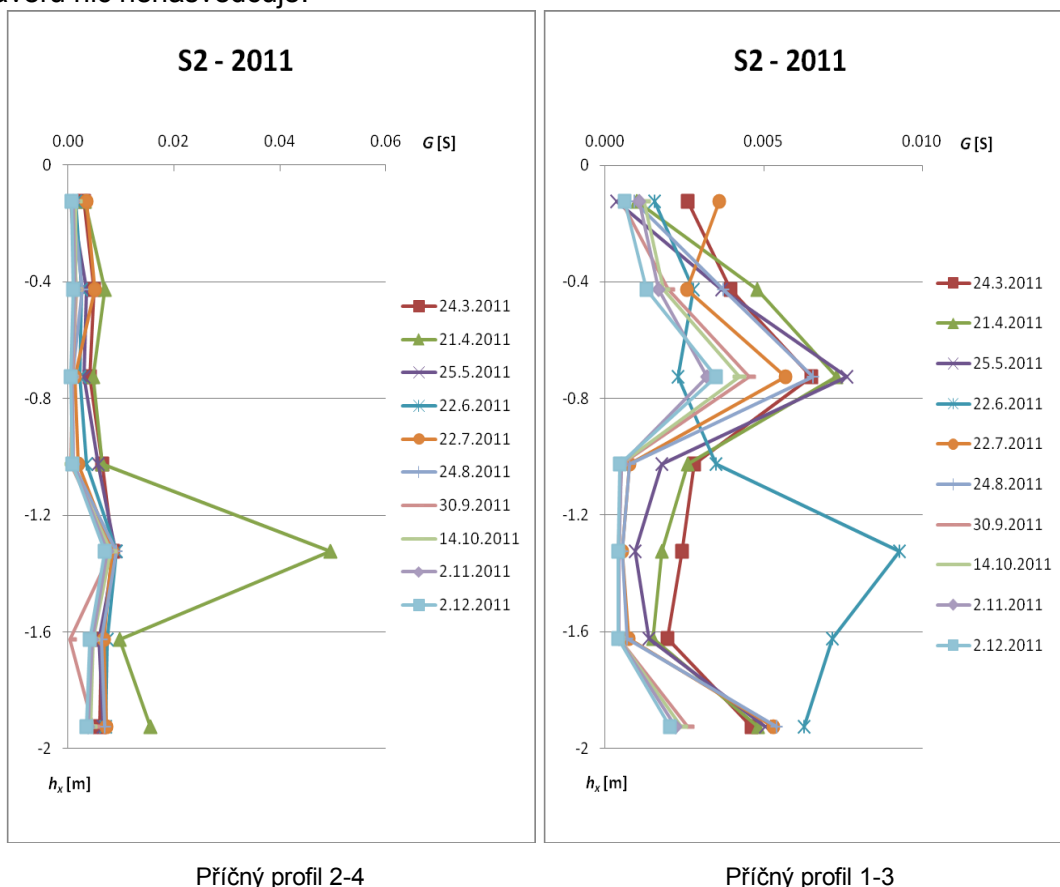


Obr. 8.9 Průběh elektrické vodivosti v příčných profilech při posledním měření (02.12.2012)

8.4 VÝVĚR VODY

V místě druhého stanoviště bylo zjištěno, při druhé etapě výstavby, nedostatečné zhutnění tělesa hráze, které se projevilo při monitorování, a ačkoli došlo k nápravným opatřením, v dubnu 2011 se zde vyskytl vývěr vody na vzdušném líci hráze. Vývěr vody byl pozorován poblíž tyče č. 4. Na obrázku 8.10 je vidět průběh elektrické vodivosti na stanovišti 2 měřený na příčném profilu mezi tyčemi 2 a 4. Zvýšení hodnot se projevuje na pátém kanálu (-1,325 m od horního okraje tyče). Na tomto kanálu byly zaznamenávány zvýšené hodnoty po dobu měření nejen v roce 2011, ale i v předešlých letech.

V příčném profilu mezi tyčemi 1 a 3 na stanovišti 2, lze pozorovat náhlé zvýšení vodivosti v červnu 2011. Hodnoty sice vystupují z normálu daného profilu, ale poněvadž však výrazně nepřekračují maxima hodnot elektrické vodivosti monitorovaná v hloubce 0,725 m, bylo by obtížné na základě jedné křivky zcela odlišného charakteru stanovit předpoklad vytvoření privilegované cesty. Zda po sanování vývěru a pravděpodobné konsolidaci zeminy došlo k vytvoření jiné privilegované cesty či nikoli mohou ukázat až výsledky dalšího monitorování. Z průběhů křivek elektrické vodivosti zjištěných v následujících měsících uvedenému závěru nic nenasvědčuje.



Obr. 8.10 Vodivost v příčných profilech na stanovišti 2

9 ZÁVĚR

Měření na rybníku nedaleko obce Jevíčko ukázalo, jak byla navrhovaná opravná opatření provedena. V první fázi výstavby bylo zjištěno nedostatečné zhutnění boční strany nádrže. Bylo doporučeno sejmutí svrchní vrstvy násypu hráze a nové přehutnění násypu. Po provedení požadovaných opatření byly provedeny nové zkoušky, při nichž nevyhověl pouze jeden profil.

U tohoto profilu bylo provedeno nápravné opatření, po kterém byla, dle výsledků zkoušek, zemina dostatečně zhutněna, ale provoz rybníka ukázal, že zhutnění bylo dostatečné pouze ve vrchních částech hráze. V nižších částech lze pozorovat vyšší hodnoty elektrické vodivosti, tudíž i vyšší vlhkost. Vyšší hodnoty elektrické vodivosti lze také pozorovat na návodním líci hráze (obr. 8.5 a obr. 8.6).

Podobná situace byla i u stanoviště 4. Při první etapě výstavby bylo zhutnění zeminy hráze nedostatečné, ale po provedení nápravných opatření vyhovělo. Na tomto stanovišti musela být nápravná opatření provedena lépe, neboť při měření zde nebyly prokázány žádné zvýšené hodnoty elektrické vodivosti. Uvedená stanoviště se dají dobře porovnávat, protože dle průzkumů jsou se stejného materiálu, tedy písčitého jílu třídy F4 CS, zeminy dle ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“ vhodné pro homogenní sypané zemní hráze.

Na prvním stanovišti byl také písčítý jíl třídy F4 CS, ale již od první etapy výstavby dobře zhutněný, tudíž předpokladem bylo, že v této části hráze by neměli vznikat žádné privilegované cesty. Měřením se tento předpoklad potvrdil, ačkoliv zde byla vizuálně pozorována aktivita vodních živočichů, pravděpodobně hryzce vodníhoho.



Obr. 9.1 Působení živočichů na monitorovaných stanovištích

Na třetím stanovišti se nachází jílová hlína s vysokou plasticitou třídy F7 MH, která je dle ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“ málo vhodná pro homogenní sypané zemní hráze. Jako u stanoviště 2 a 4 i zde byla zemina v první etapě výstavby nedostatečně zhutněna, ale po nápravných opatřeních již zkouškám zhutnění vyhověla. Tato zemina prokázala dobré vlastnosti, průsaky byly na návodním líci hráze zvýšené (proti stanovištím 1 a 4) avšak hodnoty elektrické vodivosti v ostatních směrech měření nepřekračovaly hodnoty vhodnějších zemín.

Kdyby byly sondy nainstalovány před napouštěním rybníka, bylo by možné porovnávat naměřené hodnoty elektrické vodivosti před napuštěním a po vypuštění rybníka,

v přímé vazbě na zhutnění zeminy a případně další parametry (vlhkost, hydraulickou vodivost atd.).

Domnívám se, že monitorovací aparatura a zjištěné výsledky obstály ve zkoušce sledování reálného objektu. Napomohly identifikovat lokální anomálie a tím včas upozornit na potřebu jejich sanace.

Ačkoli jsem si vědom skutečnosti, že je především z důvodu zcizení obtížné nechávat přístroj Z-metr na lokalitě, bylo by jistě komfortem sledovat hráz prostřednictvím bezdrátové komunikace. Je mi známo, že přístroj je pro uvedené sledování vybaven.

Měřicí sondy jsou realizovány jako ztracené tj. zůstávají na lokalitě i po případném ukončení monitorování, dosažené výsledky jsou však podrobné a celková cena měřicí aparatury je z mého pohledu přijatelná. Na základě svých zkušeností si dovedu aparaturu představit i např. ve skupině varovných systémů s vazbou na protipovodňová opatření.

V Brně dne 21.5.2012

.....
Michael Novák

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ODBORNÁ LITERATURA

- ČSN 75 2410. (2011). *Malé vodní nádrže*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví.
- ČSN 75 7111 (1991). *Jakost vod. Pitná voda*. Účinnost od 1.1.1991.
- ČSN CEN ISO/TS 17892-1. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemín - Část 1: Stanovení vlhkosti zemín*. Účinnost od 05/2005.
- JANDORA, J. (2011). Porušení sypaných hrází. In: *Přednáška BR52 - Proudění v systémech říčních koryt*. Brno. 2011.
- JANDORA, J. ŘÍHA, J. (2002). *Porušení sypaných hrází v důsledku přelití*. Vyd. 1. Brno: ECON publishing. 2002. 188 s. ISBN 80-86433-15-5.
- 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.; KREJČÍ, I. (2006). Two innovative methods of dike monitoring. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2006. 54(4). p. 344 - 356. ISSN 0042-790X.
- 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 zemín 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.
- SEDLÁČEK, J. VALSA, J. (2010). Elektrotechnika II. In: *Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia*.
- 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."
- ŠÁLEK, J. (2001). *Rybničky a účelové nádrže*. Vyd. 1. Brno: VUTUM. 2001. 125 s. ISBN 80-214-1806-0.
- ŠIMEK, J., Jesenák, J., Eichler, J., Vaníček. I. (1990). *Mechanika zemín*. Praha, SNTL.
- WEIGLOVÁ, K. (2005). Mechanika zemín. Modul BF02-M02, Vlastnosti zemín. In: *Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia*.

PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE

- [1] Jevíčko - ČRS, rybník - stanovisko hydrologa. 2005.
- [2] Provozní a manipulační řád pro vodní nádrž ČRS MO Jevíčko. 2005.
- [3] Výsledky kontrolních zkoušek zhutnění na hrázi budovaného rybníka v Jevíčku. 2005.
- [4] Výsledky kontrolních zkoušek zhutnění na hrázi rybníku v Jevíčku realizovaných v II. etapě výstavby. 2007.

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [A] <http://fyzikalniulohy.cz/uloha.php?uloha=606>
- [B] http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/cviceni/cviceni_lenticky/technicka_zarizeni.htm
- [C] http://media.novinky.cz/735/217351-top_foto2-oly60.jpg
- [D] <http://uiozp.ft.utb.cz/studmat/201092015511/T7TV072010.pdf>
- [E] http://web.telecom.cz/tyrbach/Odpor_a_vodivost.pdf
- [F] <http://www.analyzavody.cz/konduktivita/>
- [G] <http://www.asb-portal.cz/UserFiles/Image/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/voda-rizikovy-faktor-v-inzenyrskych-stavbach/02-rozsypal-big-image.jpg>
- [H] <http://www.veda.cz/article.do?articleId=12856>

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Zatřídění zemin	13
Tab. 3.2 Orientační fyzikálně mechanické vlastnosti zhutněných zemin.....	15
Tab. 3.3 Vhodnost zemin pro různé zóny hutnění hrází	15
Tab. 6.1 Výsledky kontrolní zkoušky zhutnění – I. etapa.....	28
Tab. 6.2 Výsledky polní zkoušky.....	29
Tab. 6.3 Vlastnosti a zatřídění zemin – II. etapa	30
Tab. 6.4 Výsledky polní zkoušky – II. etapa	30

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Rybník Rožmberk.....	9
Obr. 2.1 Napouštění rybníka – stav 26.09.2008.....	11
Obr. 2.2 Vypuštěný rybník po výlovu – stav 02.12.2011.....	11
Obr. 3.1 Půdorysný tvar hrází	12
Obr. 3.2 Klasifikační diagram zemin s částicemi < 60 mm	14
Obr. 3.3 Diagram plasticity (pro částice < 0,5 mm).....	14
Obr. 3.4 Křivky zmitosti.....	16
Obr. 3.5 Homogenní hráz na nepropustném podloží.....	17
Obr. 3.6 Nehomogenní hráz se středním těsněním.....	18
Obr. 4.1 Protržení hráze Melínského rybníka při povodních v roce 2002	20
Obr. 4.2 Schéma porušení sypané hráze přelitím	21
Obr. 4.3 Schéma porušení sypané hráze sufozí	21
Obr. 5.1 Přístroj Z-metr se 128 měřicími místy.....	23
Obr. 6.1 Situace obce Jevíčko s vyznačením vybudovaného rybníka	24
Obr. 6.2 Vypouštěcí zařízení.....	25
Obr. 6.3 Měření hloubky před vypouštěcím zařízením	25
Obr. 6.4 Požerák, lávka s jednostranným zábradlím	26
Obr. 6.5 Požerák den po lokální povodni 16.07.2009.....	26
Obr. 6.6 Umístění bezpečnostního přelivu	26
Obr. 6.7 Místo kontrolní zkoušky zhutnění na hrázi – jamka po membránovém objemoměru.....	28
Obr. 6.8 Situace rybníka s vyznačením měřených profilů.....	31
Obr. 6.9 Situace rybníka s vyznačenými měřenými stanovišti.....	32
Obr. 6.10a Stanoviště 1 – měření 06.10.2011.....	33
Obr. 6.10b Průsak na poli za stanovištěm 1 – 27.04.2012	33
Obr. 6.11 Stanoviště 2 – navýšení zemní hráze rybníka, 25.11.2010.....	34

Obr. 6.12 Stanoviště 3 – měření 6.10.2011.....	34
Obr. 6.13 Stanoviště 4 – měření 24.03.2011.....	35
Obr. 6.14 Poškození hráze mezi stanovišti 2 a 3 – 21.07.2010.....	35
Obr. 7.1 Grafické vyjádření fázoru elektrické impedance	37
Obr. 7.2 Ekvivalentní obvod měřené impedance.....	37
Obr. 7.3 Tyčová dělená sonda	39
Obr. 7.4 Instalace měřicích sond	41
Obr. 8.1 Detail stanoviště s označením sond	42
Obr. 8.2 Průběh elektrické vodivosti G změřený po instalaci sond	44
Obr. 8.3 Průměrná vodivost, výška hladiny a teplota v průběhu plnění rybníka.....	45
Obr. 8.4 Stanoviště 2 – sonda na návodním líci hráze	46
Obr. 8.5 Elektrická vodivost v příčných profilech při maximální hladině (26.08.2010).47	
Obr. 8.6 Vliv teploty na vodivost.....	49
Obr. 8.7 Místo vizuálně pozorovaného vývěru vody na vzdušném líci hráze	50
Obr. 8.8 Vývoj elektrické vodivosti při vypouštění rybníku	51
Obr. 8.9 Průběh elektrické vodivosti v příčných profilech při posledním měření (02.12.2012)	52
Obr. 8.10 Vodivost v příčných profilech na stanovišti 2	53
Obr. 9.1 Působení živočichů na monitorovaných stanovištích.....	54

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Latinská abeceda

A	průřezová plocha vodiče	$[m^2]$
d	délka elektrody	$[m]$
f	frekvence budicího signálu	$[Hz]$
G	elektrická konduktance (vodivost)	$[S]$
H	hloubka vody	$[m]$
h_k	kapilární výška	$[m]$
h_x	vzdálenost od horního okraje tyče	$[m]$
I	elektrický proud	$[A]$
I_D	relativní ulehlost	$[-]$
I_p	index plasticity	$[-]$
L	vzdálenost mezi elektrodami	$[m]$
n_w	objemová vlhkost	$[%]$
PS	Proctor Standart	$[%]$
R	elektrický odpor	$[\Omega]$
S_r	stupeň nasycení	$[%]$
t	doba přepínání mezi měřeními	$[s]$
T	teplota	$[^{\circ}C]$
U	elektrické napětí	$[V]$
w	vlhkost	$[%]$
X	elektrická reaktance	$[\Omega]$
Y	elektrická admitance	$[S]$
Z	elektrická impedance	$[\Omega]$

Řecká abeceda

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

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BP	bakalářská práce
C	kapacitor
EIS	elektrická impedanční spektrometrie
H ⁺	vodíkový kation
L	induktor
OH ⁻	hydroxidový anion
R	rezistor
ÚVST	Ústav vodních staveb
ZSZ ...	západo-severozápad

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA Č.1.....	1
------------------	---