

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

ÚČINNOST TĚSNICÍ CLONY VD KAROLINKA ANALYZOVANÁ METODOU EIS

THE EFFECTIVENESS OF SEALING VD KAROLINKA USING THE APERTURE ANALYZED BY
EIS METHOD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

HANA FRÁNKOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JANA PAŘÍLKOVÁ, CSc.

BRNO 2015



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	Hana Fránková
Název	Účinnost těsnicí clony VD Karolinka analyzovaná metodou EIS
Vedoucí bakalářské práce	doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2014
Datum odevzdání bakalářské práce	29. 5. 2015

V Brně dne 30. 11. 2014

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
vedoucí ústavu



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

Podklady a literatura

- BERKA, Š. (2010). Elektrotechnická schémata a zapojení 2, BEN - technická literatura, Praha 2010, ISBN 978-80-7300-254-1, str. 228.
- BLÁHA, P. a kol. (2003). Karolinka – monitoring 2003. GEOtest, Brno, MS.
- ČIŠTÍN, J., HÁLEK, V. (1975). VN na Stanovnici u Karolinky. Filtrační stabilita sypanin. Závěrečná zpráva VVÚVSH VUT v Brně.
- FÍNA, D. (2013). Vodní dílo Karolinka je po zásadní rekonstrukci opět plně funkční. Tisková zpráva, <http://www.pmo.cz/cz/media/tiskove-zpravy/vodni-dilo-karolinka-je-po-zasadni-rekonstrukci-opet-plne-funkcni/>.
- FEJFAROVÁ, M. (2014). Možnosti detekce obsahu vody v pórovitém prostředí metodou elektrické impedanční spektrometrie. Disertační práce obor Stavební inženýrství (nD) – Vodní hospodářství a vodní stavby. FAST VUT v Brně.
- GERIŠ, R., KOŠOUR, D. (2012). Centrická rozsivka v nádrži Karolinka znamená prvonález v rámci České republiky. Zpravodaj o vodě. 1/2012, p. 11. ISSN 1803-666X.
- HODÁK, J. (2010 - 2012). Vývoj nových metod pro zvýšení bezpečnosti přehrad – etapové výzkumné zprávy I – VIII.
- KARÁSEK, J. (2012). Hráz přehrady v Karolince obsadili na rok dělníci. In: Deník.cz, dostupné na <http://www.denik.cz/zlinsky-kraj/hraz-prehrady-v-karolince-obsadili-na-rok-delnici-20130105-j9t7.html>
- MACÍK, J. (2011). Karolinka. Zpravodaj o vodě. 4/2011, p. 5. ISSN 1803-666X.
- PAŘÍLKOVÁ, J., GARDAVSKÁ, Z., FEJFAROVÁ, M., ZACHOVAL, Z., VESELÝ, J., PAVLÍK, I. (2011). Využití metody EIS při monitorování vybraných procesů v půdě. Konference Influence of Anthropogenic Activities on Water Regime of Lowland Territory Physics of Soil Water. ISBN 978-80-89139-

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

Rešerše podkladů k problematice monitorování zemních přehradních hrází se zaměřením na vodní dílo (VD) Karolinka.

Rešerše podkladů o měřicí metodě elektrické impedanční spektrometrie.

Koncepcie a realizace měření na VD Karolinka.

Zpracování vybraných měření v návaznosti na rekonstrukci objektu realizovanou v roce 2013.

Dokumentace a vyhodnocení měření.

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá posouzením účinnosti těsnicí clony vodního díla Karolinka metodou elektrické impedanční spektrometrie. Těsnicí clona byla aplikována do tělesa hráze v roce 2013 během komplexní rekonstrukce. V rámci bakalářské práce jsou porovnávána data získaná monitorováním zemní hráze během roku 2012, tj. před rekonstrukcí, s daty naměřenými v roce 2014, tj. po rekonstrukci. Pro rok 2015 jsou doplněna data z již uplynulých měsíců.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zemní hráz, voda, zemina, monitorování, elektrická impedanční spektrometrie, sonda, stupeň nasycení.

ABSTRACT

Bachelor thesis is dealing with recognition of effectiveness of the sealing wall of earth dam Karolinka by electrical impedance spectrometry method. Sealing wall was installed to the body of the dam in 2013 during a complex reconstruction. Data of monitoring during 2012, i.e. before the reconstruction, are compared with the data measured in 2015, i.e. after the reconstruction. Data of past month from 2015 are added.

KEY WORDS

Earth dam, water, soil, monitoring, electrical impedance spectrometry, probe, degree of saturation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

FRÁNKOVÁ, Hana. *Účinnost těsnicí clony VD Karolinka analyzovaná metodou EIS*. Brno, 2015. 68 s., 16 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 vypracovala samostatně pod vedením své vedoucí doc. Ing. Jany Pařílkové, CSc. a s využitím literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Brně dne 29.05.2015

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji své vedoucí bakalářské práce paní doc. Ing. Janě Pařílkové za odborné vedení, cenné rady při zpracování bakalářské práce a poskytnutí potřebných podkladů. Dále děkuji doc. Ing. Zbyňku Zachovalovi, Ph.D. za zapůjčení odborné literatury a Ing. Stanislavu Holomkovi za poskytnutá data.

OBSAH

Seznam použitých zkratk	9
Seznam použitých symbolů	10
1 Úvod	11
1.1 Cíle práce	11
1.2 Metodika práce	12
2 Hráze	13
2.1 Historie a vývoj výstavby hrází	13
2.1.1 Historie a vývoj výstavby hrází ve světě	13
2.1.2 Historie a vývoj výstavby přehradních hrází na našem území	15
3 Přehradní hráze	16
3.1 Zemní přehradní hráze	16
3.2 Příčný profil přehradní zemní hráze a konstrukční prvky	16
3.3 Konstrukční materiál	17
3.3.1 Zatřídění zemin	17
3.3.2 Konstrukční materiál stabilizační části nehomogenní hráze	21
3.3.3 Konstrukční materiál těsnicí části nehomogenní hráze	22
3.3.4 Konstrukční materiál filtrů a drénů	22
3.4 Funkční objekty	22
3.4.1 Bezpečnostní objekt	23
3.4.2 Výpustný objekt	23
3.4.3 Odběrný objekt	23
4 Monitorování přehradních zemních hrází	24
4.1 Metody monitorování přehradních zemních hrází	24
4.1.1 Měření posunů a deformací	24
4.1.2 Sledování průsakových a podzemních vod	26
4.1.3 Sledování vlivu prostředí a provozu	27
5 Elektrická impedanční spektrometrie	28
5.1 Princip měření metodou EIS	30
6 Přístroj Z-metr III	31

6. 1 Nastavení přístroje	33
7 Vodní dílo Karolinka.....	34
7. 1 Charakteristika hráze vodního díla Karolinka.....	34
7. 1 Budování hráze vodního díla Karolinka	35
7. 2 Technické problémy vodního díla Karolinka	36
7. 3 Monitorování vodního díla Karolinka.....	37
7. 4 Monitorování vodního díla Karolinka metodou EIS.....	38
7. 5 Rekonstrukce vodního díla Karolinka.....	41
7. 5. 1 Realizace těsnicí clony	41
8 Vyhodnocení měření.....	44
8. 1 Výsledky neměřené elektrické vodivosti v programu Surfer 8	44
8. 2 Průběh elektrické vodivosti měřený sondami EIS	51
8. 3 Relativní změna elektrické vodivosti	54
8. 4 Porovnání ploch pod křivkou elektrické vodivosti.....	58
9 Závěr	61
10 POUŽITÁ LITERATURA.....	64
Seznam tabulek	66
Seznam obrázků.....	67
Seznam příloh	68

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Název
EIS.....	elektrická impedanční spektrometrie
FAT.....	file allocation table
LCD	displej z tekutých krystalů
LVV.....	laboratoře vodohospodářského výzkumu
SD.....	paměťová karta
TBD.....	technicko-bezpečnostní dohled
ÚVST.....	ústav vodních staveb
VD.....	vodní dílo

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Název	Jednotka
G	elektrická vodivost	[S]
I	fázor elektrického proudu	[A]
R	rezistance	[Ω]
S_r	stupeň nasycení	[-]
T	čas	[s]
U	fázor elektrického napětí	[V]
X	reaktance	[Ω]
Y	admitance	[S]
Z	fázor elektrické impedance	[Ω]
φ	fázový posuv	[-]
ρ	rezistivita	[$\Omega \cdot m$]
ρ'	objemová hmotnost zeminy	[$kg \cdot m^{-3}$]
ρ'_d	objemová hmotnost vysušené zeminy	[$kg \cdot m^{-3}$]
ρ'_s	měrná hmotnost zeminy	[$kg \cdot m^{-3}$]
ρ'_w	měrná hmotnost vody	[$kg \cdot m^{-3}$]
σ	konduktivita	[$S \cdot m^{-1}$]

1 ÚVOD

S rozvojem moderní společnosti a jejími nároky na potřebu pitné vody a ochranu obyvatelstva a majetku před povodněmi se rozvíjelo také přehradní stavitelství. S existencí hrází se však vždy pojí určité riziko spojené s možností jejich porušení [8]. Poruchy sypaných hrází lze rozdělit dle příčiny jejich vzniku na hydraulické poruchy způsobené erozivní činností proudu vody, poruchy v důsledku filtračních deformací a ztrátu stability ve formě sesuvů a trhlin. Tyto typy poruch spolu velmi často souvisejí, vyskytují se současně, případně jedna druhou vyvolává.

Filtrační deformace vznikají při nekontrolovatelném průsaku tělesem hráze, případně jejím podloží [8]. Jsou příčinou přibližně 40 % poruch sypaných hrází. Mechanismem vedoucím k poruše může být sufoze (vyplavování jemnozrnných částic materiálu a narušení jeho struktury), prolomení těsnicího prvku v důsledku zvýšených hydraulických gradientů nebo ztráta stability vzdušního nebo návodního líce v důsledku zvýšených proudových tlaků.

Porušením hráze vzniká povodňová vlna, která může mít katastrofické následky [8]. Proto je nutné co možná nejvíce předcházet vzniku poruch dostatečným inženýrsko-geologickým průzkumem před výstavbou, volbou vhodných materiálů, dodržením pracovních postupů při výstavbě a správným provozem vodního díla dle provozního řádu. Nezbytným způsobem předcházení poruch hrází je také jejich pravidelné monitorování, které zahrnuje četná výzkumná a kontrolní měření a jejich průběžné vyhodnocování. Monitorování umožňuje včas zaznamenat blížící se poruchy a navrhnout vhodné řešení vedoucí k bezpečnému provozu díla.

1.1 CÍLE PRÁCE

Vodní dílo Karolinka bylo uvedeno do provozu roku 1987, ale již při prvním napouštění se na vzdušném líci hráze začaly objevovat pozorovatelné průsaky [6]. Proto nebyla z bezpečnostních důvodů nádrž nikdy plně napuštěna. Jedním z faktorů zapříčiňujících špatný technický stav zemní hráze bylo zřejmě nedodržení technologických postupů při výstavbě a špatná volba materiálů. Pro zajištění bezpečnosti provozu zemní hráze a tím i vodního díla (VD) byla postupně prováděna technická opatření, která vyústila v rekonstrukci hráze v roce 2013.

Cílem mojí bakalářské práce s názvem „Účinnost těsnicí clony VD Karolinka analyzovaná metodou EIS“ je nejprve shrnout dostupné informace v oblasti zemních hrází a jejich monitorování a na základě dat získaných monitorováním zemní hráze vodního díla Karolinka metodou elektrické impedanční spektrometrie (dále EIS) následně posoudit účinnost rekonstrukce provedené v roce 2013.

Čtyři tyčové sondy, každá délky 13,0 m, pro měření metodou EIS byly do vzdušného líce osazeny roku 2011 [6]. Sondy byly navrženy a osazeny Vysokým učeníem technickým v Brně, Fakultou stavební a firmou *GEOtest*, a. s. [16]. Během rekonstrukce hráze byla jedna ze sond, označená VL_1, zničena a nahrazena novou sondou se stejnými parametry o 1 m blíže k sondě VL_2. Je proto nutné hned na počátku zdůraznit, že vzájemné porovnání dat získaných na této sondě může být zkreslené.

1.2 METODIKA PRÁCE

Pro dosažení cíle své bakalářské práce jsem zvolila následující činnosti:

- seznámit se s problematikou zemních hrází a v teoretické části ji stručně popsat,
- shrnout informace o způsobech monitorování zemních hrází a používaných přístrojích,
- seznámit se s nepřímou měřicí metodou EIS a principem měření elektrické impedance,
- naučit se pracovat s měřicí aparaturou a přístrojem Z-metr III,
- provést měření na hrázi vodního díla Karolinka v časovém rozsahu vyplývajícím z možností zpracování bakalářské práce,
- na základě dostupných dat získaných měření metodou EIS před rekonstrukcí (2012) a po rekonstrukci (2014, 2015) posoudit účinnost aplikované těsnicí clony.

Pro posouzení účinnosti těsnicí clony jsem zvolila více přístupů. Jedná se o porovnání map elektrické vodivosti vytvořených v programu Surfer 8, průběhů elektrické vodivosti na jednotlivých sondách, relativních změn elektrické vodivosti v jednotlivých úrovních a integrálů elektrických vodivostí po délce sondy. Shrnutí výsledků je uvedeno v závěru práce.

2 HRÁZE

Pojem hráz zahrnuje stavby, jejichž účelem je vzdouvat vodu a vytvářet tak prostory pro její hromadění, zadržovat splaveniny, chránit území proti záplavám nebo vytvářet koryta a kanály pro vedení vody. Hráze se podle různých kritérií dále specifikují, je tedy možno hovořit o např. ochranné hrázi, rybníční hrázi, přehradní hrázi, atd. [26].

2.1 HISTORIE A VÝVOJ VÝSTAVBY HRÁZÍ

2.1.1 HISTORIE A VÝVOJ VÝSTAVBY HRÁZÍ VE SVĚTĚ

Přehradní hráze byly budovány již v období starověku [9]. Nejstarší díla přehradního typu se nachází v Egyptě, Iráku, Indii, Sýrii a Iránu a sloužila především pro závlahu v zemědělství. Na jejich výstavbu měly vždy vliv politické a sociální změny ve společnosti, proto vývoj výstavby hrází, jejich typů, tvarů a použití materiálů nepředstavuje historicky souvislý proces. Po obdobích velkého rozvoje v této oblasti stavitelství následují období úpadku.

Pravděpodobně první hráz byla vybudována již v roce 2900 př. n. l. [9]. Nacházela se na levém břehu Nilu. Objem nádrže činil přibližně $1,2 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$, naplňoval se za povodní a sloužil především pro závlahy. V letech 2650 – 2465 př. n. l. byla jižně od Káhiry postavena přehradní hráz Saad el Kafara vysoká 12 m a dlouhá 108 m. Byla tvořena dvěma kamenitými hrázemi, mezi nimiž se nacházelo 36 m široké zemní těsnicí jádro. Jelikož neměla bezpečnostní přeliv, byla brzy po dokončení zničena přelitím. V Sýrii v letech 1319 – 1304 př. n. l. byla vystavěna kamenitá přehradní hráz vysoká 6 m a dlouhá 2000 m, která je dosud v provozu. Řada přehrad byla postavena v prvním tisíciletí př. n. l. na území Jordánska, Izraele, Iránu, Iráku a Jemenu. Některé z těchto přehrad byly zničeny, jiné jsou stále funkční.

Na území Evropy se první přehradní hráze objevují později [26]. Římané je začali budovat v koloniích, především ve Španělsku. Vystavěli například přehradu Alcanterilla [9], vysokou 20 m, která sloužila pro zásobování Toleda vodou a přehradu Proserpina [1] vysokou 19 m a dlouhou 427 m. Nevyšší Římany vystavěnou přehradní hrází je Cornalbo [19] o výšce 24 m a délce 200 m, která je dosud v provozu. Římané budovali přehrady také na území Sýrie a dnešního Turecka.

Číňané postavili kolem roku 240 př. n. l. v provincii Shansi kamenitou přehradní hráz výšky 30 m a délky 300 m [9].

V období středověku vodní stavitelství v Evropě značně upadlo. Stavěly se spíše rybníční hráze menších výšek [26]. Významný rozkvět však byl zaznamenán v Japonsku v období 1520 – 1603 n. l. [9], kdy bylo vystavěno asi 30 zemních přehrad vyšších než 15 m sloužících především pro akumulaci vod k závlahám. Přehrada Daimonike, vystavěna roku 1128, má

výšku 32 m. Významné přehrady z období středověku najdeme také na Cejlonu [19], kde se budovaly nádrže pro závlahové účely s dlouhými nízkými hrázi. Rozvoj přehradního stavitelství byl ve středověku zaznamenán v Indii – bylo zde vybudováno několik desítek tisíc závlahových nádrží. Nádrž v Bhopalu o ploše $6,5 \cdot 10^6 \text{ m}^2$, pocházející z 11. století, tvořily dvě zemní hráze chráněné na obou svazích opracovanými kameny, z nichž vyšší byla vysoká 27 m a dlouhá 92 m.

Na přelomu středověku a novověku se opět rozvíjí výstavba přehradních hrází v Evropě, zejména ve Španělsku [9]. Zde byla postavena zakřivená tížná hráz Tibi, postavená roku 1594 z lomového zdiva vysoká 46 m. Její tloušťka v koruně je 20,3 m, délka 63 m a objem 16 tis. m^3 .

Nejrozšířenějším materiálem využívaným v historii pro stavbu hrází jsou přírodní stavební materiály – kámen a zemina. Kromě hrází tížných jsou budovány také nízké pilířové a klenbové, například přehrada s klenbovým účinkem Ponte Alto u Tridentu pocházející ze 17. století.

V 19. století dochází k velkým pokrokům v přehradním stavitelství. [1] Tento vývoj souvisí se zvyšujícími se nároky na množství pitné vody z důvodu rostoucího počtu obyvatelstva a jeho životní úrovně a také s potřebou ochrany před povodněmi. Od poloviny 19. století se začíná ve větší míře využívat vodní energie. Rozvíjí se teorie pružnosti a pevnosti [9], matematické analýzy, rozšiřují se poznatky v oblasti určení přetvárných vlastností materiálů a vnitřních sil v zatížené konstrukci. Na základě těchto poznatků byla postavena například přehrada na řece Furens ve Francii s parabolickým obrysem návodního a vzdušného líce, která dosahovala rekordní výšky 60 m a také první novodobá klenbová přehrada Zola vysoká 37,7 m, šířky 5,8 m v koruně a 12,8 m v základě. Vývoj sypaných přehradních hrází byl v 19. století velmi pozvolný [1]. Převažovaly stále hráze homogenní, v Anglii byla ale v roce 1820 postavena hráz se středním těsněním z jílovité zeminy. Rozvoj stavby zemních hrází nepříznivě ovlivňovala neznalost zákonů mechaniky zemin a nedostatek výkonných strojů pro usnadnění prací.

Teprve ve 20. století se objevilo stabilitní řešení sypaných zemních přehrad [9]. Pro výpočet stability svahu vytvořil v roce 1916 Petterson proužkovou metodu a Cassagrandeho a Terzaghiho výzkumy položily základ bezpečnému navrhování sypaných přehrad. Od počátku 20. století se projevil rozvoj přehradního stavitelství, co se týče počtu i objemu nádrží. Pokrok byl umožněn díky znalosti technologií, mechanizace a nových stavebních hmot. Dochází k růstu počtu přehradních hrází a jejich rozměrů, vývoji nových typů, ke vzniku nových postupů v zakládání a provádění stavby a také je umožněno budovat přehradu v méně příznivých podmínkách. Dochází k výstavbě tížných betonových hrází, zpočátku z litého betonu. Později s rozvojem železobetonu se vyvíjí také výstavba členěných

klenbových a deskových přehrad. V současnosti je nejvyšší přehradou betonová hráz Ťin-pching v Číně, která je 305 m vysoká a v koruně 568, 6 m dlouhá [20].

2. 1. 2 HISTORIE A VÝVOJ VÝSTAVBY PŘEHRADNÍCH HRÁZÍ NA NAŠEM ÚZEMÍ

Na našem území dochází k výstavbě prvních zemních hrází ve 14. století. Jedná se především o hráze rybníční. Před rokem 1367 byla postavena hráz rybníku Dvořiště vysoká 10 m [9]. Z roku 1492 pochází hráz nádrže Jordán vysoká 18 m, vybudovaná za účelem zásobování obyvatel města Tábor pitnou vodou. Jedná se o jednu z prvních vodárenských nádrží ve střední Evropě [1]. Před rokem 1459 byla dokončena hráz Staňkovského rybníka, která dosáhla výšky 15 m. Z roku 1896 pochází přehradní hráz u Jevišovic na Moravě vysoká 25 m. Z betonu byla postavena například 59 m vysoká přehradní hráz vodního díla Vranov v roce 1934 [9] nebo Orlík z roku 1963, vysoká 91 m. Rozlohou největší vodní nádrží je vodní dílo Lipno [25], vybudovaná na řece Vltavě v letech 1952 – 1959. Jedná se o největší vodní plochu na území České republiky. Hráz nádrže je 25 m vysoká a 296 m dlouhá, sypaná se středním těsnicím jádrem.

Typickým rysem českého vodního hospodářství je výstavba rybníků a malých vodních nádrží [26]. Na území ČR se jich nachází přibližně 20 000. Malé vodní nádrže mají většinou pouze místní význam, ale ve své lokalitě jsou nezastupitelné. Hráze bývají zemní homogenní, tvořeny především z místních materiálů.

3 PŘEHRADNÍ HRÁZE

Přehradní hráz je tvořena přehradním tělesem a příslušenstvím. Je budována za účelem hromadění vody k účelům vodohospodářským a hydro-energetickým a k ochraně území před škodlivými povodněmi. Podle materiálu tvořícího těleso hráze se přehradní hráze dělí na [19]:

- přehradní hráze z místních materiálů (zemní, kamenité, zonální kamenité a zemní),
- betonové,
- dřevěné,
- ocelové,
- kombinované.

Ve své bakalářské práci „Účinnost těsnicí clony VD Karolinka analyzovaná metodou EIS“ se detailně zabývám sledováním procesů probíhajících v zemní heterogenní přehradní hrázi, a proto je následující teoretický rozbor vázán do uvedené oblasti.

3.1 ZEMNÍ PŘEHRADNÍ HRÁZE

Zemní přehradní hráze jsou takové hráze, jejichž stabilizační část je tvořena zeminou [26]. Patří k nejstarším typům hrází. Technologie stavby se vyvíjela od ručního sypání homogenních hrází až k budování zonálních zemních přehrad nebo přehrad s umělými těsnicími prvky [3]. Výhodou zemních přehrad je snadné přizpůsobení základovým podmínkám, využití místních dostupných materiálů a možnost vysoké mechanizace při jejich provádění. Z těchto důvodů jsou i v současnosti nejčastějším typem přehradních hrází.

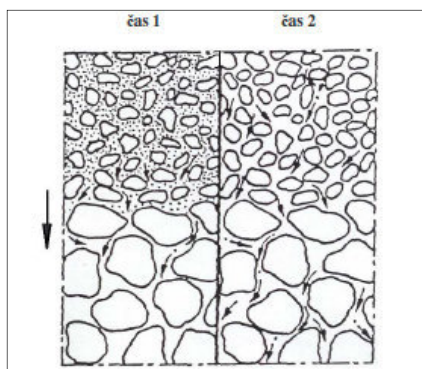
3.2 PŘÍČNÝ PROFIL PŘEHRADNÍ ZEMNÍ HRÁZE A KONSTRUKČNÍ PRVKY

Geometrický tvar tělesa zemní přehradní hráze je lichoběžník. Horní kratší základna lichoběžníku se nazývá koruna hráze. Dle členění příčného profilu tělesa hráze se zemní přehradní hráze dělí na homogenní a heterogenní (zonální) [26]. Příčný profil tělesa zemní heterogenní přehradní hráze zpravidla obsahuje tyto části [9]:

- stabilizační části - bezpečně přenáší účinky působícího stálého a nahodilého zatížení do podloží a svahů údolí,
- těsnění - zabezpečuje požadovanou nepropustnost přehradního tělesa, může být střední nebo návodní,
- ochranné prvky - chrání těsnění před namáháním vyvozeným stabilizační částí, přenáší působící zatížení z těsnění na stabilizační část a zemní těsnění chrání před sufozí,

- odvodňovací prvky - zabezpečují neškodné zachycení a odvedení prosáklé vody mimo těleso hráze.

Těleso homogenní hráze je tvořeno pouze jednou zeminou, která plní funkci stabilizační i těsnicí.



Obr. 3.1 Mechanismus kontaktní sufoze [19]

3. 3 KONSTRUKČNÍ MATERIÁL

Pro výstavbu zemních přehradních hrází je možné použít nejrůznější soudržné i nesoudržné zeminy [26]. Při návrhu přehradního tělesa je nutné vycházet především z materiálů, které jsou v dané lokalitě dostupné. Na základě informací z provedeného inženýrsko-geologického průzkumu o vlastnostech a dostupnosti zemin je navržen tvar a složení přehradního tělesa. Rozhodujícím parametrem zeminy je stupeň nasycení, který lze vyjádřit rovnicí [9]

$$S_r = \frac{\rho'_s \cdot (\rho' - \rho'_d)}{\rho'_w \cdot (\rho'_s - \rho'_d)} \quad (3.1)$$

Kde ρ'_s je měrná hmotnost horniny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], ρ' objemová hmotnost horniny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], ρ'_d objemová hmotnost vysušené horniny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] a ρ'_w měrná hmotnost vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]. Metodu EIS však nebylo možné na stupeň nasycení kalibrovat z důvodu nedostupnosti zeminy ke kalibraci.

3. 3. 1 ZATŘÍDĚNÍ ZEMIN

Zatřídění zemin vyplývá z ČSN 75 2310 „Sypané hráze“. Z této normy zatřídění přejímá také ČSN 75 2310 „Malé vodní nádrže“, kterou je možné použít pro výběr zemin vhodných k násypu homogenní hráze. Zatřídění zemin je zřejmé z tab. 3.1 a obr. 3.1 a obr. 3.2. Vhodnost použití jednotlivých typů zemin pro různé zóny hrází je patrná z tab. 3-2. Orientační vlastnosti zhutnělých zemin dle klasifikace jsou uvedeny v tab. 3.3. Zrnitostní složení a oblasti použitelnosti zemin jsou znázorněny na obr. 3.3 [3].

Tab. 3.1 Zatřídění zemin (ČSN 75 7410)

a) Klasifikace štěrkových zemin

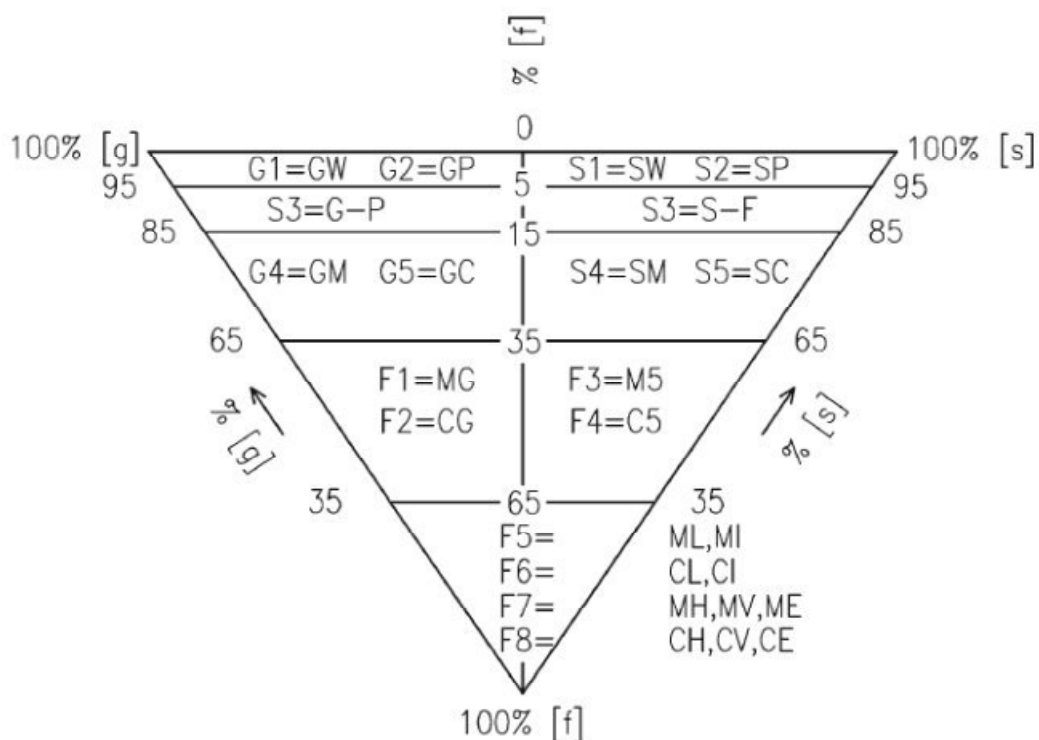
Název zeminy	Symbol	Třída	Kvalitativní znaky			
			Obsah jemnozrné frakce (<0,06 mm) [%]	C_u [-]	C_c [-]	Diagram plasticity
Štěrka dobře zrněná	GW	G1	<5	>4	1 až 3	-
Štěrka špatně zrněná	GP	G2	<5	<4	<1 nebo >3	-
Štěrka s příměsí jemnozrné zeminy	G-F	G3	5 až 15	-	-	-
Štěrka hlinitá	GM	G4	15 až 35	-	-	pod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

b) Klasifikace písčítých zemin

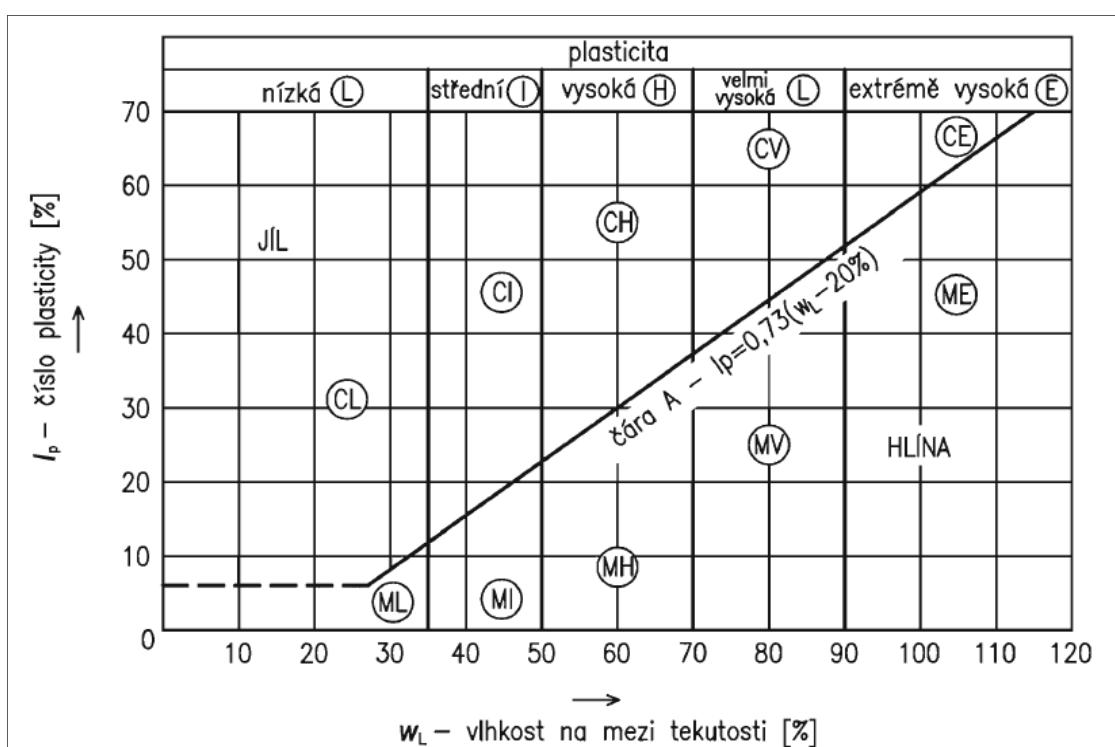
Název zeminy	Symbol	Třída	Kvalitativní znaky			
			Obsah jemnozrné frakce (<0,06 mm) [%]	C_u [-]	C_c [-]	Diagram plasticity
Písek dobře zrněný	SW	S1	<5	>6	1 až 3	-
Písek špatně zrněný	SP	S2	<5	<6	<1 nebo >3	-
Písek s příměsí jemnozrné zeminy	S-F	S3	5 až 15	-	-	-
Písek hlinitý	SM	S4	15 až 35	-	-	pod čarou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

c) Klasifikace jemnozrných zemin

Název zeminy	Symbol	Třída	Obsah jemnozrné 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 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)



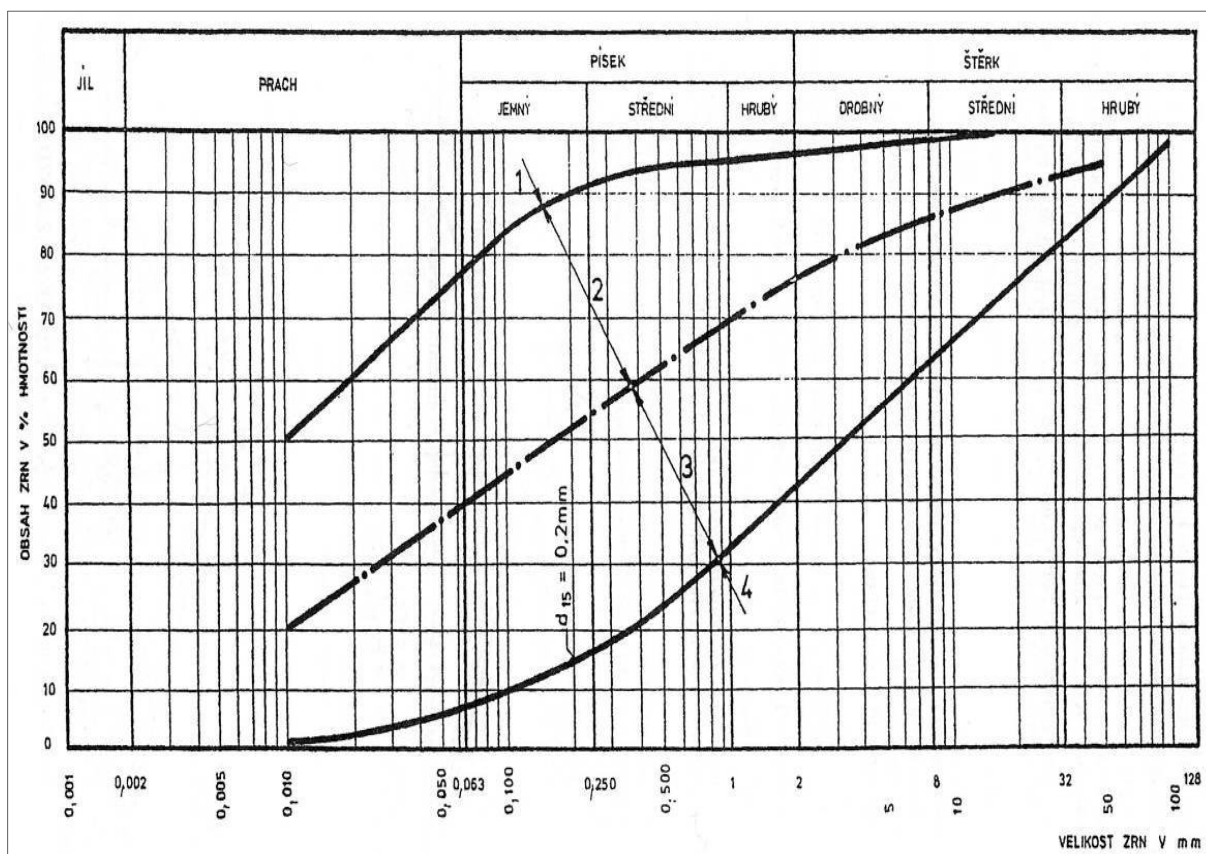
Obr. 3.3 Diagram plasticity (pro částice < 0,5 mm) (ČSN 75 2410)

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	$4 \cdot 10^{-7}$ - $2 \cdot 10^{-10}$

Tab. 3.3 Vhodnost zemin pro různé zóny 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



Obr. 3.4 Mezní křivky zrnitosti zemín vhodných pro budování zemních přehradních hrází [22]

3. 3. 2 KONSTRUKČNÍ MATERIÁL STABILIZAČNÍ ČÁSTI NEHOMOGENNÍ HRÁZE

Pro stabilizační část nehomogenní zemní hráze se používají materiály s vyšší smykovou pevností a vysokou propustností [9]. Tyto materiály by měly být po zhutnění propustné, odolné vůči objemovým změnám vlivem počasí a průsakové vody, neměly by obsahovat organické látky a takové látky, které by mohly po rozpuštění ve vodě působit agresivně na konstrukce hráze a objektů (ČSN 75 2410). Také by měly být zpracovatelné pro dostupnou technologii výstavby. Požadavky vyplívají z funkce stabilizační části zemní hráze tj. zajistit bezpečné převedení tížného účinku tělesa hráze a zajištění stability těsnění [3]. V návaznosti na ČSN lze za vhodné tyto zeminy: štěrky a štěrky s příměsí jemnozrnné zeminy, písky a písky s příměsí jemnozrnné zeminy, sutě, lomový kámen a lomový kámen s hlinitou příměsí.

3. 3. 3 KONSTRUKČNÍ MATERIÁL TĚSNICÍ ČÁSTI NEHOMOGENNÍ HRÁZE

Pro těsnicí část se používají materiály, které se vyznačují malou propustností a menší pevností [26]. Z přírodních materiálů jsou to jílovité a hlinité štěrky, jílovité a hlinité písky, písčité a štěrkovité hlíny a jíly a hlíny a jíly s nízkou a střední plasticitou. Funkci zemního těsnění je nutné zajistit soustavou vhodných ochranných prvků – drénů a filtrů. Je možné použít také některé umělé materiály, a to beton, asfaltobeton nebo plastové folie [3]. Při použití betonového těsnění je nutné zajistit minimalizaci vzniku hydratačního tepla a smršťování a dotvarování betonu. Těsnění asfaltobetonová mají nízkou hydraulickou vodivost a umožňují určitou plasticitu těsnění. Nejsou však stabilní za vysokých teplot (např. při oslunění). Plastové fólie používané v minulosti na těsnění často podléhaly degradaci působením UV záření a bylo nutné je ochránit před klimatickými podmínkami. Dnes se používají především fólie z měkčeného PVC s výstužnou mřížkou nebo tkaninou. Současné fólie jsou vyrobeny z látek, které klimatickým podmínkám téměř nepodléhají.

3. 3. 4 KONSTRUKČNÍ MATERIÁL FILTRŮ A DRÉNŮ

Pro budování filtračních vrstev zajišťujících hydraulickou stabilitu těsnicích prvků a ochranu hrubozrnných drenážních prvků se nejčastěji používají písky a štěrkopísky vhodného zrnitostního složení. Křivky zrnitosti chráněného materiálu a filtru by měly být přibližně rovnoběžné, zejména v oblasti jemných částic.

Jako materiál filtrační vrstvy mohou sloužit také materiály umělé – netkané syntetické geotextilie a rovinné nebo prostorové geosítě [3]. Umělé filtrační prvky mohou plnit zároveň funkci filtrační i drenážní (tzv. drenážní sendviče). Jejich použití však není příliš ověřené a v případě zemních přehradních hrází nedošlo k masivnímu rozšíření.

Nejčastějším materiálem pro stavbu drénu v tělese zemní hráze je velmi hrubý štěrk a čistý lomový kámen v kombinaci s vhodnými filtry [3]. Pro odvedení vody zachycené v drénech slouží trubní systém, jehož materiálem může být kamenina nebo plast. Drenážní funkci mohou plnit také syntetické prvky, drenážní sendviče, kombinace filtru a drénu ve formě koberce. Jejich nevýhodou je subtilnost prvku a tím rychlejší zanášení jemnými částicemi.

3. 4 FUNKČNÍ OBJEKTY

Aby mohla být zajištěna požadovaná funkce přehradní hráze, musí být dílo vybaveno objekty a zařízeními, které umožňují jeho bezpečný provoz [9]. Objekty, které konstrukčně bezprostředně souvisí s tělesem přehradní hráze a zabezpečují plnění uvedeného požadavku, nazýváme souhrnně příslušenství přehrady [26].

Funkční objekty se dělí na:

- bezpečnostní,
- výpustné,
- odběrné.

3. 4. 1 BEZPEČNOSTNÍ OBJEKT

Jako bezpečnostní objekt slouží přeliv. Každá umělá vodní nádrž musí být vybavena přelivem [5], který slouží k bezpečnému převádění povodňových průtoků do vodního koryta pod přehradou. Vzhledem k umístění a dispozičnímu uspořádání se přelivy dělí na [26]:

- korunové - voda přepadá přímo po vzdušném líci přehradní hráze (pro zemní hráze se nepoužívá),
- postranní - v břehu bezprostředně vedle přehradního tělesa,
- boční - mimo přehradní těleso v boku nádrže,
- šachtové - voda je odváděna svislou šachtou do odpadní štoly.

3. 4. 2 VÝPUSTNÝ OBJEKT

Každá přehrada musí mít nejméně dvě samostatně fungující a navzájem nezávislé spodní výpusti. Pouze výjimečně může být přehrada vybavena pouze jednou spodní výpustí [5]. Výpusti zajišťují tyto funkce:

- převádění průtoků v jednotlivých etapách výstavby,
- převádění přítoku do nádrže při opravách,
- vypouštění požadovaných průtoků to vodního toku pod přehradou při všech polohách hladin,
- snížení hladiny vody v nádrži na požadovanou hodnotu v požadovaném čase,
- neškodné převádění části povodňového průtoku [26].

3. 4. 3 ODBĚRNÝ OBJEKT

Umožňuje odběr požadovaného množství vody při všech polohách hladiny nad příslušnou minimální provozní hladinou [5]. Požadované odběry slouží pro vodárenské účely, pro závlahy nebo pro hydroenergetické využití.

4 MONITOROVÁNÍ PŘEHRADNÍCH ZEMNÍCH HRÁZÍ

Přehradní zemní hráze a jejich podloží jsou vystaveny účinkům sil, které mohou stavbu ohrožovat. Mezi tyto síly lze zařadit účinky vlastní tíhy, vodního tlaku, proudící vody, působení ledu, vlnobití a dalších přírodních vlivů [11]. K zajištění bezpečnosti slouží zejména četná kontrolní a výzkumná měření a jejich vyhodnocování. Stavby jsou tedy pod dohledem. Rozsah a četnost měření závisí na druhu díla, jeho kategorii, konstrukčních a technologických zvláštích a technickém stavu [2]. Rozdělení vodních děl do kategorií je patrné z přílohy 1.

Monitorování a vyhodnocování technického stavu díla z hlediska bezpečnosti, provozní spolehlivosti, příčin možných poruch a jejich následků lze souhrnně nazvat technicko-bezpečnostní dohled (dále TBD) nad vodními díly [24]. Jeho součástí je také návrh případných bezpečnostních opatření. Cíle TBD lze shrnout v sledujících bodech [12]:

- monitorovat vlastnosti materiálů tělesa hráze a podloží,
- ověřit shodu jednotlivých parametrů bezpečnosti ve výpočtových modelech se skutečností,
- analýzou výsledků identifikovat možné anomálie a předcházet tak poruchám,
- při použití nových těsnicích materiálů má monitorování také výzkumný charakter.

4. 1 METODY MONITOROVÁNÍ PŘEHRADNÍCH ZEMNÍCH HRÁZÍ

Zájem o sledování přehradních zemních hrází je možné rozdělit do tří skupin [2]

- měření přetvoření (posuny a deformace včetně mechanických vlastností konstrukcí a podloží),
- sledování režimu průsakových a podzemních vod a jejich důsledků,
- sledování vlivů prostředí, provozu, měření vyplývající z funkce díla nebo z místních podmínek, popř. z výzkumných důvodů apod.

4. 1. 1 MĚŘENÍ POSUNŮ A DEFORMACÍ

Při měření posunů a deformací se zjišťují prostorové změny vodního díla (jako jsou celkové posuny a pootočení), relativní posuny a pootočení jednotlivých částí tělesa spolu s podložím a poměrná přetvoření [2]. Pro měření přetvoření je možné použít metody geodetické (velmi přesná nivelace, trigonometrické metody, měření od záměrné přímky) a fyzikální (kyvadlo, sklonoměr, teleskopický vodočet, fotogrammetrie).

Velmi přesná nivelace

Metoda velmi přesné nivelace je jednou z nejspolehlivějších metod a tvoří nezbytnou součást každého měření deformace přehradního tělesa [10]. Je vhodná zejména pro snímání svislých posunů vyvolaných stlačeními nebo odlehčeními podloží při výstavbě a během provozu vodního díla [11]. Podstata metody spočívá v tom, že se nivelují kontrolní výškové značky vhodně rozmístěné na pozorovaném přístupném místě stavby [10]. Vychází se ze sítě pevných výškových bodů s absolutními kótami, které jsou osazeny mimo hráz ve skále tak, aby nebyly ovlivňovány vodní nádrží ani vahou hráze [11]. Síť pevných bodů by měla tvořit uzavřený nivelační polygon [2]. Velmi přesnou nivelací lze měřit také výškové změny v hloubce podloží (nebo násypu), a to buď v existující drenážní štolě, nebo pomocí vytvořené hloubkové nivelační značky. Na dno vypaženého vrtu je zakotvena tyč, která se vyvede na přístupnou úroveň, kam je možné vést nivelaci. Metodu lze použít v kombinaci např. s hydrostatickou nivelací nebo diferenciálním kyvadlem.

Trigonometrická metoda

Pro měření vodorovných posunů je nejuniverzálnější trigonometrická metoda [2]. Lze jí sledovat také deformace během výstavby nebo sedání přilehlého území vlivem zátěže vody v nádrží [10]. Vodorovný posun kontrolního bodu se určuje opakovaným měřením změn vodorovných úhlů ze dvou až tří pevných pozorovacích bodů. Z rozdílu úhlů mezi směry při základním měření a kontrolním měření se stanoví vodorovná složka posunu. Při použití velmi přesného úhloměrného stroje a vzdálenostech mezi pozorovacími a měřenými body lze dosáhnout přesnosti přibližně 1 mm [2].

Měření od záměrné přímky

Vodorovné posuny se stanovují také měřením od záměrné přímky [2]. Uvedená metoda se používá zejména pro měření posunů v koruně hráze. Záměrná přímka je určena pevným pozorovacím a záměrným bodem, měří se složka vodorovného posunu kolmá na svislou rovinu proloženou záměrnou přímkou [10]. Nejčastější způsob určení posunu je odměřování deviačního úhlu mezi směrem na záměrný bod a na kontrolní značky v koruně přehrady [2].

Kyvadlo

Pomocí hrázových kyvadel se měří naklonění přehradní hráze v libovolném směru a relativní posun koruny hráze vzhledem k podloží [10]. V kombinaci s trigonometrickým měřením se získají absolutní posuny v základové spáře. Při nejjednodušším uspořádání (přímé kyvadlo) jde o těžké závaží zavěšené na dlouhém drátě ve svislé šachtě [2]. Závaží je ponořeno do nádoby s olejem. Pomocí přesného odečítacího zařízení se v několika úrovních měří odchylky od základní polohy.

Sklonoměr

Sklonoměrem se měří naklonění vodorovné roviny. Jedná se o velmi přesnou přenosnou vodováhu, která se osazuje na stabilně zabetonované čepy [11]. Měří se odchylka přímky tvořené čepy od původní polohy.

Teleskopický vodočet

Sedání zemních hrází se měří teleskopickým vodočtem [11]. Do vyvrtaného otvoru se na dně v pevné hornině zabetonuje kovová tyč, na niž se nevěleče posuvná trubka většího průměru, která je v úrovni základové spáry ukončena deskou, takže se pohybuje společně se sedáním podloží. Měří se výškové posunutí pevné kovové tyče vzhledem k posuvné trubce.

Fotogrammetrie

Metoda fotogrammetrie slouží pro monitorování deformací zejména u kamenitých přehrad. Spočívá v zachycení přehradního tělesa na fotografické snímky a následném srovnání polohy kontrolních bodů.

Magnetická sonda

Pomocí magnetické sondy se měří svislé posuny uvnitř zemních přehrad [2]. Metoda spočívá ve zjišťování polohy plochých desek (např. z hliníku) uložených do násypu pomocí sondy pracující na principu elektromagnetického rozladění oscilačního obvodu spouštěné do svislé trubky. Měření se vztahuje k zhlaví trubky, jehož polohu je nutné zjistit nivelací.

4. 1. 2 SLEDOVÁNÍ PRŮSAKOVÝCH A PODZEMNÍCH VOD

Sledování režimu průsakových a podzemních vod má zásadní význam pro zjišťování technického stavu vodního díla s dopadem na bezpečnost jeho provozu [2]. Může sloužit jako jeden z prvních signálů hrozící poruchy nebo nesprávné funkce konstrukčních prvků. S budoucím monitorováním průsakových poměrů je nutné počítat již při návrhu a výstavbě přehradní zemní hráze. Drenážní systém musí být navržen tak, aby umožňoval kontrolu funkce těsnících prvků. Důležité je oddělit kontrolu průsaku přehradním tělesem a podložím a zabránit vnikání jiné vody (např. z údolních svahů) do odvodňovací soustavy. Režim průsakových vod ovlivňuje bezpečnost přehradních hrází trojím způsobem, a to

- účinkem tlaku v pórech materiálu, jímž voda prosakuje,
- vnitřní erozí,
- fyzikálně chemickými účinky.

Základními prostředky sledování účinků průsaků jsou měření množství průsaku (odtoků z odvodňovacího systému), měření pórového tlaku a měření hladiny vody prosakující porézním prostředím (depresní křivky)[2].

Měření průsaků

Měření průsaků na výtocích z nezávislých větví odvodňovacího systému je prováděno buď kontinuálně pomocí měrných přelivů, nebo v případě malých hodnot průsaků periodicky vyčerpáváním stálého objemu z jímky prosáklé vody po naplnění na danou úroveň [2]. Pokud není jiná možnost, je možné velikost průsaků odhadnout z průtoku v korytě pod vodním dílem.

Měření pórových tlaků

Měření tlaku v pórech je pro zemní přehradní hráze základním prostředkem kontroly stability a bezpečnosti [2]. Měření tlaku je možné provádět i v podloží, kde může sledování pórových tlaků prosakující vody sloužit jako ověření účinnosti injekční clony. K měření se používají buď snímače pórových tlaků (tlakoměrné krabice), nebo častěji piezometrické vrty. V předpokládaném přetlaku se ústí vrtu uzavře a opatří manometrem, v opačném případě je velikost vztlaku dána polohou hladiny ve vrtu, kterou lze určit Rangovou píšťalou nebo elektrickou sondou.

Měření hladiny vody v porézním prostředí

Výšky hladiny podzemní vody se zjišťují jak v tělese zemní hráze, tak v dotčeném území pro zjištění změn vyvolaných provozem vodního díla [10]. Měření se provádí podobně jako sledování pórových tlaků soustavou piezometrických vrtů. Vrty jsou rozmístěny tak, aby bylo možné z naměřených piezometrických výšek sestrojít depresní křivku. Pro interpretaci výsledků jsou nutné chronologické záznamy polohy hladiny horní a dolní vody, případně i teploty vody v nádrži [2].

4. 1. 3 SLEDOVÁNÍ VLIVU PROSTŘEDÍ A PROVOZU

Vlivy prostředí a provozu se obvykle projevují pozvolným porušováním konstrukčních prvků [2]. Sledování těchto projevů patří k běžným kontrolám, které provádí hrázný. Současně také vede záznamy o pozorovaných skutečnostech. Z klimatických jevů se pravidelně měří teplota ovzduší a vody v nádrži, srážky, výška sněhové pokrývky, tloušťka ledové celiny apod. Na stabilitu a správnou funkci vodního díla mají vliv také změny úrovně hladiny vody v nádrži, plné zatížení při povodních a splaveniny přinášené do nádrže. Důležité je také monitorování seizmicity, k němuž lze přiřadit vlivy odstřelů při stavebních a těžebních pracích, chvění přenášené z budovy elektrárny nebo vozovky, nárazy plavidel a jiné.

5 ELEKTRICKÁ IMPEDANČNÍ SPEKTROMETRIE

Elektrická impedanční spektrometrie (dále EIS) je nepřímá měřicí metoda využívající měření elektrické impedance k posuzování charakteristik zemin [16]. Umožňuje sledovat jevy podmíněné změnou elektrické vodivosti zemin, kterou vyvolává změna obsahu vody v zemině nebo změna elektrických vlastností vody.

Zdrojem budicí energie pro sledování zemin je střídavý harmonický elektrický proud. Každá zemina se projevuje určitým elektrickým odporem vůči průchodu elektrického proudu. Metoda EIS tedy popisuje elektrický odpor měřeného prostředí [15].

Základním principem metody je měření charakteristiky elektrické impedance \mathbf{Z} zemin, kterou lze vyjádřit Ohmovým vztahem pro střídavé obvody, tedy poměrem fázoru elektrického napětí \mathbf{U} a fázoru elektrického proudu \mathbf{I} [13].

$$\mathbf{Z} = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{I}} [\Omega], \quad (5.1)$$

kde fázor elektrického napětí \mathbf{U} je vyjádřen ve voltech [V] a fázor elektrického proudu \mathbf{I} v ampérech [A].

Elektrická impedance je komplexní veličina charakterizovaná dvěma složkami, reálnou a imaginární [15]. Reálnou složku tvoří elektrický odpor R (rezistance), který se nemění v závislosti na frekvenci budicího signálu a charakterizuje např. stupeň nasycení zeminy vodou, teplotu, celkový obsah rozpustných solí apod. Imaginární složka je tvořena reaktancí \mathbf{X} , která se v závislosti na frekvenci mění a souvisí se strukturou prostředí. Elektrickou impedanci lze zapsat v algebraické formě

$$\mathbf{Z} = R + jX [\Omega], \quad (5.2)$$

kde j je imaginární číslo [-] a ostatní veličiny jsou vyjádřeny v ohmech [Ω].

Modul elektrické impedance (absolutní hodnota elektrické impedance) lze vyjádřit užitím Pythagorovy věty ve tvaru:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} [\Omega], \quad (5.3)$$

kde jsou všechny veličiny vyjádřené v ohmech [Ω]. Fázový posun φ je vyjádřen vztahem

$$\varphi = \arctg\left(\frac{X}{R}\right) [-]. \quad (5.5)$$

Rezistivita ρ , specifický elektrický odpor, charakterizuje elektrický odpor vodiče jednotkové délky a jednotkové plochy kolmého průřezu. Je dána vztahem

$$\rho = R \cdot \frac{A}{l} [\Omega \cdot \text{m}], \quad (5.6)$$

kde R je elektrický odpor [Ω], A [m^2] průřezová plocha vodiče a l délka elektrického vodiče tvořeného zeminou resp. vzdálenost elektrod [m] snímače metody EIS.

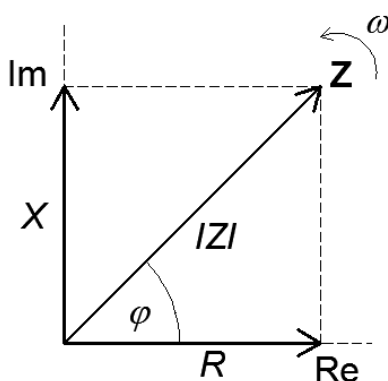
Inverzní hodnotou k elektrické impedanci Z je admitance Y [S], která popisuje zdánlivou elektrickou vodivost prostředí,

$$Y = \frac{1}{Z} [\text{S}]. \quad (5.7)$$

Schopnost látky vést elektrický proud je charakterizována konduktivitou σ [$\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$] resp. $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$], což je inverzní hodnota rezistivity,

$$\sigma = \frac{1}{\rho} [\text{S} \cdot \text{m}^{-1}]. \quad (5.8)$$

Fázor elektrické impedance Z je možné vyjádřit také graficky (Obr. 6.1).



Obr. 5.1 Grafické znázornění fázoru elektrické impedance

Pro stanovení elektrické impedance byly v Laboratoři vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb řešením projektů Grantové agentury ČR a mezinárodních projektů programu EUREKA sestrojeny měřicí přístroje Z-metr první až čtvrté generace s příslušenstvím. Z-metr I se používá pro měření v laboratorních podmínkách, s přístroji Z-metr II až IV je možné pracovat jak v podmínkách laboratorních, tak polních. Data zpracovaná v mé bakalářské práci jsou změřena přístrojem Z-metr III, se kterým jsem se také v rámci měření naučila pracovat (Obr. 6.2).

5.1 PRINCIP MĚŘENÍ METODOU EIS

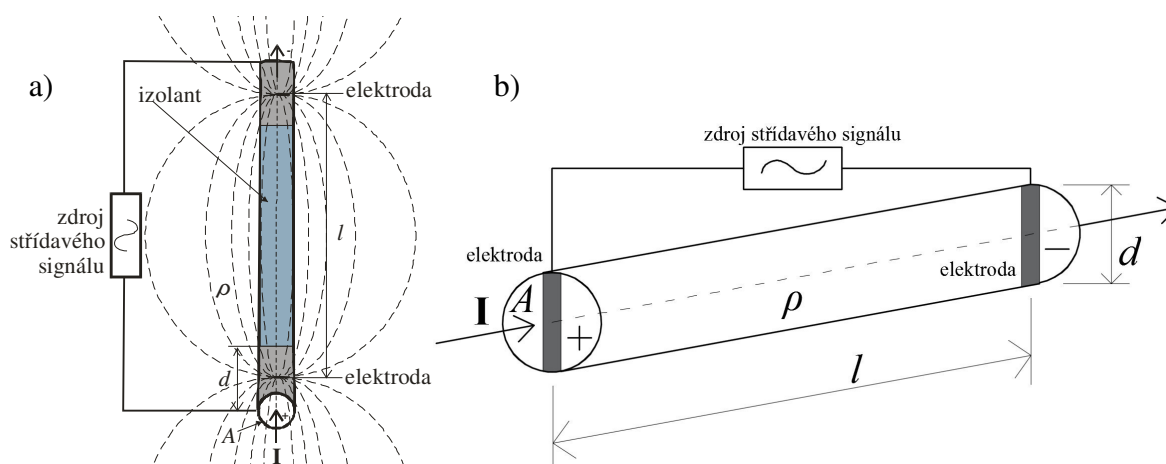
Měření elektrické impedance vychází z paralelního umístění dvou elektricky vodivých elektrod do zeminy ve vzdálenosti l , která by z důvodu omezení vlivu geoelektromagnetického pole Země neměla přesáhnout 2 m. Dvě elektrody délky d tvoří jeden snímač sondy EIS. Střídavý elektrický proud procházející zeminou mezi elektrodami v ní generuje elektrické pole. Zemina však průchodu elektrického proudu klade elektrický odpor, což vyjadřují měřené složky elektrické impedance Z .



Obr. 5.2 Měření přístrojem Z-meter III

Zemina se obecně považuje za špatný elektrický vodič, je-li v suchém stavu. Proto u suché zeminy bude reálný elektrický odpor velký. Bude-li naopak zemina vlhká nebo v ní budou póry s obsahem vody, elektrický odpor bude menší a zemina povede lépe elektrický proud. Stane se tak elektrickým vodičem, jehož plocha A je určena délkou elektrod d (Obr. 5.3).

Dle možností a potřeb sledování je měření možno realizovat na jedné dělené tyčové sondě (Obr. 5.3a), kdy je nezbytné využití adaptéru, nebo jako paralelní zapojení dvou elektrod (Obr. 5.3b).



Obr. 5.3 Schéma měření pro určení elektrických parametrů zeminy

6 PŘÍSTROJ Z-METR III

Přístroj Z-metr III s příslušenstvím (obr. 6.1) byl navržen pro měření elektrické impedance ve frekvenčním spektru. Je v řadě třetím modelem Z-metru stavebnicového provedení, který byl navržen a sestaven v rámci řešení mezinárodních projektů programu EUREKA. Obsahuje zdrojovou jednotku, zobrazovací jednotku a jednotku pro zálohování dat. Jeho součástí je i programové vybavení, které umožňuje komunikaci uživatele s přístrojem [18] a nadřazeným počítačem.

Jádro přístroje tvoří 32 bitový procesor firmy ST Mickoelectronics umožňující dvousvorkové a třísvorkové zapojení snímačů [15]. Záznam měření se ukládá ve formě textového souboru na přenosné médium – SD kartu s vestavěným systémem FAT a rovněž je možné přístroj přes USB rozhraní připojit k počítači [18]. Parametry měření se zadávají přímo do přístroje. Komunikace s uživatelem probíhá prostřednictvím klávesnice a LC displeje. Ovládání je velmi blízké ovládání mobilního telefonu. Zařízení obsahuje akumulátor typu Li-Ion s kapacitou 7 Ah a předpokládanou dobou nepřetržitého provozu 24 hodin a možností dobíjení z 12 V zdroje. Součástí je také záložní baterie typu CR1220, umožňující uložení měřených dat v případě náhlého selhání napájecího zdroje. Měřicí sondy se k přístroji připojují pomocí dvou konektorů typu CANON 25 PIN [18]. Pro měření je možné použít pouze nastavenou amplitudu generovaného signálu $U = 1$ V.

Parametry přístroje Z-metr III jsou uvedeny v Tab. 6.1. Příklad záznamu měřených dat na SD kartu v textovém formátu ukazuje Tab. 6.2.



Obr. 6.1 Přístroj Z-metr III s příslušenstvím

Tab. 6.1 Parametry přístroje Z-metr III [18]

Parametr	Z-metr III
Impedanční rozsah	100 Ω - 1M Ω
Frekvenční rozsah	1kHz - 100 kHz
Přesnost měření modulu Z	$\pm 2\%$ z rozsahu
Přesnost měření fáze	$\pm 2^\circ$
Komunikační rozhraní	USB, SD karta
Počet měřicích míst	1-8, 16, 32, 64, 128
Přepínač	interní, externí
Napájení	baterie

Tab. 6.2 Textový soubor měřených dat

VL_2.TXT – Poznámkový blok							
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda							
Start at 4.12.2014 9:58:51							
No	f [Hz]	date [dd.mm.yyyy]	time [hh:mm:ss]	ch	range	Rx [ohm]	Xx [ohm]
1	8000	4.12.2014	9:58:51	0	0	340.7	-15.1
2	8000	4.12.2014	9:58:51	1	0	400.0	-22.7
3	8000	4.12.2014	9:58:51	2	0	429.9	-26.9
4	8000	4.12.2014	9:58:52	3	0	484.5	-33.2
5	8000	4.12.2014	9:58:52	4	0	454.8	-23.0
6	8000	4.12.2014	9:58:52	5	0	395.0	-17.9
7	8000	4.12.2014	9:58:52	6	0	341.0	-12.3
8	8000	4.12.2014	9:58:52	7	0	447.3	-17.8
9	8000	4.12.2014	9:58:52	8	0	426.8	-14.8
10	8000	4.12.2014	9:58:52	9	0	465.1	-21.5
11	8000	4.12.2014	9:58:53	10	0	747.2	-54.4
12	8000	4.12.2014	9:58:53	11	1	1355.5	-155.6
13	8000	4.12.2014	9:58:53	12	0	983.4	-113.6
14	8000	4.12.2014	9:58:53	13	0	295.7	-2.7
15	8000	4.12.2014	9:58:53	14	0	229.2	0.2
16	8000	4.12.2014	9:58:53	15	0	211.7	1.0
17	8000	4.12.2014	9:58:53	16	0	263.1	-0.5
18	8000	4.12.2014	9:58:54	17	0	300.2	-1.4
19	8000	4.12.2014	9:58:54	18	1	2288.3	-246.5
20	8000	4.12.2014	9:58:54	19	1	2296.3	-235.2

6.1 NASTAVENÍ PŘÍSTROJE

Pro monitorování zemní přehradní hráze vodního díla Karolinka je využíván přístroj Z-metr III s adapterem pro třísvorkové zapojení měřících snímačů, jejichž počet na sondě je 20. Nastavení přístroje je uvedeno v Tab. 7.3. Přístroj komunikuje v anglickém jazyce, proto je Tab. 7.3. ponechána v angličtině.

Tab. 6.3 Nastavení Z-metru III při měření

<i>Mode</i>	single probe
<i>Channels</i>	20
<i>Start frequency</i>	8000 Hz
<i>End frequency</i>	8000 Hz
<i>Step f.</i>	0 Hz
<i>Settling</i>	100 ms
<i>Delay</i>	10 ms
<i>Count</i>	5
<i>Measure</i>	VL_1; VL_2;
<i>File name - text</i>	VL_3; VL_4

7 VODNÍ DÍLO KAROLINKA

Vodní nádrž Karolinka je situována v ř.km 0,7 vodního toku Stanovnice [13]. Jejím hlavním účelem je zásobování oblasti Vsetínska a Vlárská pitnou vodou. Dále zajišťuje minimální průtok pod hrází, slouží k částečné ochraně před povodněmi a v současnosti má také energetické využití [23]. Objem nádrže činí 7,65 mil. m³, průměrné množství dodávky surové vody je 0,25 m³·s⁻¹, pod nádrží je zajištěn minimální průtok 0,03 m³·s⁻¹. Hráz délky 391,5 m v koruně převyšuje okolní terén o 35,5 m.

Z důvodu vodárenského využití byla v okolí nádrže vyhlášena pásma hygienické ochrany. Provozovatelem přehrady je společnost Povodí Moravy, s.p. a vykonavatelem technickobezpečnostního dozoru je firma VD TBD, a.s. [6].

7.1 CHARAKTERISTIKA HRÁZE VODNÍHO DÍLA KAROLINKA

Jedná se o nehomogenní zeminí hráz sypanou z místních štěrkových materiálů se středním hlinitým těsněním [6]. Těsnění je napojeno na betonovou injekční štolu procházející osou hráze. Pod tělesem hráze byla provedena těsnicí clona. Sklon návodního svahu je 1:3,25, sklon vzdušního svahu je 1:2,5 [6]. Na vzdušním líci hráze byly vytvořeny dvě bermy na kótách 500,23 m n. m. a 512,12 m n.m. Kóta koruny hráze je 522,70 m n.m [6]. Na koruně hráze byla vybudována vozovka. Koruna je na návodní straně opatřena betonovou zídou plnicí funkci vlnolamu. Návodní svah hráze pokrývá hrubý štěrk částečně prolitý asfaltem, vzdušný svah je zatravněn.



Obr.7.1 Návodní a vzdušný svah zeminí hráze VD Karolinka

Součástí vodního díla je sružený kruhový objekt věžového typu, který spojuje výpustné a odběrné zařízení [23]. Samotné vypouštění zajišťují dvě spodní výpusti průměru 0,8 m a délky 208 m vedoucí do strojovny regulačních uzávěrů na vzdušní straně hráze. Věž

zprostředkovává odběry vody ve třech výškových úrovních. Odběrné potrubí má v hrázi profil 0,8 m. V blízkosti věže se nachází bezpečnostní objekt. Jedná se o šachtový přeliv kruhového průřezu.

7.1 BUDOVÁNÍ HRÁZE VODNÍHO DÍLA KAROLINKA

Stavba vodního díla byla roku 1976 povolena Krajským národním výborem v Ostravě a stavební práce byly zahájeny v červnu roku 1977 [23]. Stavba byla zahájena roku 1985. Materiál byl uložen v jednotlivých zónách tak, že úzké těsnicí jádro je z obou stran obklopeno šterky z údolí řeky Stanovnice [6]. Velká část zemin byla těžena pod úrovní hladiny podzemní vody, musela proto být před výstavbou uložena na dočasné skládky, aby bylo dosaženo její přijatelné vlhkosti [16]. Materiál jádra tvoří svahové hlíny těžené u nedaleké obce Huslenky [6]. Lícové zóny tvoří propustné šterky z Nového Hrozenkova. Návodní svah byl opevněn makadamem prolévaným živicí. Základová spára hráze je odvodněna oboustranným plošným drénem tl. 0,6 m. V pravobřežním a levobřežním zavázání je jako filtr částečně použita textilie Netex. Injekční clona hloubky 30 m je jednořadá, patrová, doplněná dvouřadou fortifikací. Clona byla prováděna z injekční chodby, na svazích z terénu.

TBD v době výstavby se zaměřoval zvláště na měření pórových tlaků v těsnicím jádru a zahlinění stabilizační části. Měřily se také deformace hráze a podloží objektů a úroveň hladiny podzemní vody [6].

Dílo bylo uvedeno do provozu v roce 1987. Roku 1995 proběhla instalace malé vodní elektrárny se dvěma turbínami typu META [23].



Obr. 7.2 Pohled na přehradní profil z pravé strany údolí



Obr. 7.3 Pohled k přehradnímu profilu z levé strany údolí

7. 2 TECHNICKÉ PROBLÉMY VODNÍHO DÍLA KAROLINKA

Již při prvním napouštění nádrže se na vzdušném svahu hráze začaly objevovat viditelné průsaky a to v únoru 1986, v době, kdy hladina vody v nádrži byla 2,39 m pod hranou bezpečnostního přelivu [6]. Jedním z faktorů způsobujících tyto průsaky bylo zřejmě nedodržení technologického postupu v průběhu výstavby, cesty průsaků pravděpodobně souvisí se způsobem navážení a hutnění materiálů těsnicího jádra. Horní úroveň těsnicího jádra je 1,3 m pod úrovní koruny hráze, což je o 0,8 m níže, než byla původně projektovaná. Není tedy zajištěno dostatečné převýšení těsnicího jádra nad maximální úroveň hladiny vody v nádrži. Z laboratorních zkoušek realizovaných v rámci geotechnických průzkumů je také zřejmé, že zeminy těsnicího jádra mají různou škálu zrnitostí, což může za nepříznivých podmínek umožnit vznik průsakových cest z návodní strany hráze přes těsnicí jádro. Rovněž byla zjištěna nedostatečná propustnost použitých štěrkopísků z oblasti Nového Hrozenkova tvořících zónu při vzdušném líci hráze. Tato zóna je nasypána z různorodých vrstev, které se odlišují především obsahem prachových částic, které měly být u tohoto materiálu pod 4%, ale ve skutečnosti obsah prachových částic dosahuje až 11%. Obsah prachových částic zásadně ovlivňuje propustnost materiálu. Po nepropustných vrstvách voda vytékala na vzdušní líc hráze, kde vytvářela zmokřená místa. Při vydatných srážkách a vysoké úrovni hladiny vody v nádrži docházelo k sufozi v oblastech se zvýšenou propustností a tím k postupnému zvyšování průsaku. Zjištěné poznatky svědčily o ohrožení jak filtrační stability, tak stability svahu [6].

Z těchto důvodů byl provoz vodního díla již od prvního napouštění omezen a nádrž nebyla až do roku 2013, kdy proběhla rekonstrukce, nikdy plně napuštěna. Nejvyšší poloha hladiny vody byla roku 1997 a to 370 mm nad hranou bezpečnostního přelivu a 840 mm pod maximální hladinou vody v nádrži. Od roku 1998 bylo vodní dílo provozuschopné pro maximální hladinu 1,5 m pod hranou bezpečnostního přelivu. Nebylo tedy možné plně využívat zásobní prostor pro odběry vody a pro ochranu před povodněmi.

7.3 MONITOROVÁNÍ VODNÍHO DÍLA KAROLINKA

V červenci 1987 bylo provedeno 5 svislých drenážních vrtů na horní bermě, které slouží k měření hladiny vody v násypu hráze, o rok později drenážní vrty délky 85 m až 105 m se sklonem 10° až 15° na levém a pravém břehu [6]. Tyto vrty měly odvádět případné průsakové vody od levého a pravého závazání. Mezi roky 1990 a 2003 byla na vzdušném svahu hráze postupně prováděna drenážní pera přerušující nepropustné vrstvy. Průsaková voda byla svedena do drenážních per. Každé provedení drenážních per způsobilo změnu průsakového režimu ve vzdušní stabilizační části. Část nezachycených vod stékala vybudovanými drenážními pery a po nepropustných vrstvách níže opět vytékala na vzdušní líc. Na horní bermě bylo vybudováno celkem 11 drenážních per, z nichž celkový průměrný výtok činil 0,13 l·s⁻¹. Celkový průměrný výtok z 15 drenážních per na levé části dolní bermy byl 0,61 l·s⁻¹ a z 11 per na pravé části dolní bermy 1,47 l·s⁻¹. Bylo zjištěno, že průsaky jsou značně závislé na srážkách a poloze hladiny vody v nádrži a teplota vody poukazovala na prosáklou vodu z horní části nádrže.



Obr. 7.4 Měření průsaků [6]

V květnu 2004 bylo v rámci geotechnického průzkumu v koruně hráze provedeno 8 vrtů a do každého osazen snímač pórových tlaků, napojený do automatického sběru dat [6]. Také byla provedena statická penetrace v pěti sondách do hloubky 16 m. V březnu 2011 byly do hráze instalovány 4 tyčové sondy pro metodu EIS [6]. Roku 2012 realizovala společnost GEOTest a. s. v rámci výzkumného projektu CREA Hydro&Energy 4 vrty hloubky 20 m z koruny hráze do vzdušní části těsnicího jádra [6], které byly osazeny snímači pórových

tlaků. Současně byly prováděny testy penetrace Marchettiho dilatometrem z koruny hráze do zemin těsnicího jádra.

7.4 MONITOROVÁNÍ VODNÍHO DÍLA KAROLINKA METODOU EIS

V březnu 2011 byly na vzdušnou stranu do těsnicího jádra hráze z její koruny osazeny čtyři tyčové sondy, každá do hloubky 13,0 m [6]. K instalaci byla použita souprava statické penetrace. Upravenými penetračními tyčemi byly do hráze vytvořeny vertikální otvory, do nichž byly následně instalovány sondy pro měření metodou EIS. Vodivá část sondy je realizována z nerezové trubky o průměru 0,025 m a délce 0,050 m, nevodivou část tvoří v nepravidelných délkách (od 0,050 m do 1,000 m) polyamidová trubka stejného vnějšího průměru [16] (Obr 7.5).



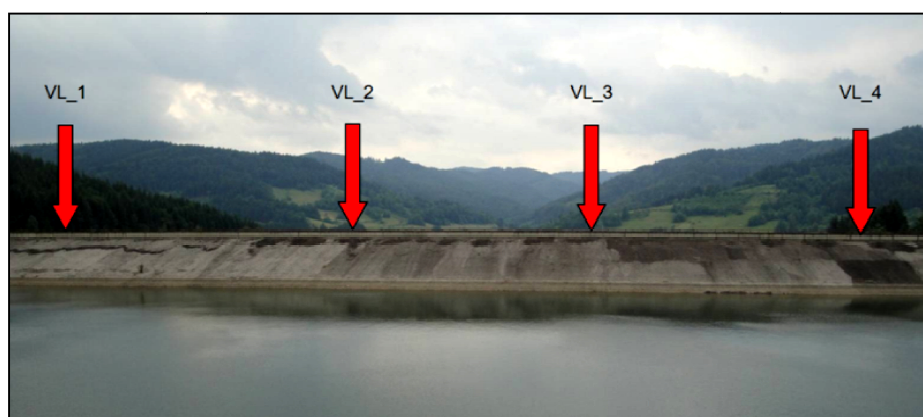
Obr. 7.5 Pozice snímačů na dělené tyčové sondě s uvedením délky elektrod [16]

Poloha sond, délka měřících elektrod a poloha snímačů na sondě vychází z polohy pozorovaných výronů vody na vzdušném líci hráze, znalosti charakteristik použitých materiálů a technické dokumentace stavby hráze [6]. Pro měření je využito třísvorkové zapojení snímačů na sondě vyžadující aplikaci adaptéru. Instalace (Obr. 7.6) a provedení navazujících prací byla realizována firmou GEOtest, a. s. a Vysokým učením technickým v Brně, Fakultou stavební [16].

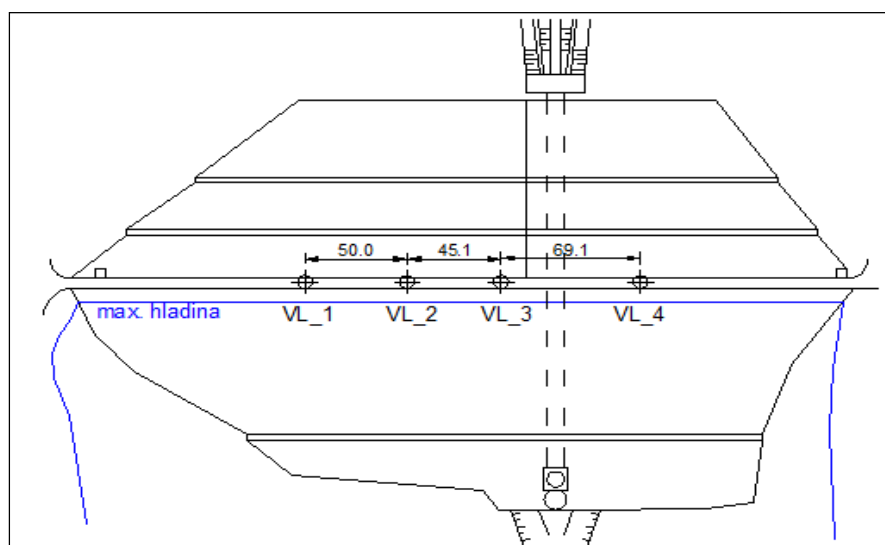


Obr. 7.6 Instalace sond [16]

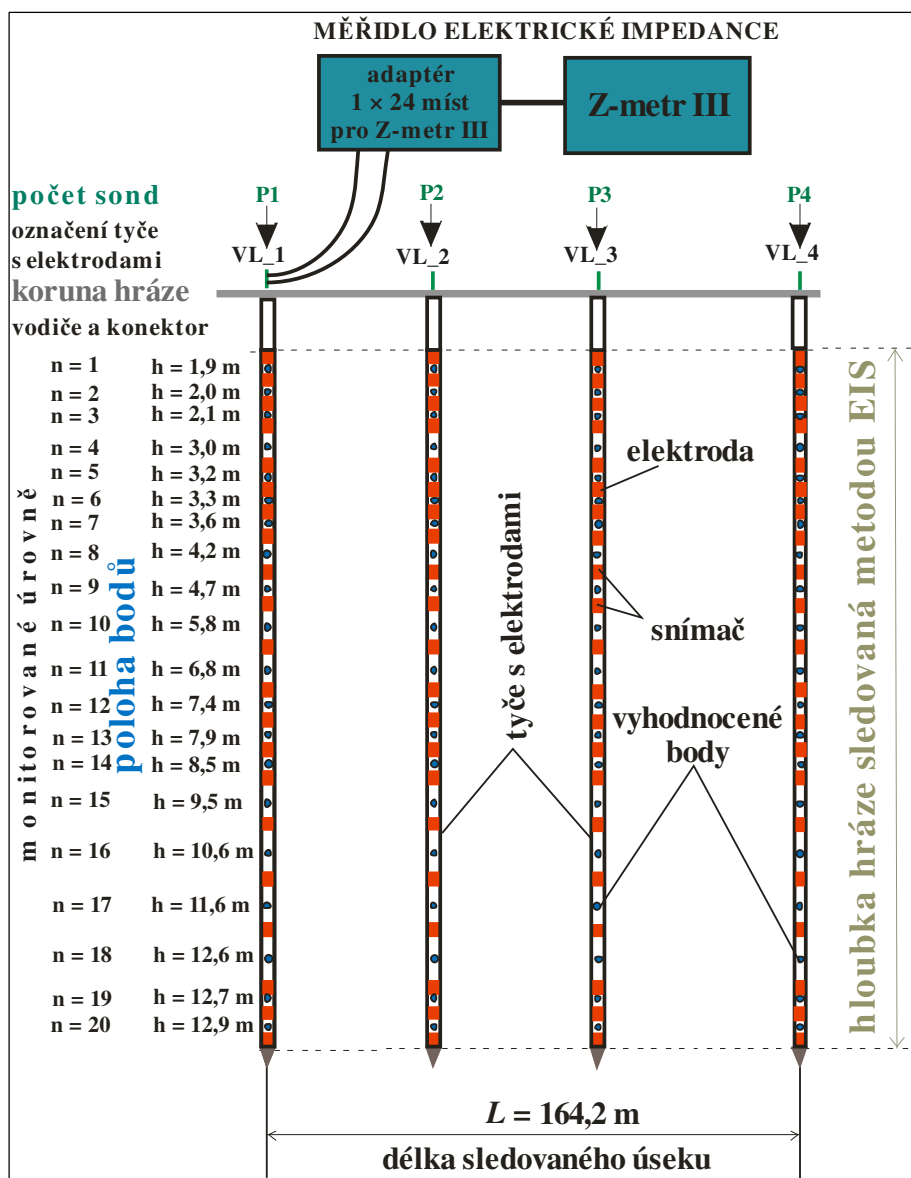
Na Obr. 7.7 a Obr. 7.8 je znázorněna situace umístění tyčových sond v tělese hráze a na Obr. 7.9 je schéma monitorování zájmové oblasti hráze metodou EIS.



Obr. 7.7 Umístění tyčových sond metody EIS v tělese hráze, pohled



Obr. 7.8 Umístění tyčových sond metody EIS v tělese hráze, půdorys



Obr. 7.9 Schéma monitorování hráze metodou EIS

S ohledem na charakteristiky zeminy je sledování realizováno při frekvenci $f = 8000$ Hz s dobou přepínání mezi měřeními $t = 0,100$ s. Počet opakování na jednu snímači $n = 10$. Měření je prováděno jedenkrát měsíčně přístrojem Z-metr III (Obr. 8.6), případně je doplněno měřením při mimořádných situacích (velká intenzita srážek, nárůst nebo pokles vody v nádrži, mráz, apod.) [6].



Obr. 7.10 Příklad přístroje Z-metr III s adaptérem pro třísvorkové zapojení [16]

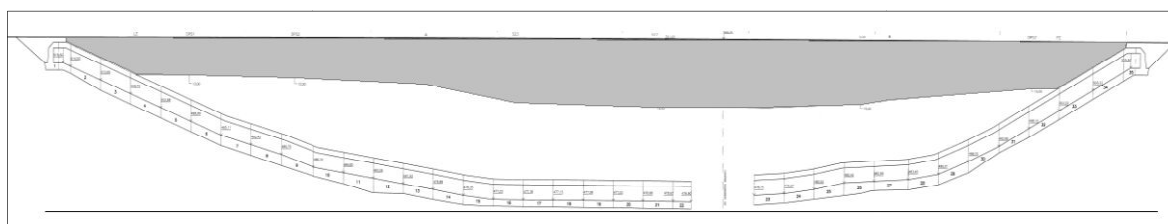
Z provedených průzkumů bylo zřejmé, že situaci vodního díla Karolinka je třeba řešit. Zejména bylo nutné zajistit požadovanou funkci těsnicího jádra [6]. K realizaci navržených opatření přistoupilo Povodí Moravy v období od listopadu 2012 do srpna 2013 [7].

7.5 REKONSTRUKCE VODNÍHO DÍLA KAROLINKA

Rekonstrukce vodního díla Karolinka probíhala v letech 2012 a 2013 [6]. Spočívala především v realizaci podzemní těsnicí clony z koruny hráze, dále pak ve zvětšení kapacity odpadní štoly od šachtového přelivu, odstranění propustku pod hrází a v doplnění monitoringu TBD. Během rekonstrukce byla voda v nádrži snížena o 8,5 m proti původnímu stavu.

7.5.1 REALIZACE TĚSNIČÍ CLONY

Těsnicí clona byla vybudována jako kovaná podzemní těsnicí stěna v horní části těsnicího jádra hráze (Obr. 7.12) [6]. Její rozsah byl určen na základě provedených geotechnických průzkumů s ohledem na měření průsaků při různých stavech hladiny vody v nádrži. Těsnicí clona byla navržena po celé délce hráze, její délka je 353,50 m, šířka 0,60 m a hloubka je proměnlivá, od 10,50 m po 19,30 m. Celková plocha těsnicí clony je 4777,0 m². Materiálem pro vytvoření těsnicí clony byla cemento-bentonitová samotvrdnoucí suspenze. Umístění těsnicí clony v tělese hráze je znázorněno na Obr. 7.11. Fotodokumentace budování těsnicí clony je v příloze 2.



Obr. 7.11 Umístění těsnicí clony v tělese hráze [21]



Obr. 7.12 Provádění těsnicí clony pomocí tryskové injektáže (20.6.2013)

Dne 2.5.2013 bylo nutno konstatovat, že při odfrézování povrchu koruny hráze došlo ke zničení sondy VL_1 (Obr. 7.13) [14].



Obr. 7.13 Zničená sonda VL_1

Na základě jednání se zástupci zúčastněných stran bylo dohodnuto řešit vzniklou situaci výrobou a instalací nové sondy stejné konstrukce a uspořádání měřících snímačů (Obr. 7.5).

Nová měřicí sonda byla rovněž vyrobena na pracovišti LVV ÚVST a instalována dne 18.9.2013 (Obr. 8.12) společností GEOtest, a.s. ve vzdálenosti cca 1,0 m od polohy původní sondy směrem do středu hráze. Při instalaci bylo zřejmé, že v hloubce 9 m byla v zemině voda.



Obr. 7.14 Instalace nové sondy VL_1

8 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Měření jsou vyhodnocena a porovnána na základě naměřené reálné složky elektrické impedance, tj. resistance zeminy R . Tato veličina není sice vztažena k vzdálenosti elektrod na tyčové sondě, ale vzhledem k tomu, že se tato vzdálenost nemění, nemá to na porovnávání výsledků vliv. Jednotlivé měsíce ve sledovaném úseku hráze jsou porovnávány na základě elektrické vodivosti G , která je inverzní hodnotou resistance R

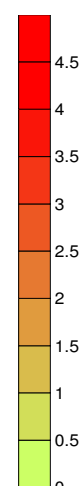
$$G = \frac{1}{R} [\text{S}]. \quad (8.1)$$

Jednotkou elektrické vodivosti je Siemens. Uvedená veličina byla zvolena s ohledem na její návaznost na stupeň nasycení. Je možné konstatovat, že čím vyšší bude hodnota elektrické vodivosti G , tím vyšší bude obsah vody v zemině, tedy stupeň nasycení S_r . Uvedené tvrzení však platí pouze za předpokladu konstantních vnějších působících podmínek. Kalibrace provedena nebyla, neboť v době odběru vzorků zeminy hráze nebyla aparatura EIS dostupná. Ve všech měsících, v nichž byla provedena měření, probíhá porovnání mezi daty naměřenými v roce 2012 a 2014, v prvních měsících jsou uvedena také data z roku 2015. Během roku 2013 probíhala rekonstrukce vodního díla (instalace těsnicí stěny) a bylo konstatováno, že data nemají požadovanou vypovídací hodnotu, a proto nejsou do hodnocení zahrnuta. V průběhu rekonstrukce došlo k poškození sondy VL_1, musela proto být osazena nová o 1 m blíž VL_2. Hodnoty naměřené sondou VL_1 v roce 2014 mohou být uvedenou skutečností poznamenané. Schéma měření a umístění sond v hrázi, poloha měřicích bodů a jejich hloubka jsou patrné z obr. 7.7, 7.8 a 7.9.

8. 1 VÝSLEDKY NEMĚŘENÉ ELEKTRICKÉ VODIVOSTI V PROGRAMU SURFER 8

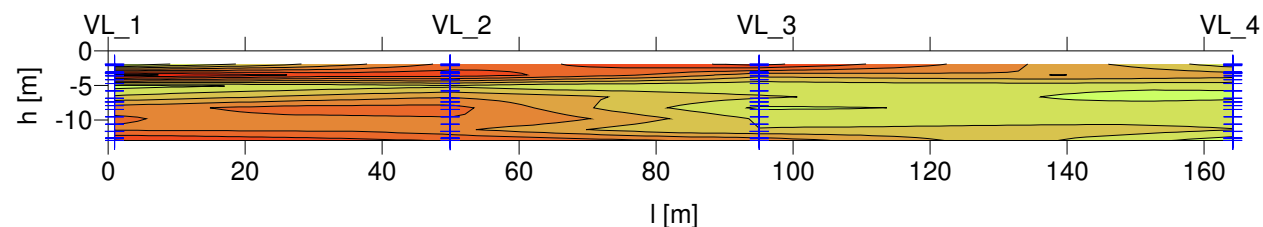
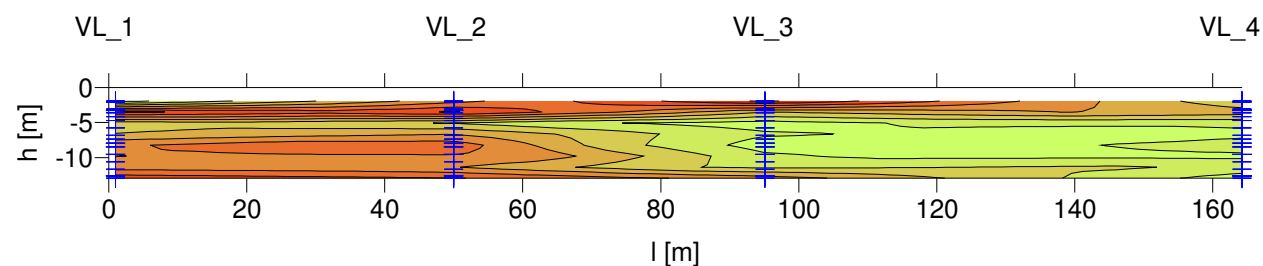
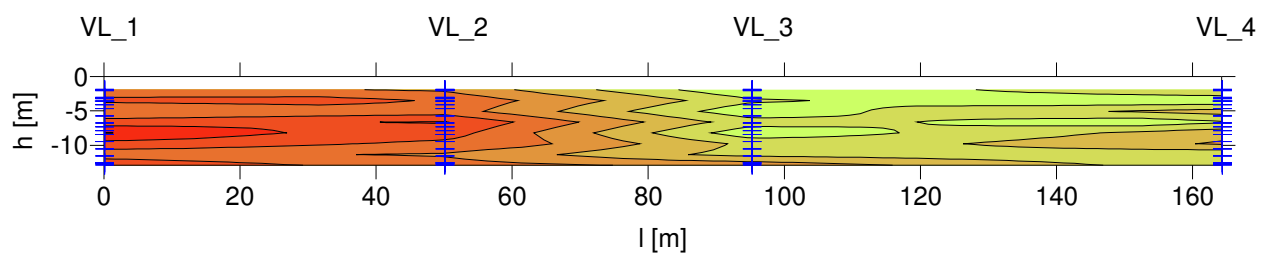
Mapy elektrické vodivosti byly vytvořeny v programu Surfer 8, jejich posloupnost vychází z tabelárního zpracování příslušného měsíce měření. Zobrazená barevná škála z důvodu srovnatelnosti obdržných výsledků měření platí pro všechny posuzované měsíce. Pro každé měření je tabelárně uvedeno datum, teplota vzduchu a vody v nádrži a případné srážky.

G [mS]



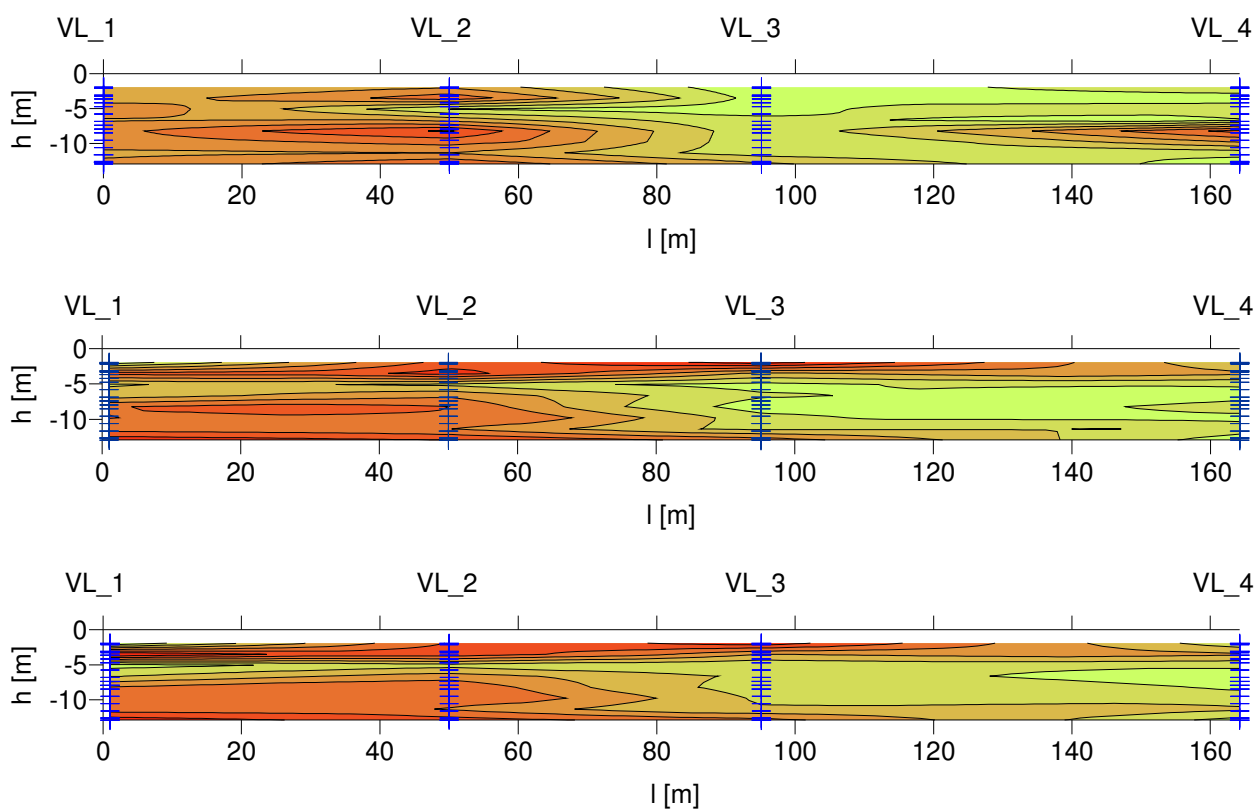
Leden 2012, 2014 a 2015

datum měření		3.1.2012	2.1.2014	23.1.2015
hladina v nádrži	[m n. m.]	514.03	511.6	519.12
teplota vzduchu	[°C]	-0.8	2.5	3.0
teplota vody	[°C]	3.0	2.5	2.9
srážky	[mm]	60	0.0	0.5
poznámka		sníh	sníh	sníh



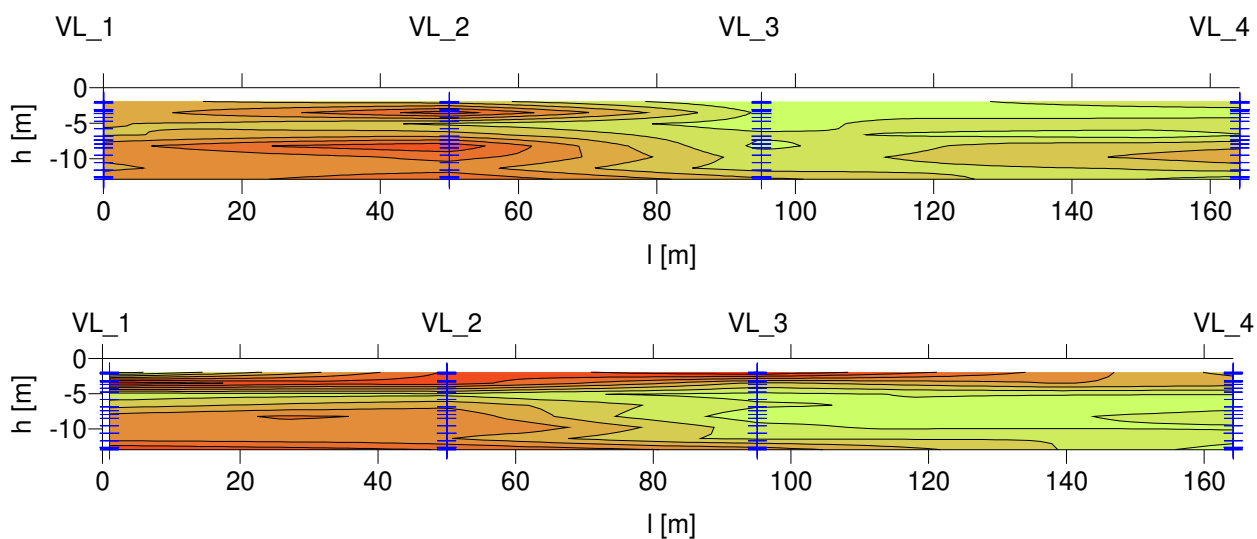
Březen 2012, 2014 a 2015

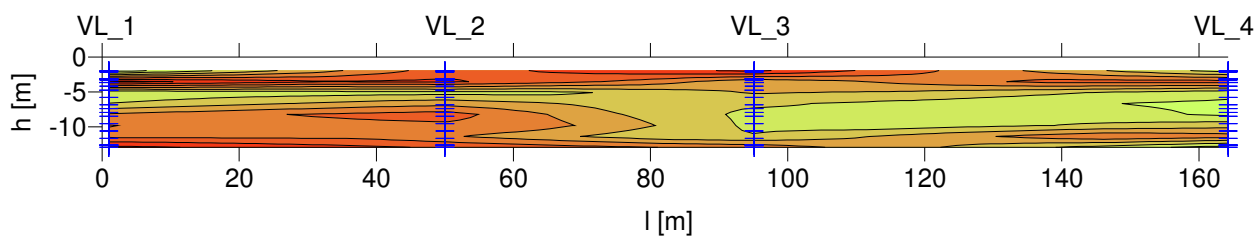
datum měření		19.3.2012	14.3.2014	26.3.2015
hladina v nádrži	[m n. m.]	514.1	514.3	519.16
teplota vzduchu	[°C]	0.1	-0.6	7.3
teplota vody	[°C]	1.3	4.8	4.1
srážky	[mm]	150	0.0	1.1
poznámka		sníh+led	sníh	-



Duben 2012, 2014 a 2015

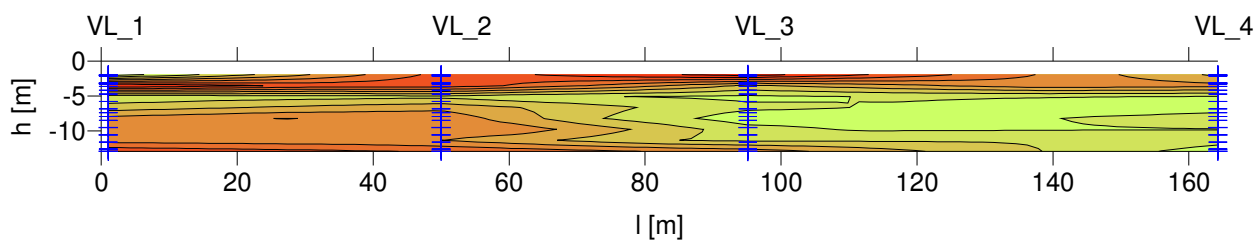
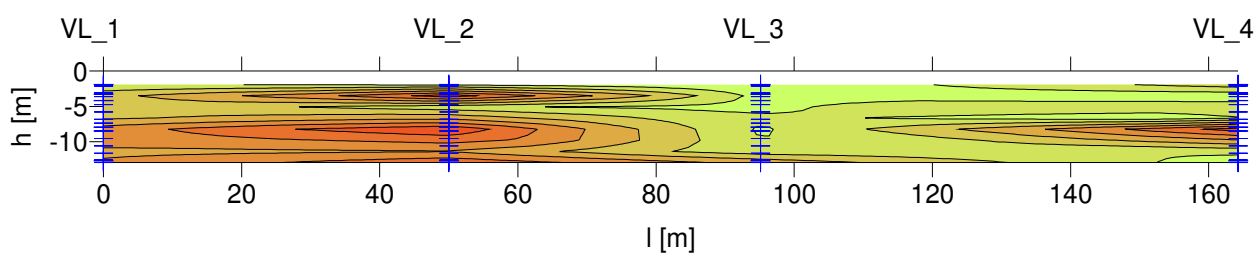
datum měření		18.4.2012	24.4.2014	23.4.2015
hladina v nádrži	[m n. m.]	515.08	515.24	519.01
teplota vzduchu	[°C]	-4.7	7.1	0.0
teplota vody	[°C]	6.7	10.6	7.4
srážky	[mm]	0.0	0.2	0.0
poznámka		-	sníh	-





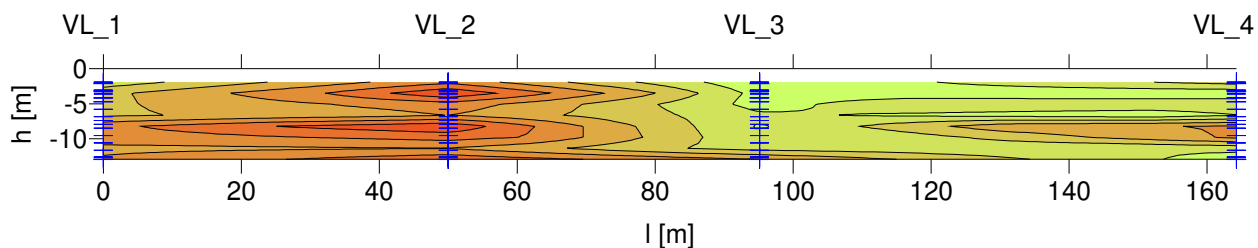
Květen 2012 a 2014

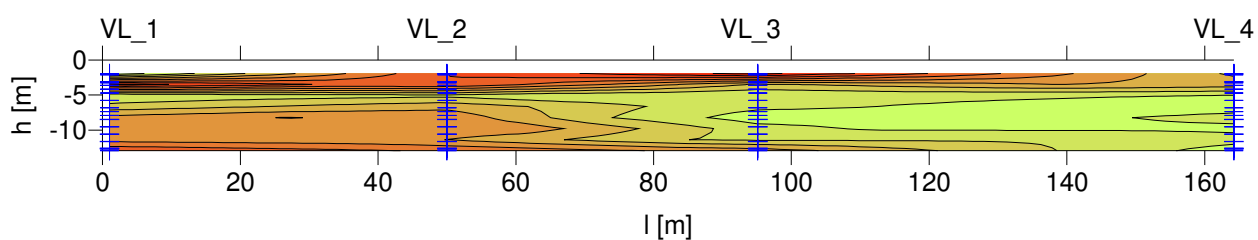
datum měření		19.5.2012	20.5.2014
hladina v nádrži	[m n.m.]	515.05	516.16
teplota vzduchu	[°C]	5.7	10.8
teplota vody	[°C]	12.3	13.2
srážky	[mm]	0.0	0.1



Červen 2012 a 2014

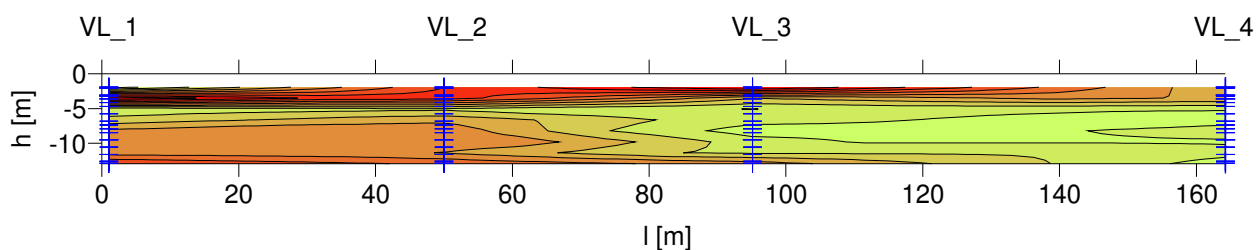
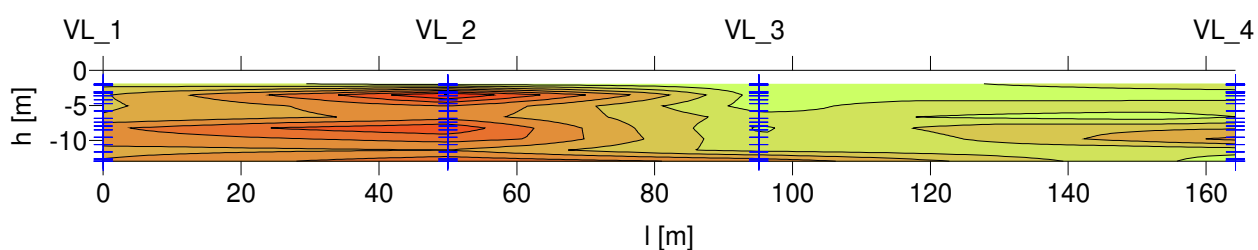
datum měření		12.6.2012	11.6.2014
hladina v nádrži	[m n.m.]	514.82	516.01
teplota vzduchu	[°C]	8.7	17.5
teplota vody	[°C]	16.5	21.2
srážky	[mm]	0.0	0.0





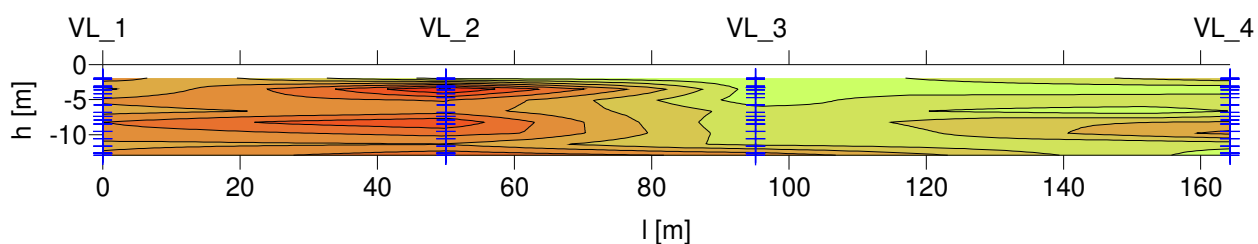
Červenec 2012 a 2014

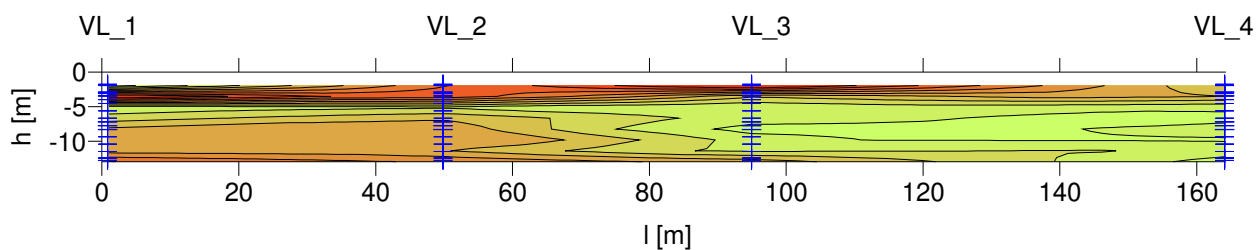
datum měření		24.7.2012	23.7.2014
hladina v nádrži	[m n.m.]	514.19	517.31
teplota vzduchu	[°C]	9.3	16
teplota vody	[°C]	21.7	20.3
srážky	[mm]	0.0	25



Srpen 2012 a 2014

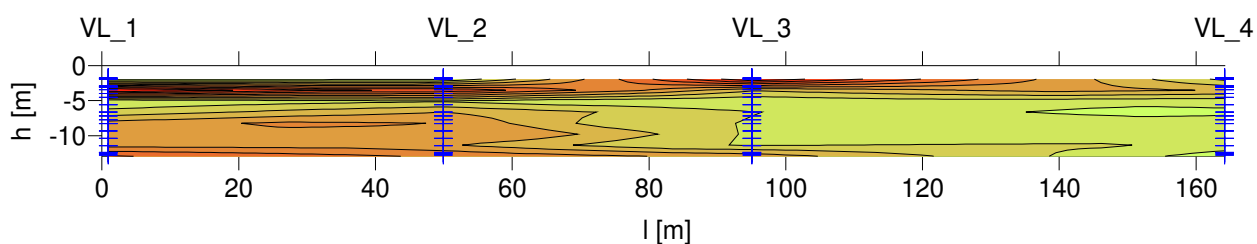
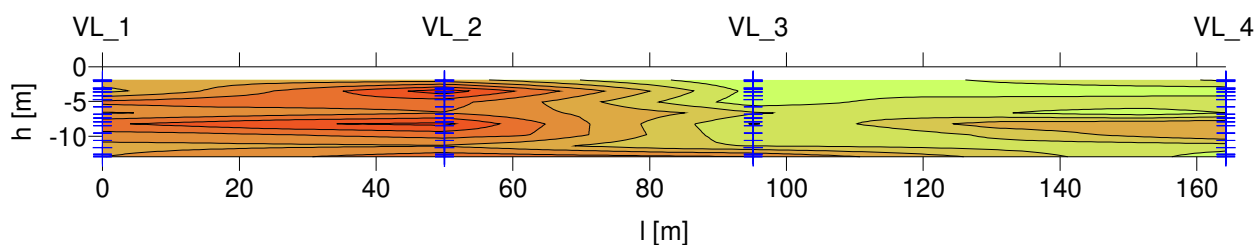
datum měření		15.8.2012	12.8.2014
hladina v nádrži	[m n.m.]	513.59	518.47
teplota vzduchu	[°C]	4.6	22.1
teplota vody	[°C]	21.4	15
srážky	[mm]	0.0	40





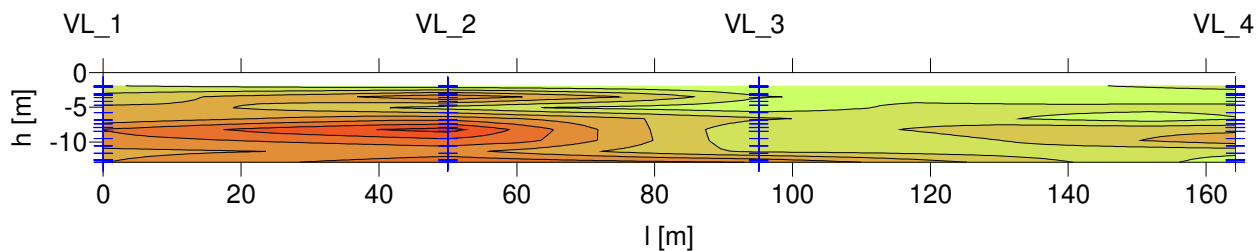
Říjen 2012 a 2014

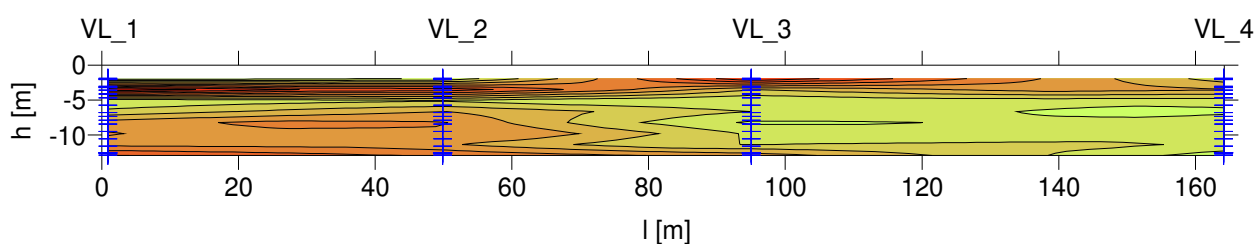
datum měření		17.10.2012	13.10.2014
hladina v nádrži	[m n.m.]	512.22	519.76
teplota vzduchu	[°C]	3.3	12.0
teplota vody	[°C]	15.0	15.4
srážky	[mm]	13.8	0.0



Listopad 2012 a 2014

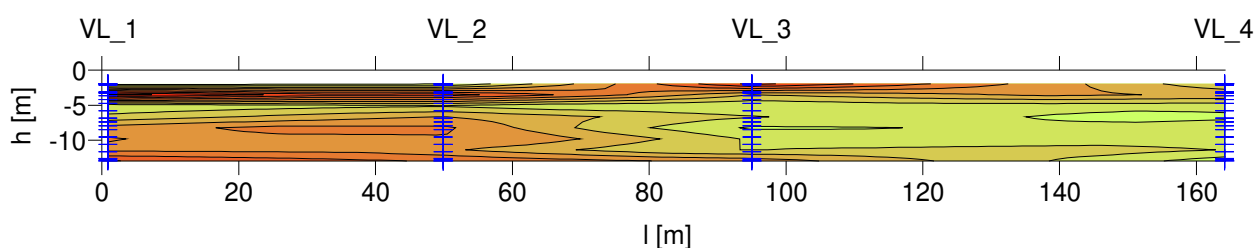
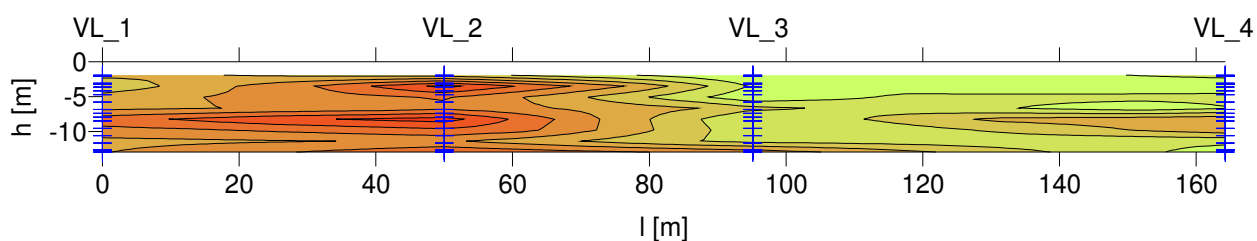
datum měření		22.11.2012	13.11.2014
hladina v nádrži	[m n.m.]	514.17	519.77
teplota vzduchu	[°C]	5.1	7.0
teplota vody	[°C]	8.2	11.3
srážky	[mm]	0.3	0.0





Prosinec 2012 a 2014

datum měření		20.12.2012	4.12.2014
hladina v nádrži	[m n.m.]	514.25	519.63
teplota vzduchu	[°C]	-4.5	1.5
teplota vody	[°C]	5.1	8.4
srážky	[mm]	0.8	0.0
poznámka		-	2 cm sněhu



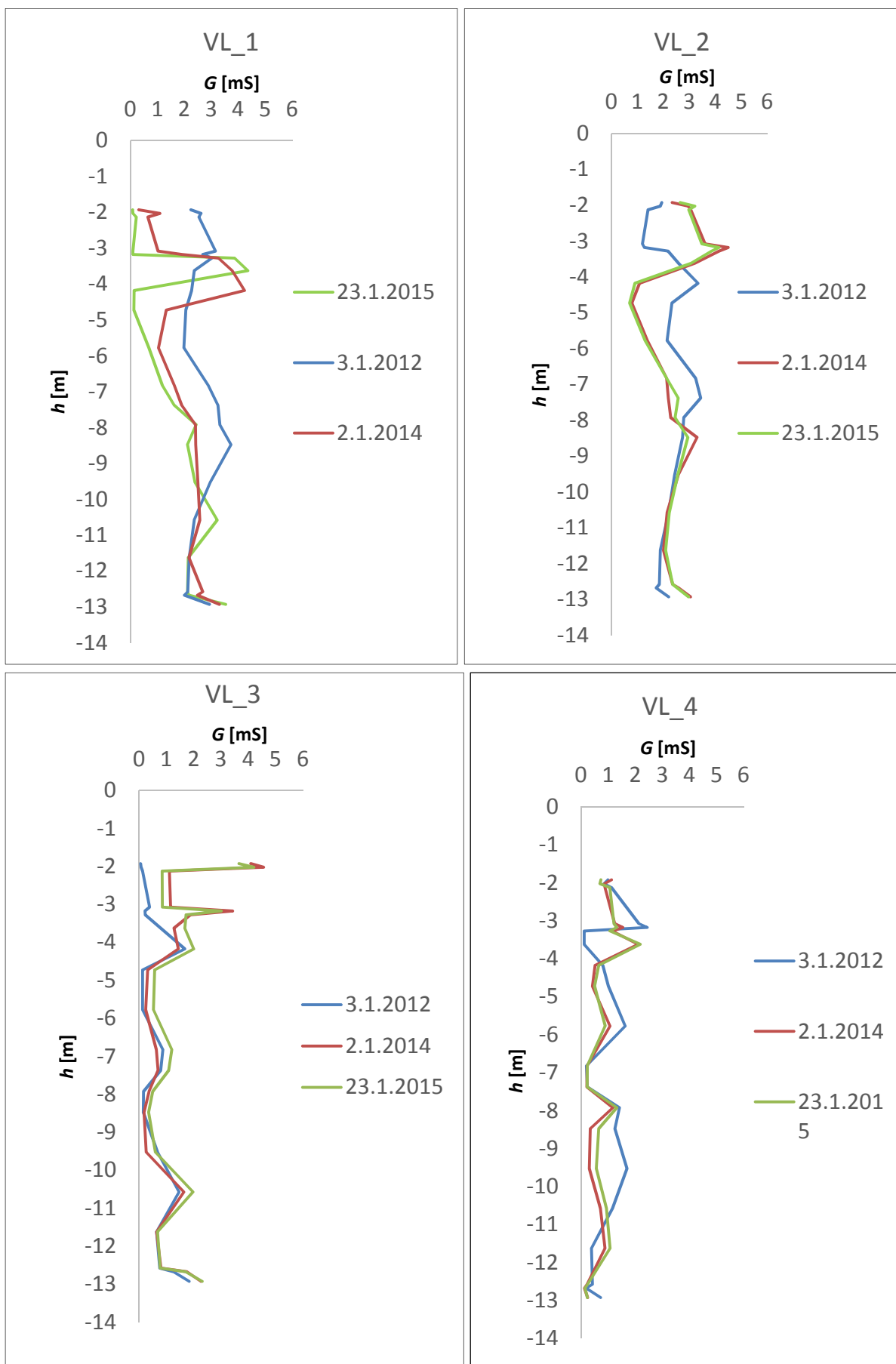
Mapy ukazují rozložení elektrické vodivosti G zeminy ve zkoumané oblasti tělesa hráze, resp. upozorňují na místa, kde zvýšená hodnota G může znamenat i vyšší stupeň nasycení zeminy vodou.

Z map elektrické vodivosti zpracovaných pro srovnávané měsíce roku 2012, 2014 a část roku 2015 je zřejmé, že v prostoru sond VL_1 a VL_2 přibližně v hloubce 8 m až 9 m pod korunou hráze zůstává oblast vyššího stupně nasycení zeminy vodou, avšak v roce 2014 je oblast soustředěna na výrazně menší ploše než v roce 2012. Dále lze pozorovat, že velikost uvedené plochy se v průběhu roku mění, a to pravděpodobně v důsledku změn úrovně hladiny vody v nádrži. Zde by bylo vhodné hledat i souvislost s průsaky vody tělesem hráze. Celkově, z pohledu všech měřených a hodnocených měsíců uvedených roků, lze na základě barevné škály hodnot elektrické vodivosti v prostoru mezi sondami VL_1 až VL_3 mezi hloubkami 5 m a 10 m pod korunou hráze konstatovat snížení hodnot elektrické vodivosti, a tím i stupně nasycení zeminy vodou. Pro uvedenou hloubku lze obdobný závěr učinit i v případě sondy

VL_4. Pro všechny sledované měsíce v letech 2014 a 2015 je však také společně výrazné zvýšení hodnot elektrické vodivosti resp. stupně saturace zeminy vodou v oblasti do cca 3 m pod korunou hráze. Opět na základě barevné škály elektrické vodivosti lze nejnižší stupeň saturace zeminy vodou v uvedené hloubce pozorovat v místě sondy VL_4. Vzhledem k tomu, že se barva ani její intenzita výrazně nemění v průběhu roku, je možno vyvodit závěr, že se na uvedené změně nepodílí změna úrovně hladiny vody v nádrži ani povětrnostní vlivy. Uvedená anomálie je nejvýraznější u sond VL_2 a VL_3, přičemž např. u sondy VL_3 byly v roce 2012 zjištěny hodnoty elektrické vodivosti v rozsahu 0,0 mS – 0,5 mS, zatímco v letech 2014 a 2015 se pohybují mezi 3,5 mS a 5,0 mS. Veškeré zde uvedené závěry byly vyjádřeny na základě předpokladu, že instalací těsnicí stěny nedošlo ke změně mechanických ani chemických vlastností monitorované zeminy a změny hodnot elektrické vodivosti jsou dominantně důsledkem změny stupně saturace zeminy vodou.

8. 2 PRŮBĚH ELEKTRICKÉ VODIVOSTI MĚŘENÝ SONDAMI EIS

Pro kvantitativní hodnocení účinnosti instalované těsnicí clony metodou EIS je vhodné grafické znázornění průběhu elektrické vodivosti na sondách. I v tomto případě je třeba připomenout předpoklad nezměněných charakteristik zeminy, na jehož základě lze konstatovat, že čím vyšší je hodnota elektrické vodivosti zeminy, tím vyšší je stupeň nasycení zeminy vodou. Na svislé ose níže uvedených grafů je hloubka vyhodnocených bodů (Obr. 7.5) pod korunou hráze, na vodorovné ose je uvedena hodnota měřené elektrické vodivosti G . Porovnávají jsou opět průběhy pro roky 2012 a 2014 doplněné dostupnými daty roku 2015. Zde uvádím grafy pouze pro měsíc leden, grafy pro ostatní měsíce jsou uvedeny v Příloze 3.



Obr. 8.1. Grafy průběhů elektrické vodivosti pro měsíc leden

Uvedené zpracování umožňuje vytvořit si konkrétnější představu o změnách stupně saturace zeminy vodou v jednotlivých úrovních (Příloha 3). Nejpozitivnější změny ve prospěch účinnosti těsnicí stěny (snížení hodnot elektrické vodivosti a tím i stupně saturace zeminy vodou) je možné pozorovat na sondě VL_1 v měsíci lednu (Obr. 9.1). Kromě oblasti v hloubce 3 m a 4 m pod korunou hráze došlo téměř v celém monitorovaném profilu ke snížení hodnot elektrické vodivosti. Data naměřená na této sondě v březnu v 2014 vykazují téměř ve všech úrovních na snížení vlhkosti. V následujících měsících je v úrovni přibližně 2,5 m pod korunou hráze zřejmý výrazný nárůst hodnot elektrické vodivosti tedy stupně nasycení zeminy vodou, následně je však přibližně v hloubce 3,5 m zřejmý jejich prudký pokles, a to v průběhu celého roku 2014. Z kvantitativního hlediska je možné konstatovat, že maximální hodnota zjištěné anomálie je proměnná, pravděpodobně i v souvislosti s kolísáním úrovně hladiny vody v nádrži. V hloubce mezi 5 m a 9,5 m jsou hodnoty elektrické vodivosti v roce 2014 ve všech měřených měsících jednoznačně nižší než v roce 2012 tj. před rekonstrukcí. Dále však dochází k jejich pozvolnému nárůstu s nevýrazným maximem v hloubce 10,5 m, poklesu a opět nárůstu v poslední hloubce 13 m měřené metodou EIS. Uvedený průběh se postupně vyvíjel a stabilizoval již od dubna roku 2014. Je však nutno opět připomenout, že pozice sondy VL_1 byla změněna v důsledku zničení původní sondy při rekonstrukci. Výsledný průběh proto není možné jednoznačně vztáhnout k jiným měřeným a méně dostupným parametrům. Zde bych doporučovala zaměřit se na průběh monitorovaných průsaků.

V místě sondy VL_2 vykazuje zemina mírný nárůst hodnot elektrické vodivosti do hloubky cca 3 m. Největší nárůst hodnot G vzhledem k roku 2012 byl v roce 2014 zaznamenán v měsících červenec, srpen a říjen, kdy v měsíci srpnu dosahuje maximální hodnoty 5,2 mS. Z kvalitativního hlediska je průběh elektrické vodivosti v roce 2014 vyrovnaný. Lze konstatovat, že od hloubky 4 m pod korunou hráze je elektrická vodivost zeminy hráze oproti roku 2012 nižší až do hloubky 11,5 m. Od této úrovně jsou křivky shodné. Zajímavá je rovněž kvalitativní i kvantitativní shoda průběhu křivek zjištěných sondami VL_1 a VL_2 v dané úrovni v roce 2014.

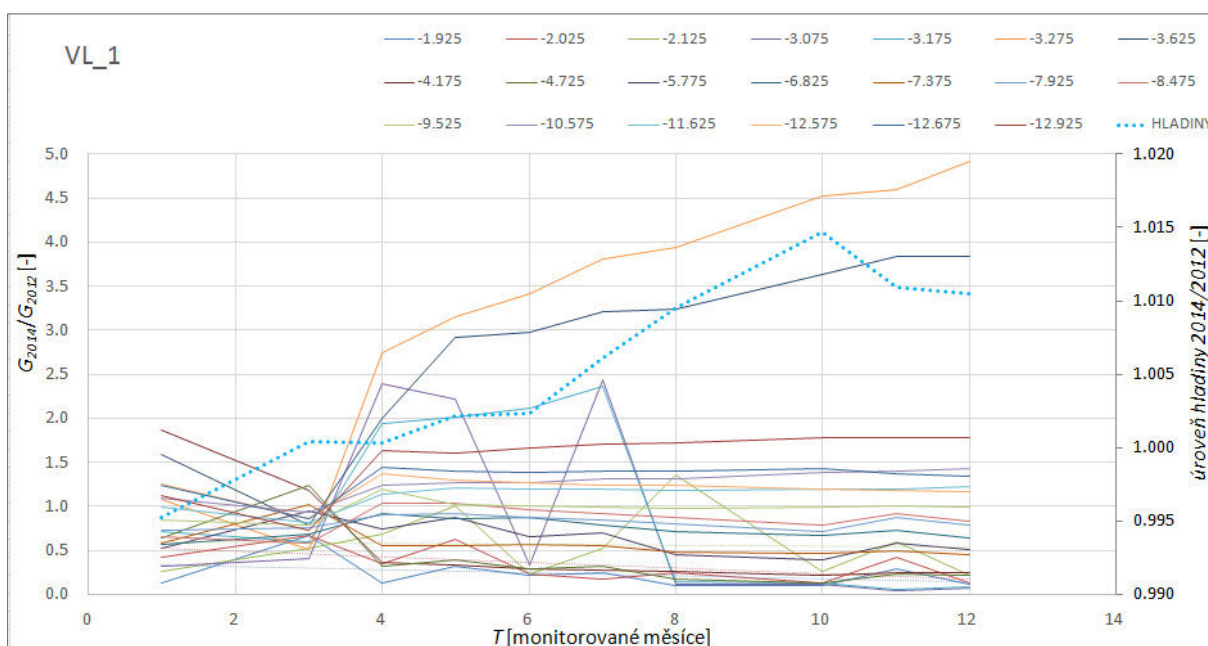
Nejrapidnější nárůst hodnot elektrické vodivosti oproti roku 2012 byl zaznamenán na sondě VL_3, a to přibližně do hloubky 4 m. V hloubce 2 m vzrostly hodnoty elektrické vodivosti zjištěné v roce 2014 oproti roku 2012 z hodnoty 0,06 mS na hodnotu 6 mS. V hloubkách větších než 4 m se průběhy v obou letech kvalitativně shodují. Při kvantitativním posouzení lze pozorovat v roce 2014 mírný nárůst hodnot elektrické vodivosti v hloubce 10,5 m. Obdobný nárůst hodnot G je zřejmý i u sondy VL_1, avšak kvantitativně jsou hodnoty G v místě sondy VL_3 přibližně 1,5× nižší než v místě sondy VL_1.

U sondy VL_4 do hloubky 3 m pod korunou hráze zůstává charakter křivek elektrické vodivosti ve sledovaných obdobích přibližně zachován, což by se dalo považovat za příznivé. V rozmezí 3 m a 4 m hloubky však došlo k jejímu nárůstu a následnému pozvolnému poklesu.

Od hloubky 12 m jsou hodnoty elektrické vodivosti ve všech sledovaných měsících roku 2014 nižší než v roce 2012 a kvalitativně se nemění.

8.3 RELATIVNÍ ZMĚNA ELEKTRICKÉ VODIVOSTI

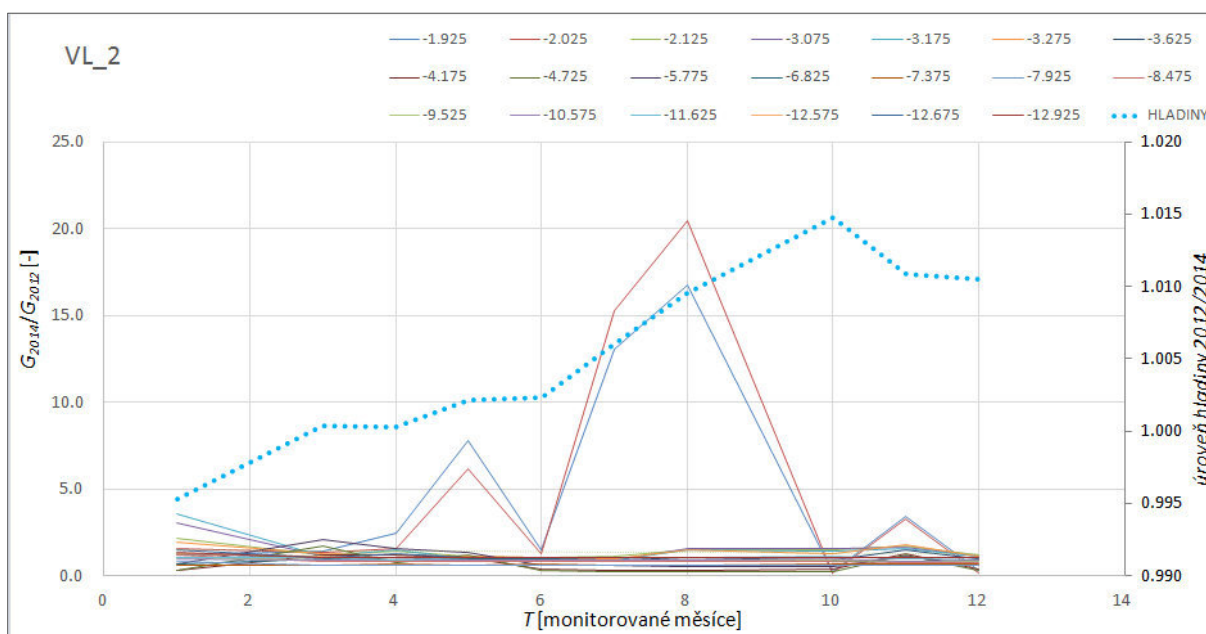
Vzájemnou korelaci naměřených hodnot elektrické vodivosti lze vyjádřit bezrozměrným parametrem G_{2014} / G_{2012} , který umožňuje sledovat trend vývoje elektrické vodivosti resp. stupně nasycení zeminy vodou v měřených úrovních tělesa hráze (Obr. 8.2 až Obr. 8.5). Na vodorovné ose grafů jsou porovnávány měsíce. Na levé svislé ose je poměr naměřených hodnot elektrické vodivosti v roce 2014 ku hodnotám z roku 2012, na pravé svislé ose je vynesena poměr úrovní hladin vody v nádrži h_{2014}/h_{2012} . Pokud platí nerovnost $G_{2014}/G_{2012} < 1$, lze konstatovat, že došlo ke snížení stupně nasycení zeminy vodou tj. zlepšení fyzikálních vlastností zeminy. Nerovnost $G_{2014}/G_{2012} > 1$ naopak značí jejich zhoršení a mluví tedy v neprospěch účinnosti posuzované těsnicí clony. Je-li nerovnost $G_{2014}/G_{2012} = 1$, nebyla ve sledovaném místě zaznamenána změna stupně nasycení zeminy vodou. Z trendu křivek je možné sledovat souvislosti mezi hodnotami elektrické vodivosti zeminy resp. jejím stupněm nasycení a úrovní hladiny vody v nádrži opět za předpokladu nezměněných charakteristik zeminy.



Obr. 8.2 Trend vývoje elektrické vodivosti zeminy hráze v měřených úrovních a hladiny vody v nádrži, sonda VL_1

Hodnocením trendu vývoje elektrické vodivosti zeminy v oblasti sondy VL_1 (Obr. 8.2) lze konstatovat největší odlišnost křivek stanovených v hloubkách 3,275 m a 3,625 m. Od měsíce března bylo vyhodnoceno strmé zvýšení hodnot G_{2014}/G_{2012} . Zvýšení se v hloubkách

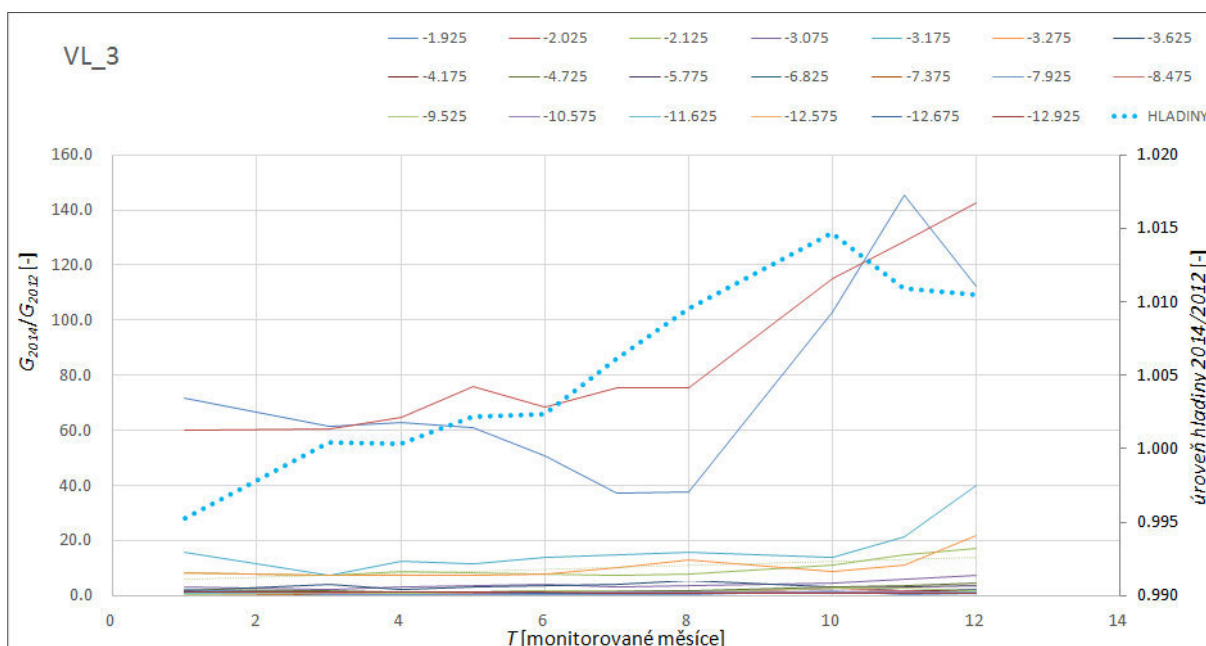
3,275 m a 3,625 m blíží téměř pětinásobku původních hodnot. Od počátku roku 2014 do měsíce října bylo rovněž zahájeno zvyšování úrovně hladiny vody v nádrži, což dokládá křivka relativního vývoje „hladiny“ vyjádřená poměrem h_{2014}/h_{2012} . Uvedené skutečnosti vybízí k závěru, že uvedené procesy spolu souvisejí. V posledních dvou měsících však křivka trendu vývoje hladiny v nádrži poklesla, elektrická vodivost zeminy v hloubce 3,275 m však nadále roste a v hloubce 3,625 m by bylo možné konstatovat, že na uvedenou skutečnost reaguje se zpožděním jednoho měsíce, avšak zde bylo strmé zvýšení G_{2014}/G_{2012} zaznamenáno rovněž až o měsíc později. Zvýšení hodnot G_{2014}/G_{2012} lze pozorovat také v hloubce 3,175 m, a to v období od dubna do července. Ke skokovému nárůstu došlo na sondě v hloubce 3,075 m, a to v měsíci dubnu, květnu a červenci. V ostatních monitorovaných měsících platí $G_{2014}/G_{2012} < 1$, z čehož lze v uvedených hloubkách usuzovat na výrazné snížení stupně nasycení zeminy vodou. Přijetí souvislostí mezi relativními hodnotami elektrické vodivosti zeminy a úrovní hladiny vody v nádrži v rozmezí hloubek 3,075 m až 3,625 m by však mohlo popírat účinnost těsnicí clony. Současně je třeba si položit otázku, proč stejný jev nenastal v monitorovaném rozmezí hloubek 1,925 m až 3,075 m, kde je možno jednoznačně konstatovat klesající trend křivek a $G_{2014}/G_{2012} < 1$. K mírnému zvýšení hodnot elektrické vodivosti došlo také ve spodní části monitorované oblasti hráze v hloubkách 10,575 m, až 12,925 m. Od měsíce dubna je možno konstatovat ustálený charakter křivek se zvýšeným stupněm nasycení zeminy vodou, neboť $G_{2014}/G_{2012} > 1$. V ostatních úrovních měřených sondou VL_1 platí $G_{2014}/G_{2012} < 1$ a křivky vykazují klesající trend, z čehož lze usuzovat na snížení stupně nasycení zeminy vodou. Celkově na sondě VL_1 lze u poloviny sond konstatovat zhoršení stavu (zvýšení stupně nasycení) a u poloviny naopak jeho zlepšení oproti roku 2012. Zdůrazňuji, že uvedené závěry jsou vyvozeny za předpokladu nezměněných charakteristik zeminy a dále, že sonda VL_1 nebyla v roce 2012 a 2014 v důsledku jejího poškození v průběhu rekonstrukce hráze na stejném místě. Výsledky a závěry z nich vyvozené mohou být v důsledku uvedené skutečnosti zkreslené.



Obr. 8.3 Trend vývoje elektrické vodivosti zeminy hráze v měřených úrovních a hladiny vody v nádrži, sonda VL_2

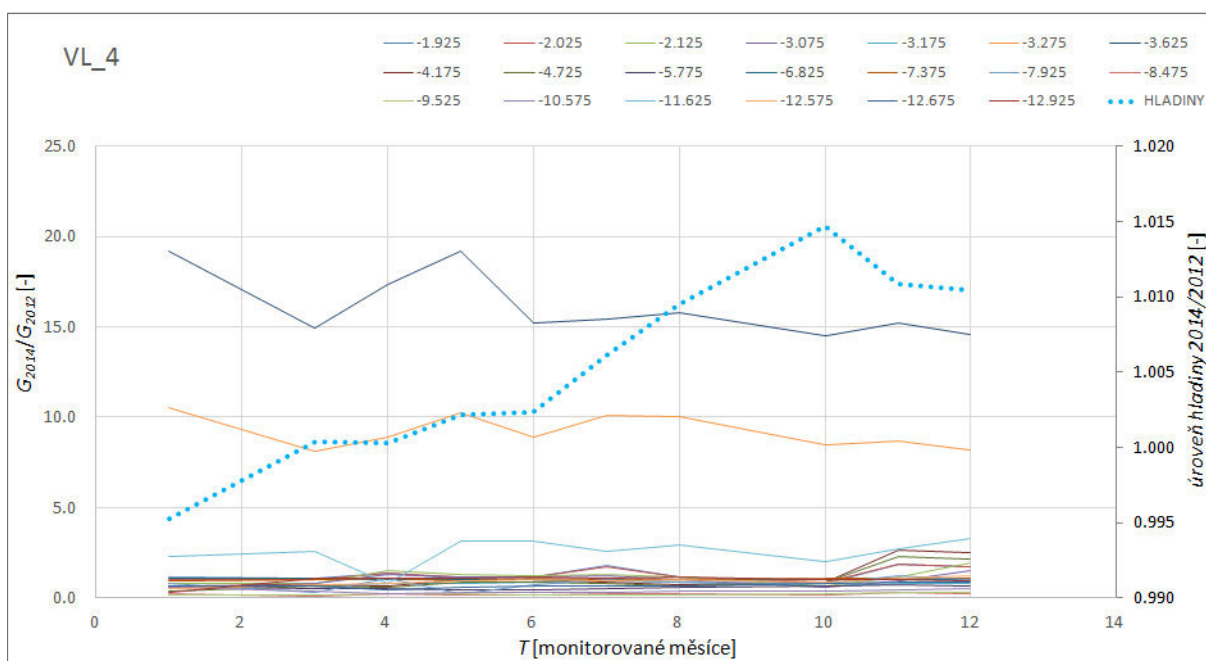
Z průběhů trendu elektrické vodivosti G_{2014}/G_{2012} zjištěných sondou VL_2 (Obr. 8.3) výrazně vybočují úrovně v hloubkách 1,925 m a 2,025 m. Jedná se o křivky, v nichž jsou zjištěné relativní hodnoty elektrické vodivosti kvantitativně nejvyšší z monitorované oblasti tělesa hráze, přičemž maxima nabývají v měsíci srpnu. Naměřené hodnoty G v hloubce 2,075 m v roce 2014 až 20× převyšují hodnoty z roku 2012. V hloubce 1,925 m je tento nárůst přibližně šestnáctinásobný. Vysoké hodnoty v těchto úrovních byly zjištěny také v květnu a červenci. V červnu naopak došlo v obou úrovních k poklesu G_{2014}/G_{2012} , ačkoli úroveň hladiny vody v nádrži zůstala na stejné hodnotě jako v měsíci květnu. Na základě uvedených zjištění je obtížné hledat souvislost mezi relativními změnami elektrické vodivosti zeminy hráze a úrovní hladiny vody v nádrži. Zajímavé je, že v úrovních následujících bezprostředně pod dvěma výše zmíněnými tj. od 2,125 m do 3,625 m je možné v roce 2014 pozorovat zlepšení stavu oproti roku 2012. Relativní hodnoty G a tím i stupeň nasycení zeminy vodou mají sestupnou tendenci, a to zejména od ledna do března. Dále zůstávají přibližně hodnoty z let 2012 a 2014 stejné až do srpna, kdy dochází opět k mírnému zvýšení s maximem v listopadu. Hodnoty naměřené v prosinci 2014 se opět téměř shodují s těmi z roku 2012. Od hloubky 4,175 m do hloubky 5,725 m lze od počátku roku pozorovat zvyšování poměrných hodnot elektrické vodivosti, a to v měsíci březnu, dubnu a květnu. Nejvýraznější je nárůst v březnu v hloubce 5,775 m. V dalších měsících došlo v těchto úrovních naopak ke zlepšení stavu (snížení stupně nasycení zeminy vodou), pouze v listopadu lze pozorovat mírné zvýšení. Tato maxima však dosahují nejvýše dvojnásobku původních hodnot, nejedná se tedy o tak výrazné zhoršení stavu jako v hloubkách 1,925 m a 2,075 m. Od hloubky 6,825 m do hloubky 9,525 m jsou hodnoty ve všech měsících menší nebo blízké 1. V této oblasti monitorované části hráze je tedy znatelné zlepšení po rekonstrukci vodního díla. Souhrnně lze konstatovat,

že ani na sondě VL_2 nelze pozorovat jednoznačnou souvislost mezi trendem vývoje hladiny v nádrži v jednotlivých měsících a hodnot elektrické vodivosti zeminy.



Obr. 8.4 Trend vývoje elektrické vodivosti zeminy hráze v měřených úrovních a hladiny vody v nádrži, sonda VL_3

Kvantitativně nejvyšší změny hodnot elektrické vodivosti byly zjištěny sondou VL_3 (Obr. 9.4) V hloubkách 1,925 m a 2,075 m se hodnoty G v roce 2014 oproti roku 2012 před rekonstrukcí hráze zvyšují 40× až téměř 150×. Alarmující je, že téměř po celý rok ve všech měřených úrovních je trend hodnot G_{2014}/G_{2012} rostoucí. K poklesu hodnot G_{2014}/G_{2012} došlo v hloubce 1,952 m pouze v měsíci červenci a srpnu, následně pak v prosinci. Zde se zdá, že by bylo možné uvažovat souvislosti s trendem vývoje úrovně hladin vody v nádrži. K výrazným změnám hodnot G_{2014}/G_{2012} došlo od hloubky 2,025 m do hloubky 3,275 m. V porovnání s prvními dvěma úrovněmi koncem roku 2014 však v úrovni 3,175 m dosahuje téměř čtyřicetinásobku, zatímco kvantitativně největší nárůst hodnot na sondě VL_2 byl přibližně poloviční. Rostoucí trend hodnot elektrické vodivosti je zřejmý i v úrovních 4,725 m a 5,775 m. Až 5× vyšší oproti roku 2012 jsou v roce 2014 také hodnoty G v hloubce 3,625 m a až 3× větší v hloubce 9,525 m. V ostatních hloubkách se hodnoty G_{2014}/G_{2012} pohybují přibližně kolem hodnoty 1. Ke snížení hodnoty elektrické vodivosti, potažmo stupně nasycení zeminy vodou, došlo ve většině měsíců v úrovni 7,925 m, 7,385 m, 7,375 m a v některých měsících také od 12,675 m níže. Zde tedy lze konstatovat zlepšení stavu oproti roku 2012 před rekonstrukcí. Celkově ale sonda VL_3 vykazuje nejméně příznivé výsledky.



Obr. 8.5 Trend vývoje elektrické vodivosti zeminy hráze v měřených úrovních a hladiny vody v nádrži, sonda VL_4

Z kvantitativního hlediska výrazné změny hodnot G_{2014}/G_{2012} zjištěné sondou VL_4 se vyskytují v hloubkách 3,275 m a 3,625 m. Kvalitativně jsou průběhy pro obě hloubky velmi podobné s klesajícím trendem. V uvedených hloubkách lze konstatovat pozvolný pokles stupně nasycení zeminy vodou. Další hloubkou s výrazně vyššími hodnotami G_{2014}/G_{2012} a jejich pozvolně se zvyšujícím trendem hodnot je 11,625 m. Průběh poměrných změn G v této úrovni má výrazné minimum v měsíci dubnu. Toto minimum je také jedinou hodnotou menší než 1 a tedy jediným měsícem, ve kterém je možné konstatovat zlepšení stavu oproti roku 2012. K pravděpodobnému snížení stupně nasycení zeminy vodou došlo v hloubkách 4,175 m a 4,725 m, kde $G_{2014}/G_{2012} < 1$, avšak vzhledem ke zvýšení hodnot G v listopadu a prosinci roku 2014 křivky vykazují rostoucí trend. Obdobný závěr lze konstatovat na základě měření v hloubkách 1,925 m a 2,075 m, avšak není zřejmé, že by měl souvislost s trendem vývoje hladiny vody v nádrži. Téměř ve všech měsících lze pro ostatní hloubky konstatovat $G_{2014}/G_{2012} < 1$, kdy křivky nevykazují žádný trend. Z komplexního hodnocení ani na sondě VL_4 nelze pozorovat jednoznačnou souvislost mezi trendem vývoje hladiny v nádrži a změnou hodnot G_{2014}/G_{2012} .

8.4 POROVNÁNÍ PLOCH POD KŘIVKOU ELEKTRICKÉ VODIVOSTI

Posouzení účinnosti těsnicí clony metodou EIS je rovněž provedeno vzájemným porovnáním ploch pod křivkami elektrické vodivosti G . Plocha je vyjádřena s integrálem průběhu elektrické vodivosti po hloubce sondy. Měřením zjištěné křivky elektrické vodivosti byly přeneseny do programu AutoCAD (Příloha 4), v němž byly stanoveny odpovídající

plochy. Získané hodnoty jsou pro jednotlivé měsíce roku 2012 a 2014 s dostupnými daty uvedeny v Tab 8.1. Je uveden rozdíl hodnot získaných pro rok 2014 oproti roku 2012. Kladná hodnota v tomto případě znamená pokles plochy pod křivkou elektrické vodivosti a tím určité zlepšení stavu po rekonstrukci hráze. Také je uveden procentuální pokles resp. nárůst hodnot ploch pod křivkou. Kladná hodnota opět znamená zlepšení stavu (pokles elektrické vodivosti) a záporná naopak jeho zhoršení.

Tab. 8.1 Porovnání ploch pod křivkami elektrické vodivosti G

měsíc	VL_1				VL_2			
	2012	2014	2012-2014	pokles [%]	2012	2014	2012-2014	pokles [%]
1	28,81	23,43	5,38	18,67	25,75	25,10	0,65	2,52
3	28,81	22,99	5,82	20,20	24,43	23,99	0,44	1,80
4	20,60	21,54	-0,94	-4,56	24,99	23,89	1,10	4,40
5	19,55	21,43	-1,88	-9,62	25,13	23,91	1,22	4,85
6	20,82	19,68	1,14	5,48	29,35	24,15	5,20	17,72
7	21,52	22,85	-1,33	-6,18	30,83	24,81	6,02	19,53
8	23,83	20,86	2,97	12,46	29,08	25,38	3,70	12,72
10	24,17	19,79	4,38	18,12	30,45	25,32	5,13	16,85
11	20,74	19,71	1,03	4,97	25,24	25,10	0,14	0,55
12	22,21	19,57	2,64	11,89	30,97	24,98	5,99	19,34

měsíc	VL_3				VL_4			
	2012	2014	2012-2014	pokles [%]	2012	2014	2012-2014	pokles [%]
1	6,94	9,36	-2,42	-34,87	10,87	7,63	3,24	29,81
3	6,82	9,25	-2,43	-35,63	20,89	7,08	13,81	66,11
4	6,49	9,33	-2,84	-43,76	11,97	8,16	3,81	31,83
5	6,28	9,46	-3,18	-50,64	13,42	8,45	4,97	37,03
6	6,44	9,76	-3,32	-51,55	12,45	7,94	4,51	36,22
7	6,76	10,18	-3,42	-50,59	11,93	8,76	3,17	26,57
8	7,39	10,65	-3,26	-44,11	12,69	9,11	3,58	28,21
10	7,48	12,20	-4,72	-63,10	13,11	8,43	4,68	35,70
11	7,26	11,26	-4,00	-55,10	10,39	9,12	1,27	12,22
12	6,65	11,26	-4,61	-69,32	10,55	9,46	1,09	10,33

Z uvedeného vyhodnocení je patrné, že na sondě VL_1 došlo ke zhoršení stavu oproti roku 2012 pouze v měsíci dubnu, květnu a červenci. Nárůst vlhkosti zeminy hráze sledovaný prostřednictvím elektrické vodivosti se procentuálně pohybuje od 4,56% do 9,62%, zatímco její pokles v ostatních měsících dosahuje až 20,20%. Nejpříznivější hodnota (největší snížení plochy pod křivkou elektrické vodivosti) byla vyhodnocena v měsíci březnu. Znovu je nutné zdůraznit změnu polohy sondy VL_1 v roce 2014 oproti roku 2012 v důsledku jejího poškození při rekonstrukčních pracích.

V případě zpracování hodnot zjištěných sondou VL_2 nelze konstatovat zvýšení celkové plochy pod křivkou elektrické vodivosti pro žádný měsíc, což hovoří také ve prospěch účinnosti těsnicí clony. Z předchozích vyhodnocení je patrné, že v hloubce do 3,0 m jsou hodnoty elektrické vodivosti a tím i možného nasycení zeminy vodou oproti roku 2012 před rekonstrukcí vyšší, avšak celková plocha pod křivkou elektrické vodivosti je menší díky snížení hodnot v dalších úrovních. Procentuální hodnoty snížení elektrické vodivosti se pohybují od 0,55% do 19,34%.

Naopak ke zhoršení vývoje vlhkosti zeminy hráze oproti roku 2012 před rekonstrukcí hráze došlo v místě sondy VL_3, a to pro všechny měsíce s dostupnými daty. Procentuální hodnota zvýšení plochy pod křivkou elektrické vodivosti se pohybuje od 34,87% do 69,32%. Největší zhoršení je možné sledovat v měsíci prosinci. Jak již vyplynulo z předchozích způsobů posouzení, na sondě VL_3 je zřejmý nárůst hodnot elektrické vodivosti G v oblasti do 4 m pod korunou hráze. V nižších úrovních jsou průběhy elektrické vodivosti kvantitativně i kvalitativně velmi podobné zjištěním z roku 2012. Avšak zvýšení hodnot G v horní části hráze, kde byly hodnoty v roce 2012 téměř nulové, způsobuje ve všech měsících negativní dopad při uvedeném způsobu hodnocení.

Nejpříznivěji z hlediska porovnání ploch pod křivkami elektrických vodivostí se jeví sonda VL_4. Zde je patrné zlepšení stavu oproti roku 2012 ve všech měsících. Procentuální hodnoty zmenšení plochy pod křivkami elektrických vodivostí se pohybují od 10,33% do 66,11%. Uvedený trend způsobuje především velké snížení hodnot elektrické vodivosti G v hloubce 8 m – 11 m.

Z hlediska globálního hodnocení je však třeba připomenout, že po celou dobu monitorování jsou sondami VL_1 a VL_2 měřeny vyšší hodnoty elektrické vodivosti, a proto lze stále v uvedených místech hráze předpokládat vyšší obsah vody v zemině než v případě sond VL_3 a VL_4.

9 ZÁVĚR

Vodní dílo Karolinka bylo navrženo především z důvodu zásobování pitnou vodou. Stavba byla zahájena roku 1985 a dílo bylo uvedeno do provozu roku 1987. Od prvního napouštění se však na vzdušném líci hráze začaly objevovat průsaky. Proto nebyla nádrž nikdy napuštěna na maximální provozní hladinu. Pro bezpečný provoz vodního díla bylo postupně podniknuto několik kroků, avšak stabilita a funkce zemní hráze byly přesto ohroženy. Proto v letech 2012 a 2013 proběhla komplexní rekonstrukce hráze, jejíž součástí bylo vybudování cementobentonitové těsnicí clony v roce 2013.

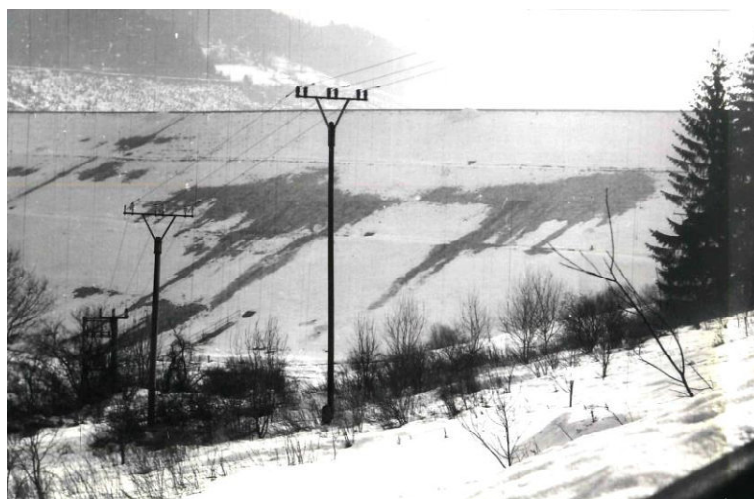
V březnu roku 2011 byly z koruny do zemní hráze instalovány čtyři tyčové sondy, každá délky 13,0 m, pro měření nepřímou měřicí metodou EIS, jimiž je pravidelně 1× měsíčně prováděno sledování změn obsahu v zemině prostřednictvím měření elektrické impedance zeminy. Pro potřebu své bakalářské práce jsem využila dostupná data (pokud např. ležela na koruně hráze vysoká vrstva sněhové pokrývky, nebylo možné měření realizovat) z roku 2012, tj. před rekonstrukcí hráze a naměřená data z roku 2014, tj. po provedené rekonstrukci zemní hráze instalovanou jílo-cementovou těsnicí clonou. Data v rozsahu, který mi umožnilo zpracování bakalářské práce, jsem doplnila měřeními a zpracováním části roku 2015. Během rekonstrukce byla sonda VL_1 zničena, proto musela být nahrazena stejnou sondou, která se však nenachází na stejném místě, ale přibližně o 1 m blíže k VL_2. Výsledná posouzení na sondě VL_1 proto mohou být touto skutečností ovlivněna.

Pro vyhodnocení dat a posouzení účinnosti aplikované těsnicí clony na základě monitorování metodou EIS jsem zvolila elektrickou vodivost, která je odvozena z reálné složky měřené elektrické impedance zeminy hráze a koreluje se změnami stupně nasycení sledovaného prostředí vodou. Vytvořila jsem mapy elektrické vodivosti v programu Surfer 8, grafy průběhů elektrické vodivosti, relativní změny elektrické vodivosti v jednotlivých monitorovaných a posoudila jsem změny ploch pod křivkami elektrických vodivostí. Všechny následující závěry uvádím za předpokladu, že instalací těsnicí clony nedošlo ke změnám mechanických ani chemických charakteristik monitorované zeminy a změny hodnot elektrické vodivosti jsou dominantně důsledkem změny stupně nasycení zeminy vodou.

Souhrnně lze říci, že v oblasti největšího průsaku, v hloubce 5 m až 10 m mezi sondami VL_1 a VL_2 došlo po rekonstrukci k výraznému snížení hodnot elektrické vodivosti zeminy a tím i ke snížení stupně nasycení vodou. Podobný závěr lze pro uvedený rozsah hloubek vyslovit také v případě sondy VL_4. V tomto směru je možné aplikaci těsnicí clony označit za účinnou.

Při studiu na průběhů elektrických vodivostí měřených sondou VL_1 je však patrné, že oblast vyššího stupně nasycení zeminy vodou se přesunula níže, přibližně do 10 m až 11 m. Jak již bylo řečeno, těsnicí clona má šířku 0,60 m a délku proměnlivou od 10,50 m do

19,30 m. Z obrázku 7.7 a 7.9 je zřejmé, že sonda VL_1 se nachází v části hráze s téměř nejmenší hloubkou těsnicí clony, přibližně 11 m. Nabízí se tedy možnost, že aplikací těsnicí clony došlo v této oblasti hráze pouze ke snížení oblasti vyššího stupně nasycení zeminy vodou. Hodnota nově vzniklého maxima je sice menší než hodnota výše položeného maxima z roku 2012, je však třeba podotknout, že se v průběhu roku neustále mírně zvyšuje. U ostatních sond, které se nacházejí v oblasti s větší hloubkou těsnicí clony, přibližně 19 m, se tato oblast výrazného zvýšení elektrických vodivostí a tedy výšného stupně nasycení zeminy vodou neobjevuje. Částečné zvýšení oproti roku 2012 lze v nejnižších měřicích úrovních pozorovat i u sondy VL_4, zde však není maximum tak patrné a v průběhu roku kolísá. Při uvážení těchto výsledků by bylo možné konstatovat, že v oblasti sondy VL_1 je hloubka provedené těsnicí clony nedostatečná. Uvedený závěr podporuje i skutečnost, že přibližně v oblasti původního historického průsaku se v únoru roku 2015 opět objevuje plocha, na níž sněh taje, pravděpodobně vlivem prosakující vody (Obr 9.2). Nachází se pod horní bermou, což je přibližně v hloubce 11 m pod korunou hráze.



Obr. 9.1 Průsaky pozorovatelné po výstavbě hráze [21]



Obr. 9.2 Průsaky únor 2015

Dále je třeba upozornit na zvýšení hodnot elektrických vodivostí a tím i stupně nasycení zeminy vodou v oblasti přibližně 2 m až 4 m pod korunou zemní hráze, které je největší na sondě VL_3, částečně ho lze pozorovat také na ostatních sondách. Trend poměrných hodnot G_{2014}/G_{2012} na sondě VL_3 má výrazně rostoucí tendenci. Jako lze konstatovat, že v hloubce 5 m až 10 m došlo po rekonstrukci ke zřejmému snížení stupně nasycení zeminy vodou, tak je nutné podotknout, že v hloubce 2 m až 4 m došlo naopak k jeho zvýšení.

Nejpříznivější výsledky z hlediska účinnosti těsnicí clony přineslo porovnání ploch pod křivkami elektrických vodivostí. Zde převažují nepříznivé výsledky pouze pro sondu VL_3, a to z důvodu velkého stupně nasycení zeminy vodou v hloubce do 4 m. V nižších úrovních jsou hodnoty elektrických vodivosti srovnatelné s rokem 2012. Lze konstatovat, že přestože na ostatních sondách při kvantitativním porovnání dochází k celkovému zvýšení stupně nasycení zeminy vodou pro jednotlivé úrovně, plochy pod křivkami elektrické vodivosti naměřené v roce 2014 jsou ve většině případů menší, než ty z roku 2012 před rekonstrukcí.

Posouzení účinnosti těsnicí clony vodního díla Karolinka pouze na základě monitorování metodou EIS není zcela jednoznačné, dává však určitou zajímavou představu o nasycení zeminy vodou v monitorované oblasti hráze. Do budoucna by například bylo vhodné zaměřit se na porovnání trendu hodnot elektrické vodivosti zeminy s měřenými průsaky v drenážních perech, pórovými tlaky, úrovní hladiny vody v nádrži a dalšími parametry. Hráz je nadále sledována a pravidelně monitorována a teprve po delším časovém úseku bude možné s jistotou hovořit o účinnosti provedených opatření.

V Brně dne 29.05.2015

.....

podpis

10 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BROŽA, Vojtěch. KAZDA, Ivo. PATERA, Adolf. PŘENOSILOVÁ, Eva. *Vodohospodářské stavby*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997, 162 s.
- [2] BROŽA, Vojtěch. KRATOCHVÍL, Jiří. PETER, Pavel, VOTRUBA, Ladislav. *Přehrady*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987, 548 s.
- [3] BROŽA, Vojtěch. Satrapa, Ladislav. *Hydrotechnické stavby 2. Přehrady*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2000, 128 s. ISBN 978-80-01-03655-6
- [4] BROŽA, Vojtěch. Satrapa, Ladislav. *Navrhování přehrad*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007, 127 s.
- [5] ČSN 75 2340. (2004). Navrhování přehrad – Hlavní parametry a vybavení.
- [6] data Vodní díla – TBD, a. s.
- [7] FÍNA, D. *Vodní dílo Karolinka je po zásadní rekonstrukci opět plně funkční*. Tisková zpráva [online]. Poslední editace 14.11.2014, [cit.2015-01-29]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/media/tiskove-zpravy/vodni-dilo-karolinka-je-po-zasadni-rekonstrukci-opet-plne-funkcni/>.
- [8] JANDORA, Jan. ŘÍHA, Jaromír. *Porušení sypaných hrází v důsledku přelití*. Vyd. 1. Brno: ECON publishing, s.r.o., 2002, 188 s. ISBN 80-86433-15-5
- [9] KRATOCHVÍL, Jiří. STARA, Vlastimil. *Přehrady*. Vyd. 2. Brno: Vysoké učení technické, 1990, 225 s. ISBN 80-214-0004-3
- [10] KRATOCHVÍL, Stanislav. *Hydrotechnický výzkum 2. Měření na hydrotechnických stavách*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964, 208 s.
- [11] KRATOCHVÍL, Stanislav. *Vodní nádrže a přehrady*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1961, 956 s.
- [12] LUKÁČ, Michal. BEDNÁROVÁ, Emília. *Navrhovanie a prevádzka vodných staveb. Sypané přehrady a hrádze*. Bratislava: Vydavateľstvo Jaga group, s. r. o., 2006, 183 s. ISBN 80-8076-015-2
- [13] PAŘÍLKOVÁ, Jana. *EUREKA 2013: 1st conference and working session within the frame of the international program EUREKA, project no. E!4981 : October 30 to November 1, 2013: Karolinka, Czech Republic*. Ed. 1st. Editor Jana Pařílková, Lubomír Procházka. Brno: VUTIUM, 2013, 275 s. ISBN 978-80-214-4735-6.

- [14] PAŘÍLKOVÁ, Jana. Systém sledování vybraných parametrů porézních látek metodou EIS v širokém spektru aplikací. *Oponovaná zpráva za rok 2013*, Brno, leden 2014. Vysoké učení technické v Brně a GEOtest, a.s.
- [15] PAŘÍLKOVÁ, Jana. ZACHOVAL, Zbyněk, VESELÝ Jaroslav, RUPP, David. *Monitoring of the earthen dam of the Karolinka reservoir by the EIS method. EUREKA 2012*, ISBN 978-80-214-4537-6, pp. 104-118.
- [16] PAŘÍLKOVÁ, Jana. ZACHOVAL, Zbyněk. PAŘÍLEK, Luboš, FRÁNKOVÁ, Hana. LLINARES, Lorenzo Garcia. *The earth-fill dam of the Karolinka reservoir monitored by the EIS method, EUREKA 2014*, ISBN 978-80-214-4883-4, pp. 159-176.
- [17] Předpis č. 471/2001 Sb. Vyhláška ministerstva zemědělství o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly. [online] [cit. 2015-01-26] Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-471#p4>
- [18] RADKOVSKÝ, Karel. *Description of Z-meter III construction. EUREKA 2011*. ISBN 978-80-214-4325-9, pp. 34-38.
- [19] ŘÍHA, Jaromír. *Hydrotechnické stavby II. Studijní opora*. Modul 01, 160 s.
- [20] Seznam nejvyšších hrází světa. Wikipedie [online]. Poslední editace 24. 4. 2014, [cit. 2014-10-28]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_nejvy%C5%A1%C5%A1%C3%ADch_hr%C3%A1z%C3%AD_sv%C4%9Bta#cite_note-3
- [21] SÍLOVÁ, Tereza. *VD Karolinka – těsnicí clona*. Závěrečná práce. PMO, s.p. 2015, 17 s.
- [22] Technická zařízení na vodních nádržích. [online] [cit. 2014-10-28] Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/cviceni/cviceni_lenticky/technicka_zařízení.htm
- [23] VD Karolinka [online]. Poslední editace 1.1.2012, [cit. 2015-02-03]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodni-dila/karolinka/>
- [24] Vodní díla – TBD. Technickobezpečnostní dohled. [online] [cit. 2015-01-26] Dostupné z: <http://www.vdtbd.cz/bezpecnost-vodnich-del>
- [25] Vodní dílo Lipno. Wikipedie [online]. Poslední editace 10. 9. 2014, [cit. 2014-5-11]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_n%C3%A1dr%C5%BE_Lipno
- [26] VOTRUBA, Ladislav. Broža, Vojtěch. KAZDA, Ivo. *Přehrady*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1978, 330 s.

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Zatřídění zemin (ČSN 75 7410)	18
Tab. 3.2 Orientační fyzikálně mechanické vlastnosti zhutněných zemin (ČSN 75 2410)	20
Tab. 3.2 Vhodnost zemin pro různé zóny hrází (ČSN 75 2410)	20
Tab. 6.1 Parametry přístroje Z-metr III [18]	32
Tab. 6.2 Textový soubor měřených dat	33
Tab. 6.3 Nastavení Z-metru III při měření	33
Tab.8.1 Porovnání ploch pod křivkami elektrické vodivosti G	59

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Mechanismus kontaktní sufoze [1].....	17
Obr. 3.2 Klasifikační diagram zemin s částicemi < 60 mm (ČSN 75 2410).....	19
Obr. 3.3 Diagram plasticity (pro částice < 0,5 mm) (ČSN 75 2410)	19
Obr. 5.1 Grafické znázornění fázoru elektrické impedance	29
Obr. 5.2 Měření přístrojem Z-meter III	30
Obr. 5.3 Schéma měření pro určení elektrických parametrů zeminy	31
Obr. 6.1 Přístroj Z-metr III s příslušenstvím	32
Obr.7.1 Návodní a vzdušní svah zemní hráze VD Karolinka	34
Obr. 7.2 Pohled na přehradní profil z pravé strany údolí	35
Obr. 7.3 Pohled k přehradnímu profilu z levé strany údolí	36
Obr. 7.4 Měření průsaků [6]	37
Obr. 7.5 Pozice snímačů na dělené tyčové sondě s uvedením délky elektrod [16].....	38
Obr. 7.6 Instalace sond [16].....	39
Obr. 7.7 Umístění tyčových sond metody EIS v tělese hráze, pohled	39
Obr. 7.8 Umístění tyčových sond metody EIS v tělese hráze, půdorys	39
Obr. 7.9 Schéma monitorování hráze metodou EIS	40
Obr. 7.10 Přístroj Z-metr III s adaptérem pro třísvorkové zapojení [16]	41
Obr. 7.12 Provádění těsnicí clony pomocí tryskové injektáže (20.6.2013).....	42
Obr. 7.13 Zničená sonda VL_1	42
Obr. 7.14 Instalace nové sondy VL_1	43
Obr. 8.1. Grafy průběhů elektrické vodivosti pro měsíc leden.....	52
Obr. 8.2 Trend vývoje elektrické vodivosti zeminy hráze v měřených úrovních a hladiny vody v nádrži, sonda VL_1	54
Obr. 8.3 Trend vývoje elektrické vodivosti zeminy hráze v měřených úrovních a hladiny vody v nádrži, sonda VL_2	56
Obr. 8.4 Trend vývoje elektrické vodivosti zeminy hráze v měřených úrovních a hladiny vody v nádrži, sonda VL_3	57
Obr. 8.5 Trend vývoje elektrické vodivosti zeminy hráze v měřených úrovních a hladiny vody v nádrži, sonda VL_4	58
Obr. 9.1 Průsaky pozorovatelné po výstavbě hráze [21].....	62
Obr. 9.2 Průsaky únor 2015.....	62

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Klasifikace vodních děl [17]	69
Příloha 2	Fotodokumentace instalace těsnicí clony VD Karolinka	70
Příloha 3	Grafy průběhů elektrické vodivosti.....	71
Příloha 4	Plochy pod křivkami elektrických vodivostí vynesené v programu AutoCAD.....	80
Příloha 5	Ukázka dat zpracovaných v programu Excel.....	84

PŘÍLOHA 1 KLASIFIKACE VODNÍCH DĚL [17]

Kategorie	Kritéria
I.	<p>Ohroženy řádově tisíce až desetitisíce lidí a předpokládány velké ztráty na lidských životech.</p> <p>Velké škody na určeném vodním díle, jehož následná obnova je velmi složitá a nákladná. V území na vodním toku pod určeným vodním dílem vzniknou rozsáhlé škody na obytné a průmyslové zástavbě, silniční a železniční síti, ohrožena jsou další určená vodní díla nebo jiná vodní díla.</p> <p>Ztráty způsobené vyřazením určeného vodního díla z provozu, z přerušení průmyslové výroby, dopravy ap., jsou velmi vysoké a těžko nahraditelné.</p> <p>Škody na životním prostředí jsou vysoké, překračují význam vyššího územního samosprávného celku, ekonomické důsledky se dotýkají celého státu.</p>
II.	<p>Ohroženy řádově stovky až tisíce lidí a předpokládány ztráty na lidských životech. Značné škody na určeném vodním díle, jeho následná obnova je složitá a nákladná. V území na vodním toku pod určeným vodním dílem vzniknou škody na obytné a průmyslové zástavbě, dopravní síti, ohrožena jsou další určená vodní díla nebo jiná vodní díla.</p> <p>Ztráty způsobené vyřazením určeného vodního díla z provozu, z přerušení průmyslové výroby, dopravy nebo jiné ztráty jsou značné.</p> <p>Škody na životním prostředí překračují význam vyššího územního samosprávného celku.</p>
III.	<p>Ohroženy řádově desítky až stovky lidí, mohou být ztráty na lidských životech. Poškození určeného vodního díla, obnova je proveditelná.</p> <p>V území na vodním toku pod určeným vodním dílem vzniknou škody na obytné a průmyslové zástavbě i dopravní síti, ohrožena mohou být další méně významná vodní díla.</p> <p>Ztráty způsobené vyřazením určeného vodního díla z provozu, z přerušení průmyslové výroby, dopravy nebo jiné ztráty jsou plně nahraditelné.</p> <p>Škody na životním prostředí nepřekračují význam vyššího územního samosprávného celku.</p>
IV.	<p>Ztráty na životech jsou nepravděpodobné.</p> <p>Poškození určeného vodního díla, obnova je proveditelná.</p> <p>V území na vodním toku pod určeným vodním dílem jsou malé materiální škody. Ztráty způsobené vyřazením určeného vodního díla z provozu jsou malé. Škody na životním prostředí jsou zanedbatelné.</p>

PŘÍLOHA 2 FOTODOKUMENTACE INSTALACE TĚSNICÍ CLONY VD KAROLINKA



2.5.2013



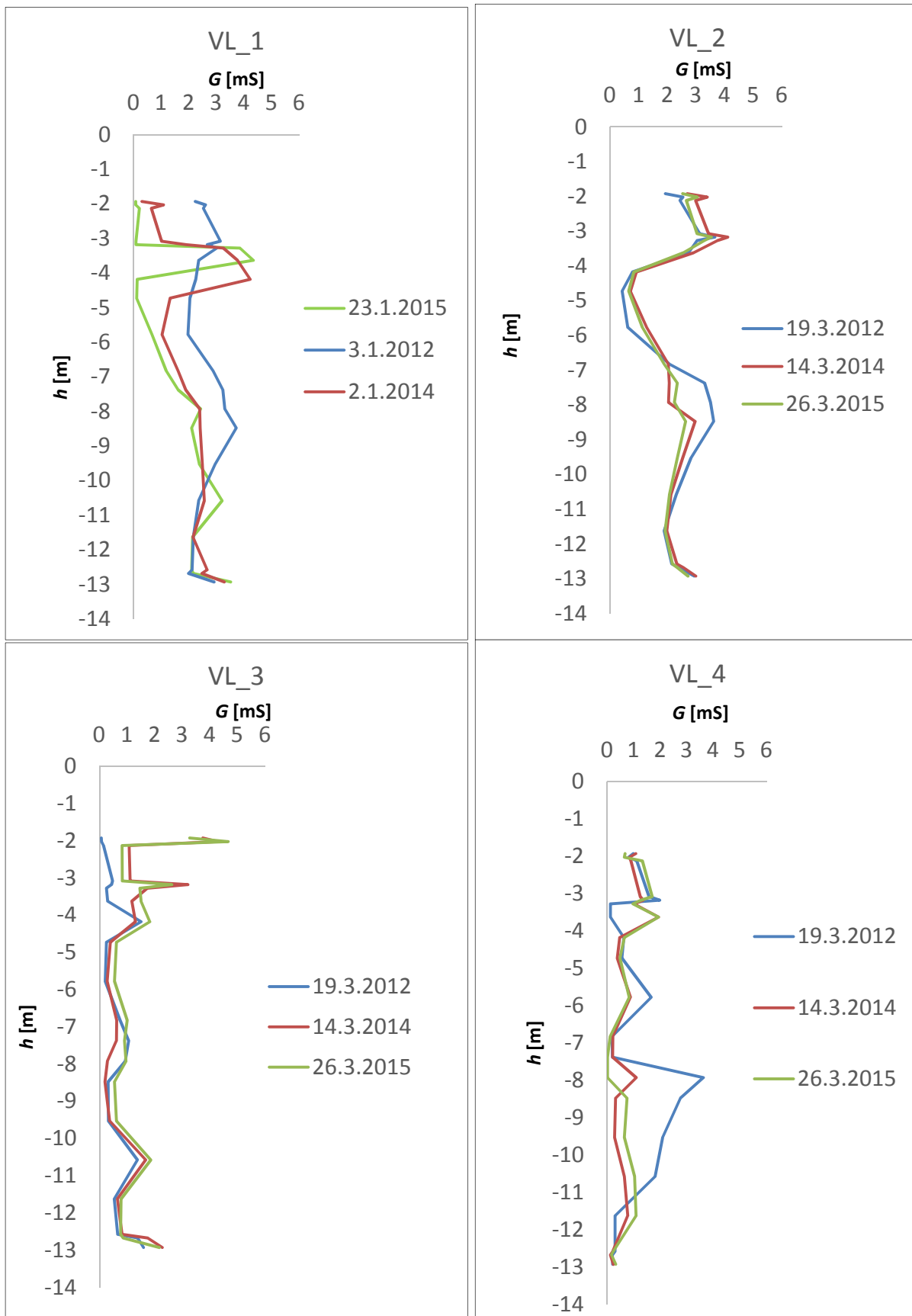
11.7.2013



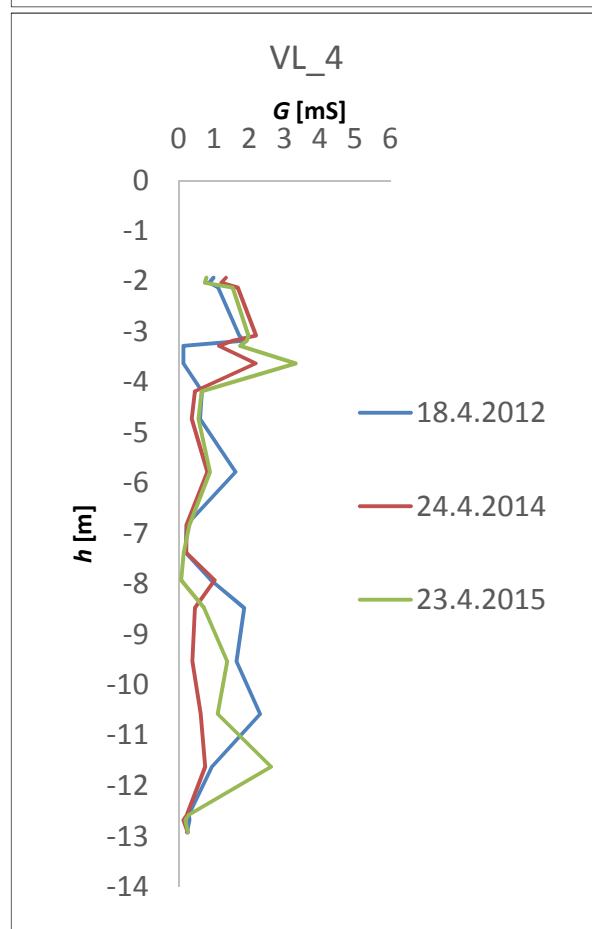
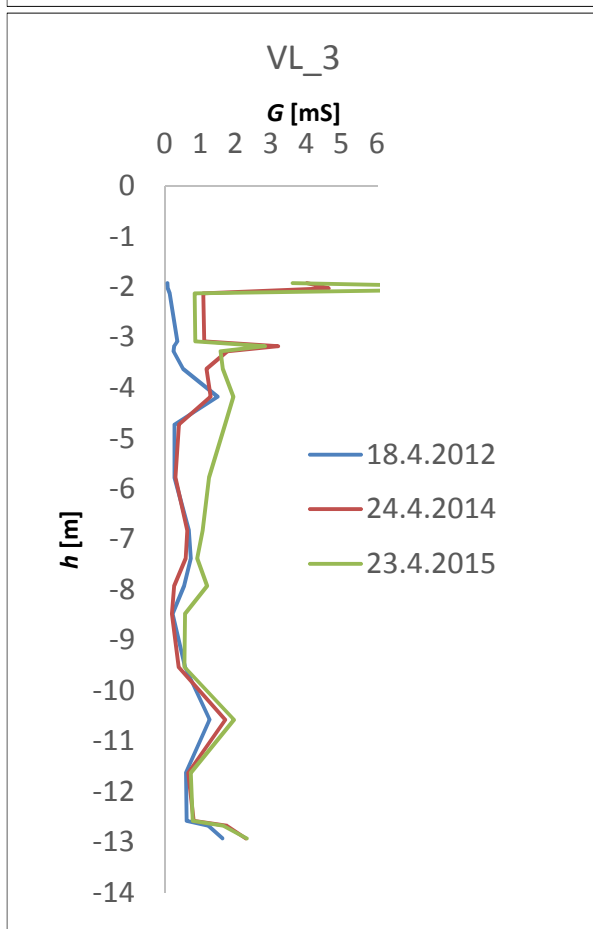
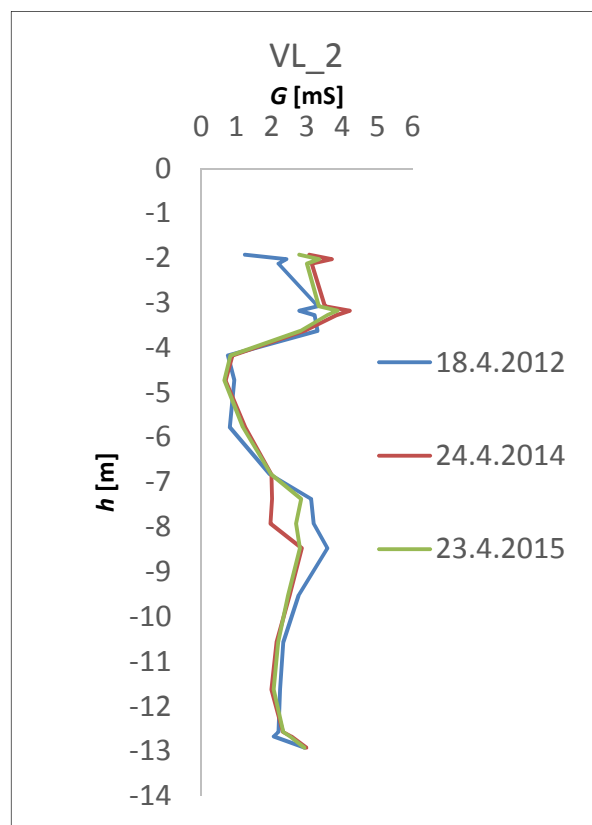
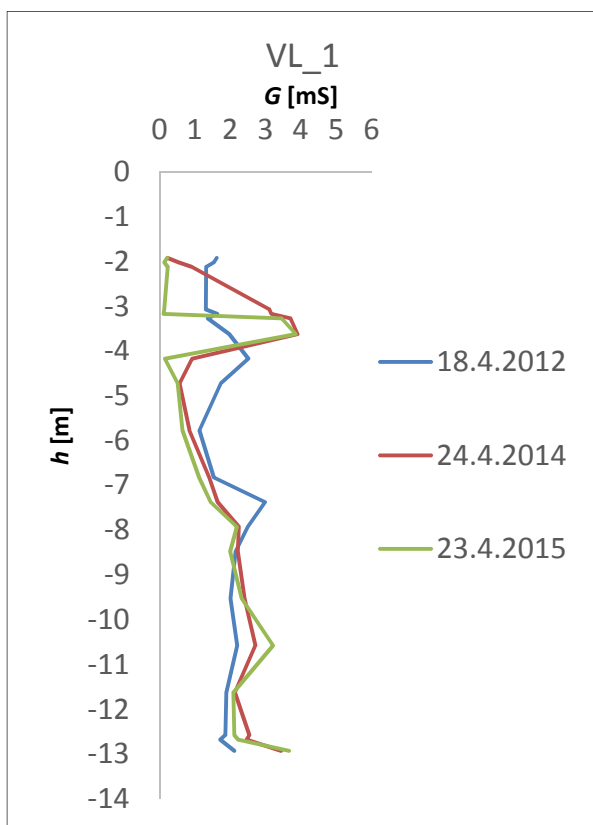
20.8.2013

PŘÍLOHA 3 GRAFY PRŮBĚHŮ ELEKTRICKÉ VODIVOSTI

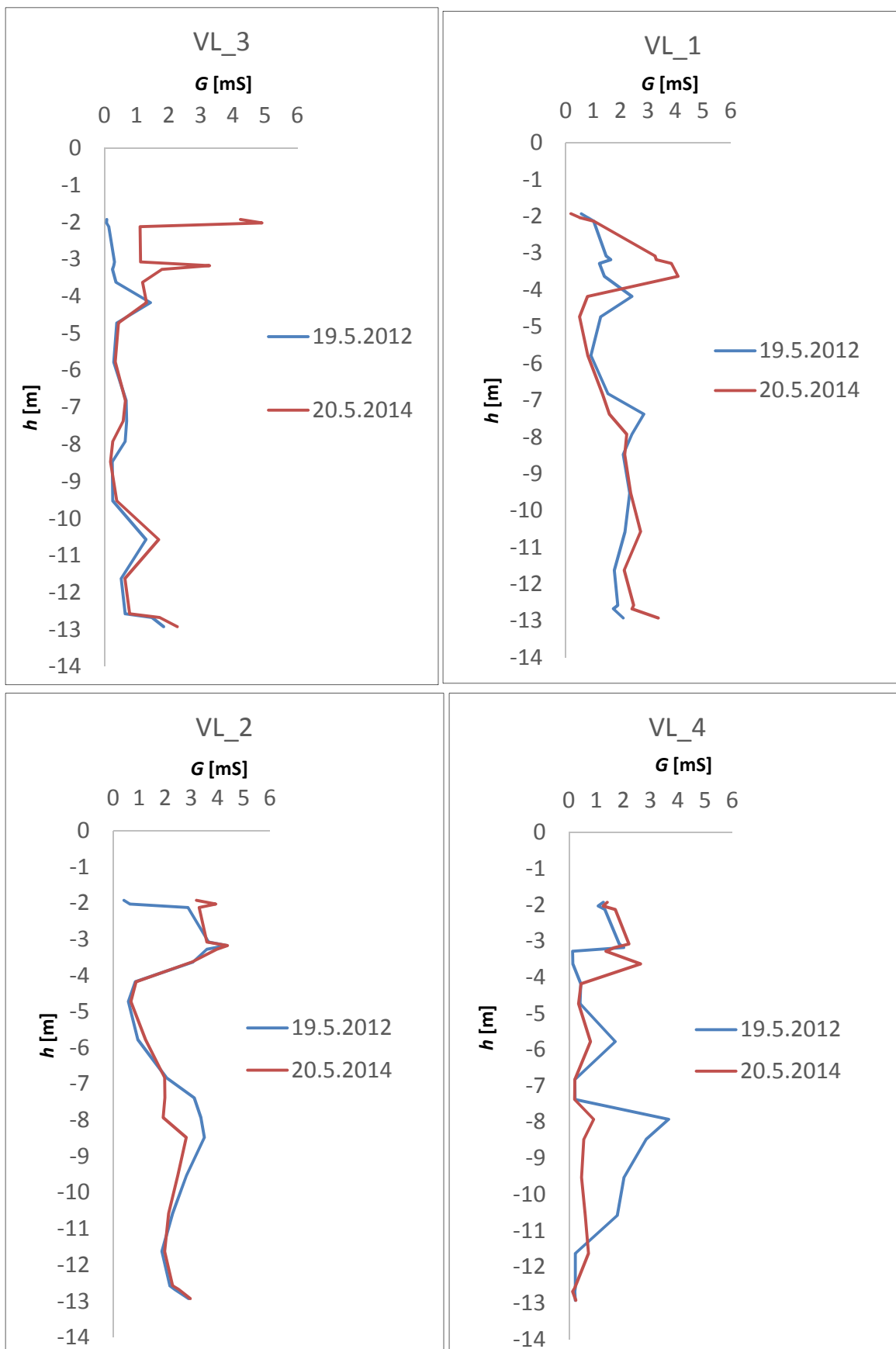
Březen 2012, 2014 a 2015



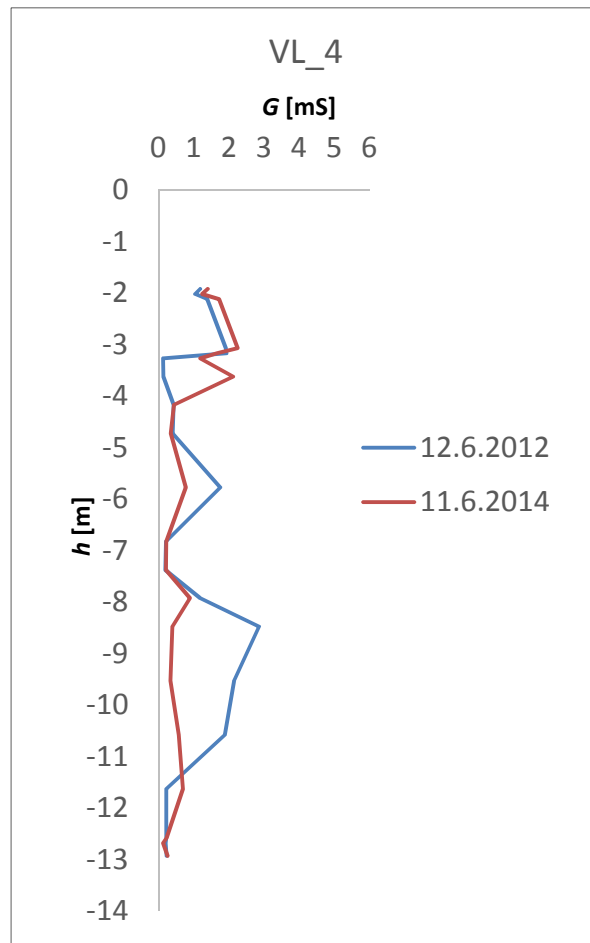
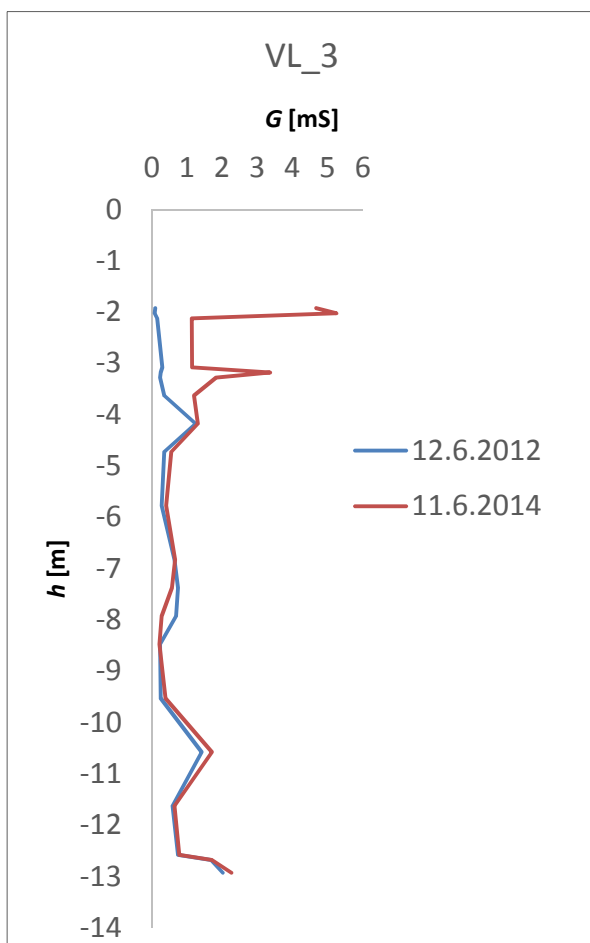
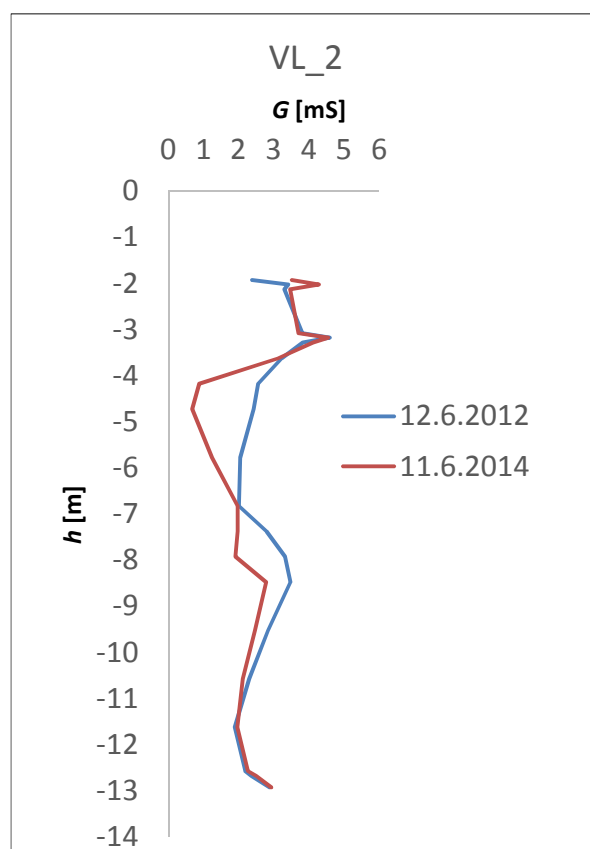
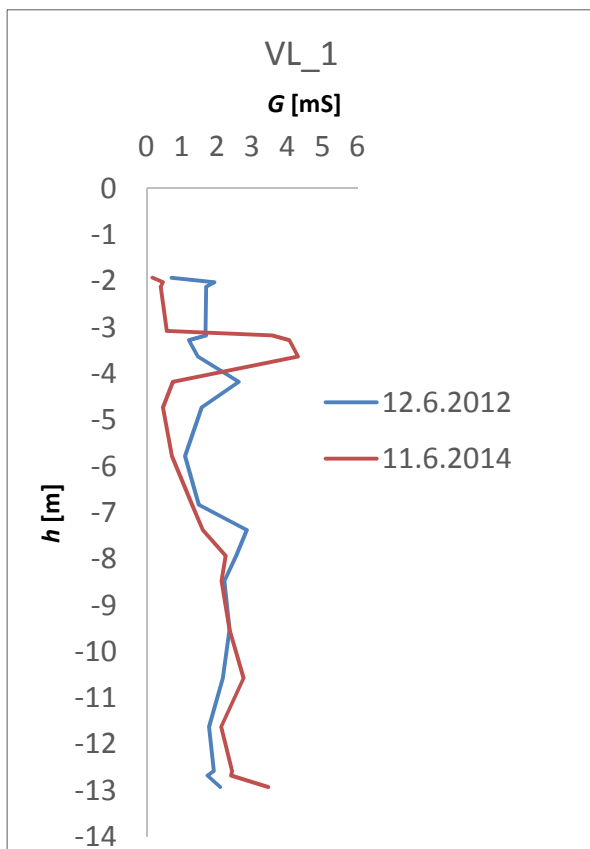
Duben 2012, 2014 a 2015



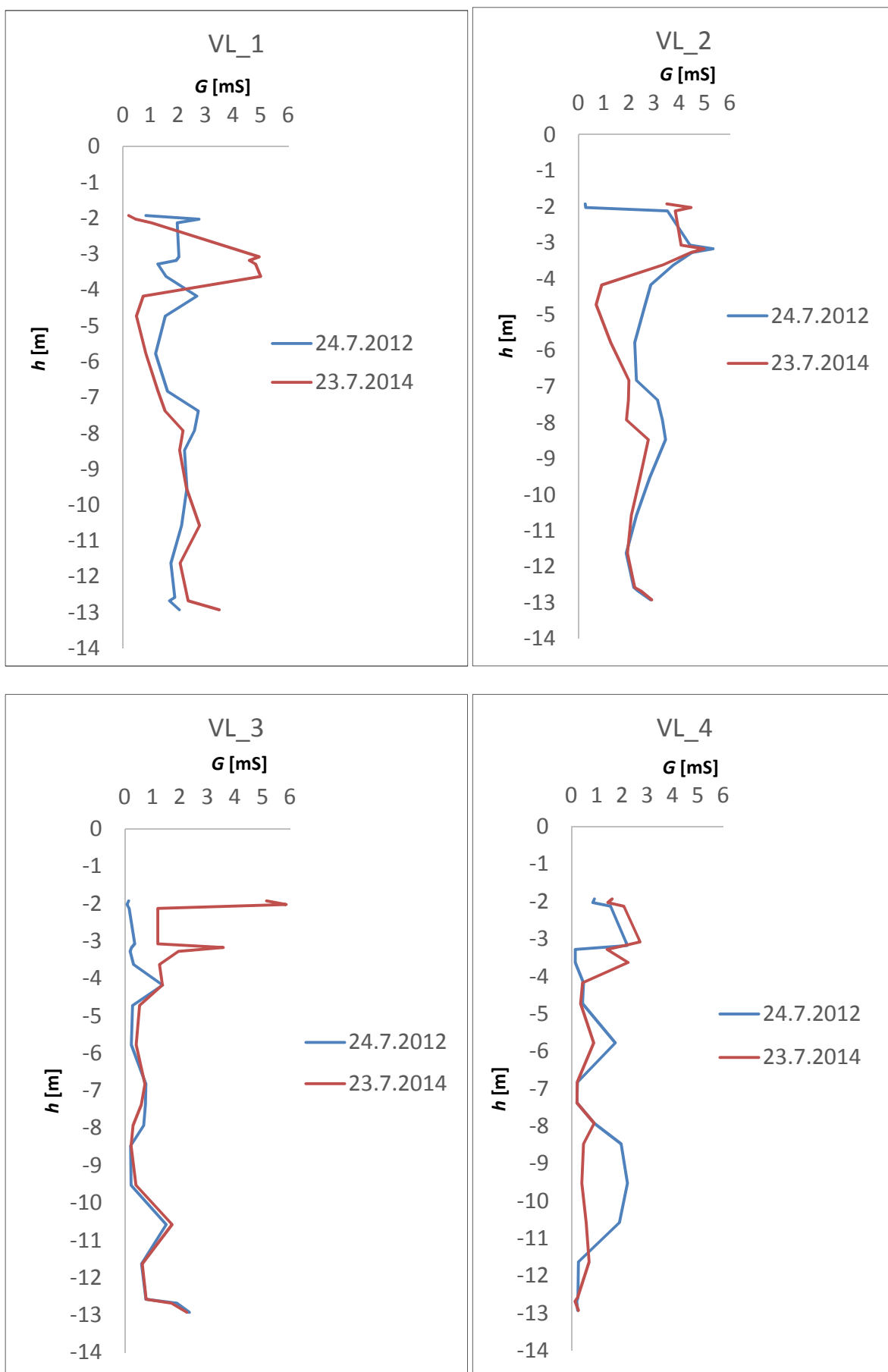
Květen 2012, 2014



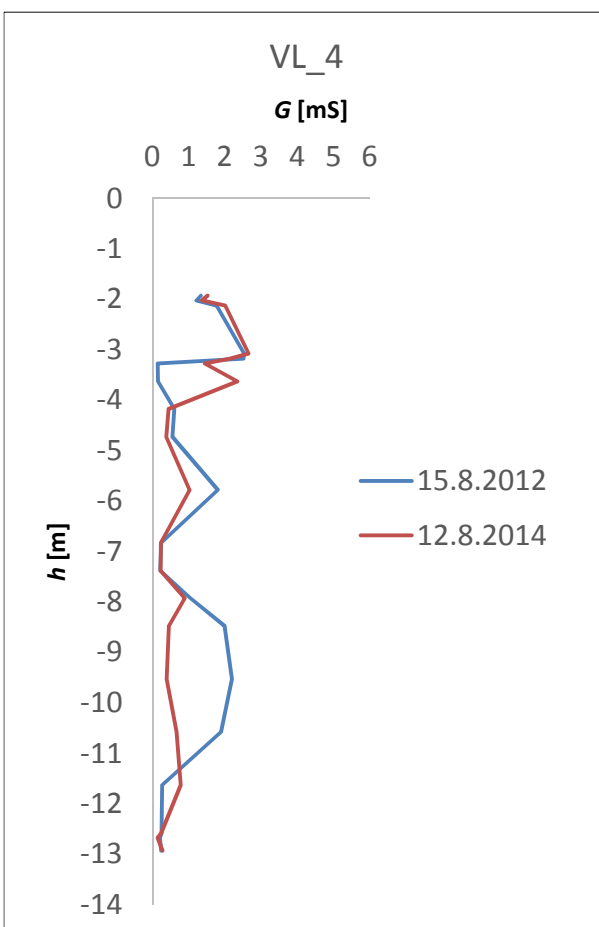
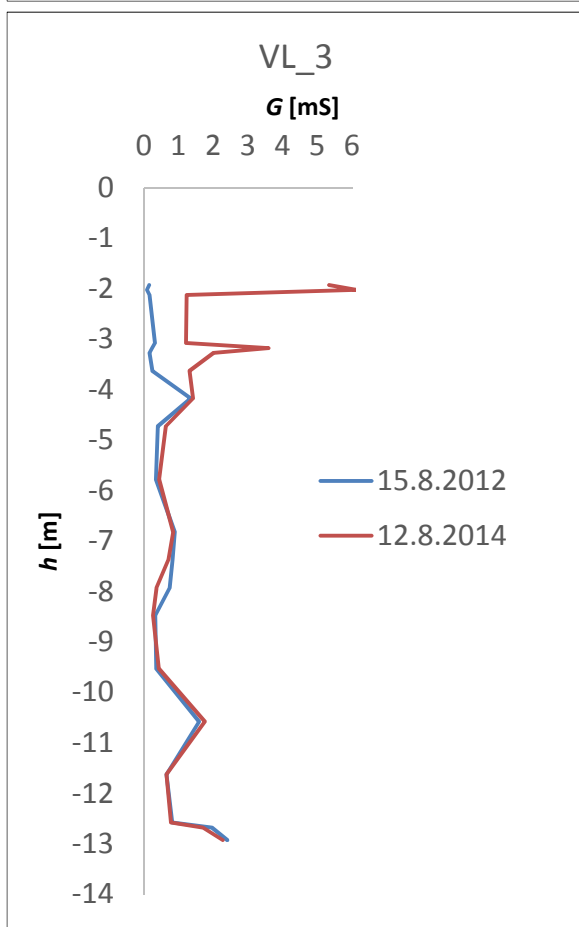
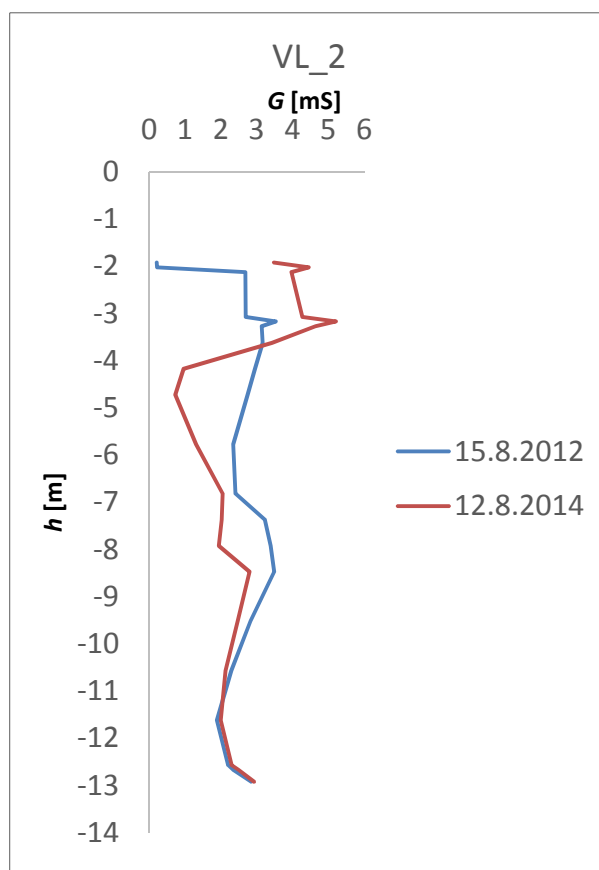
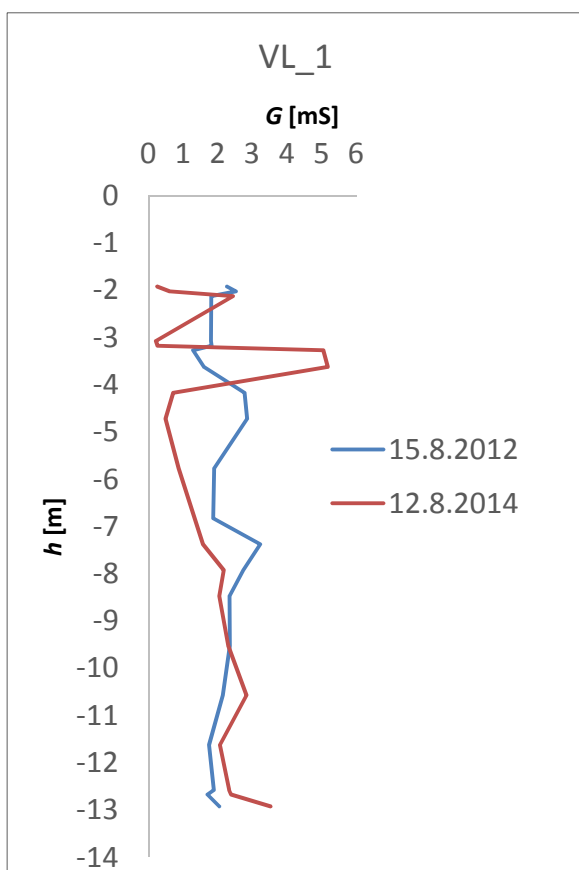
Červen 2012, 2014



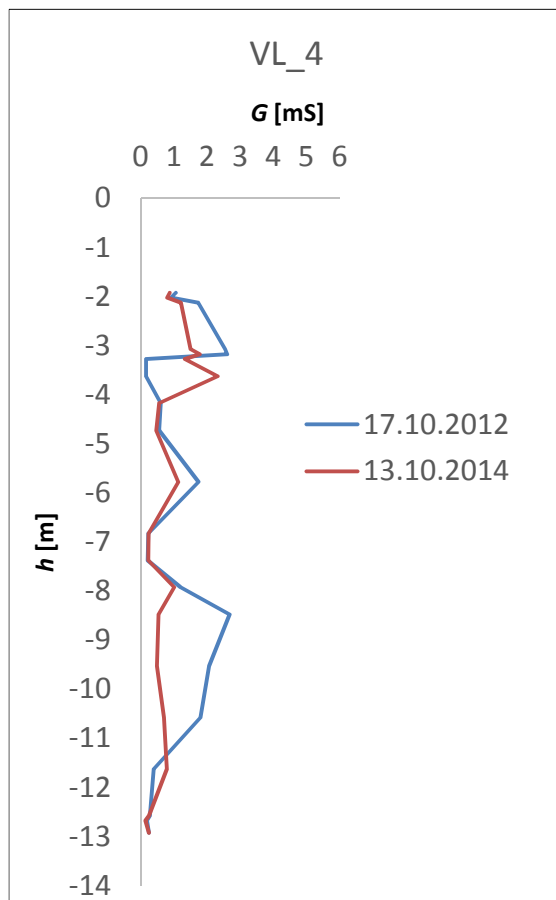
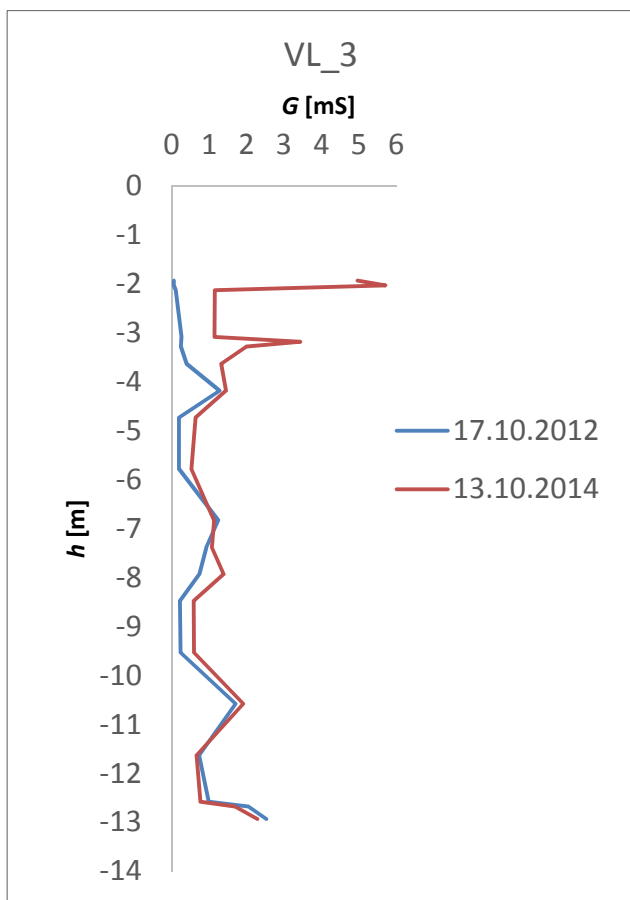
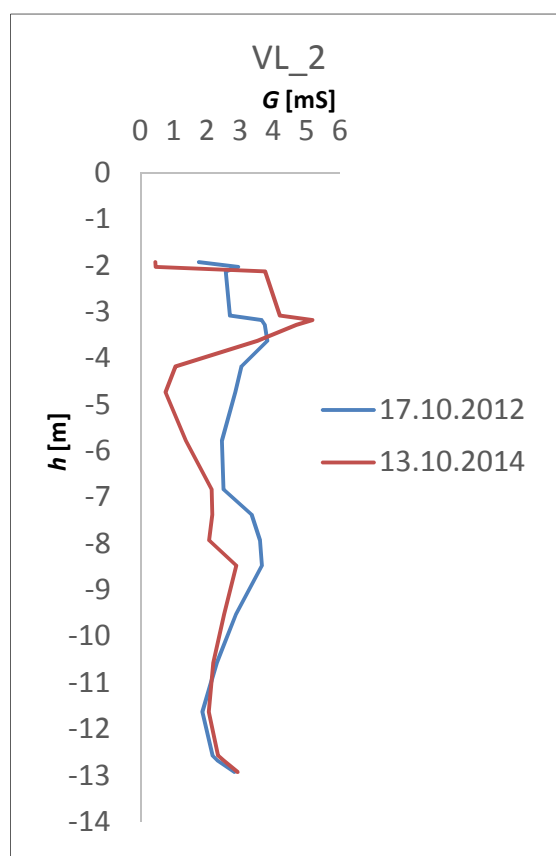
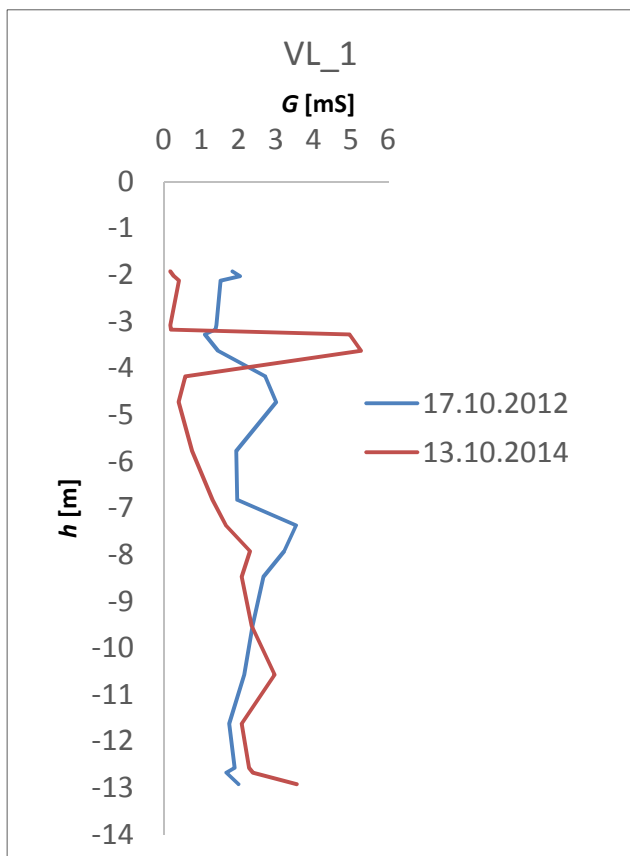
Červenec 2012, 2014



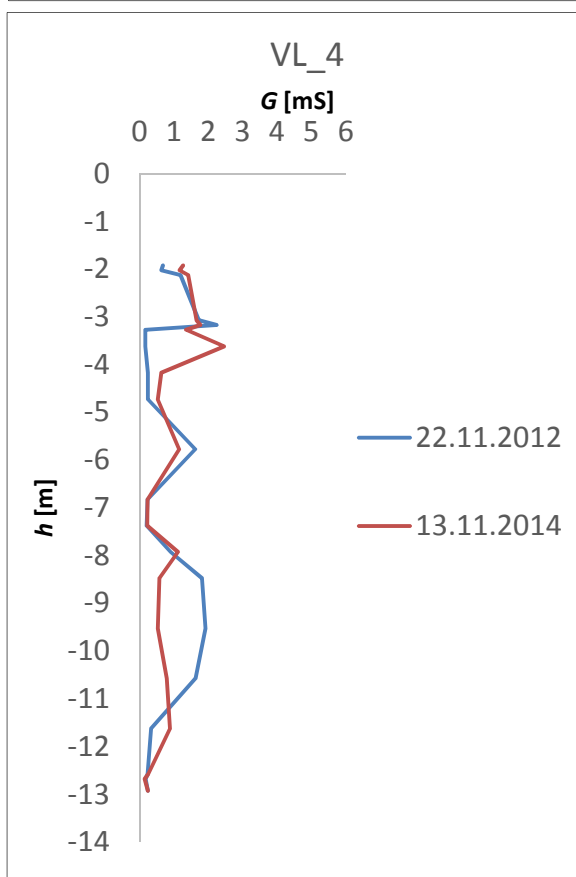
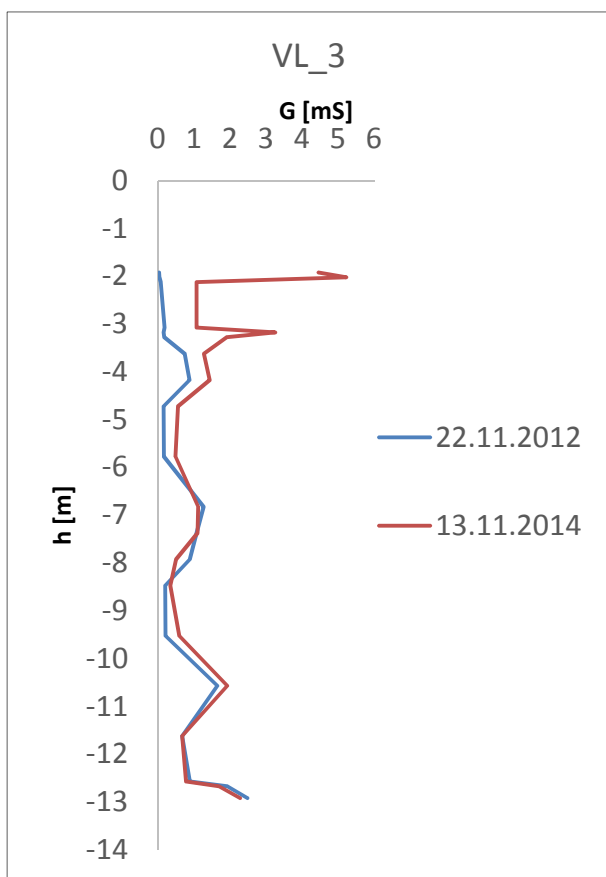
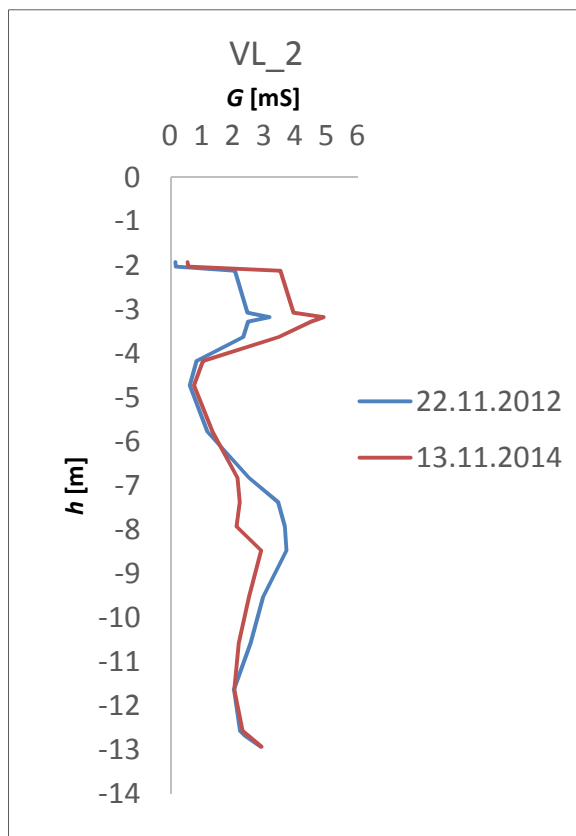
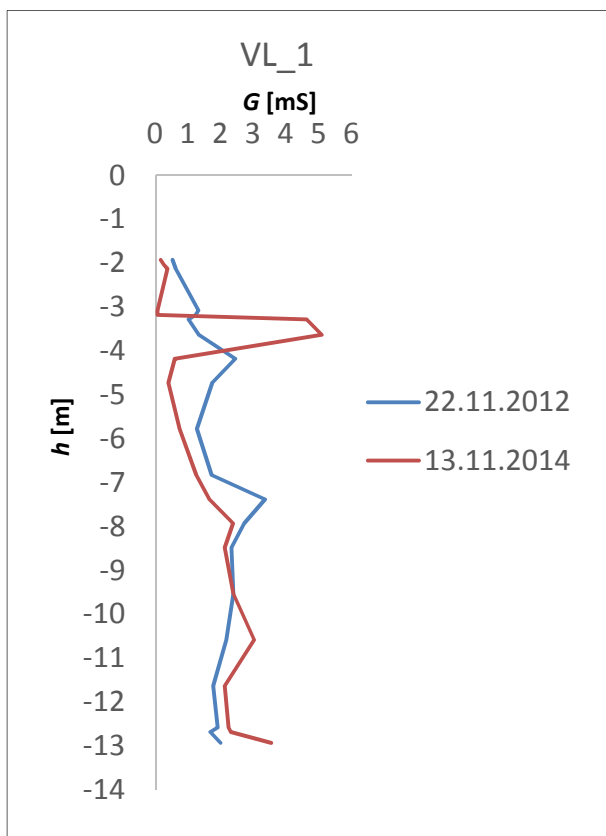
Srpen 2012 a 2014



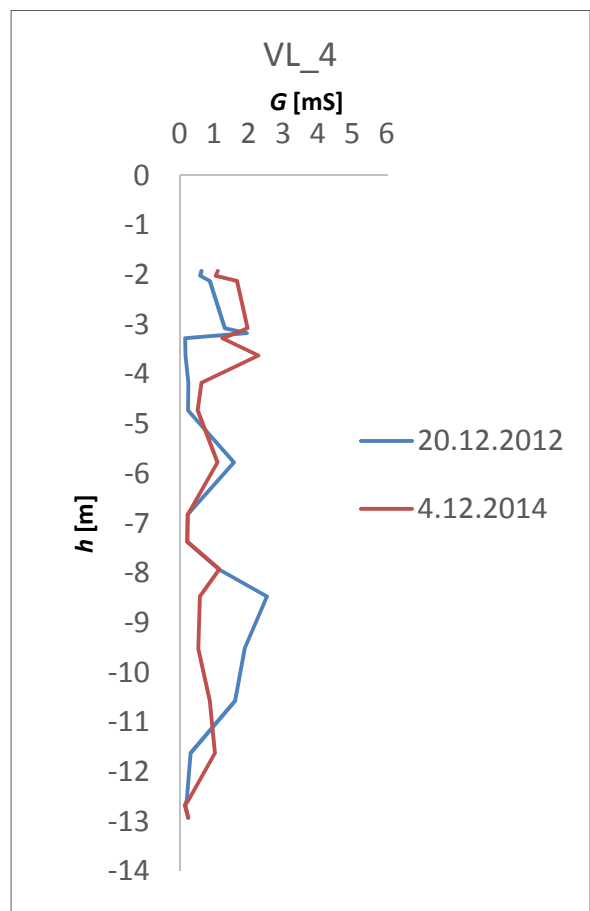
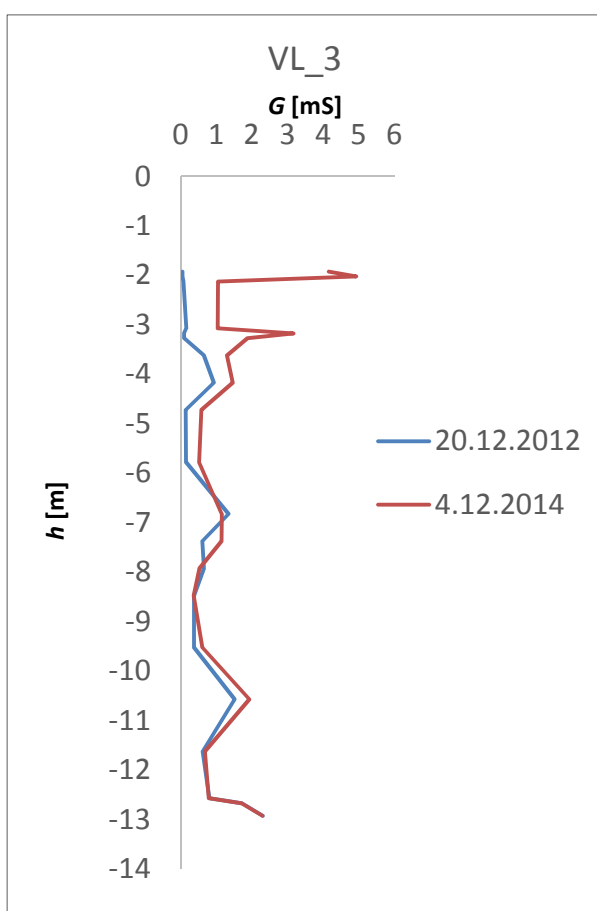
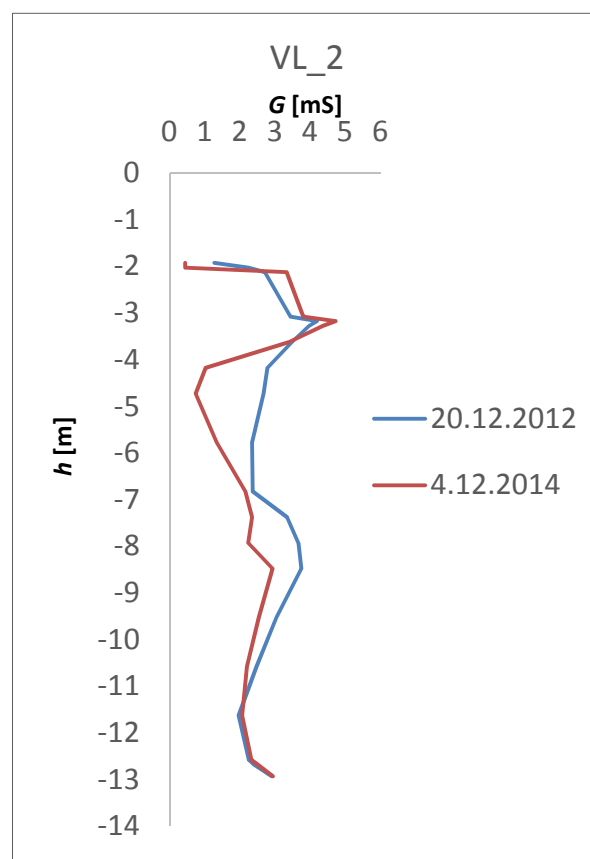
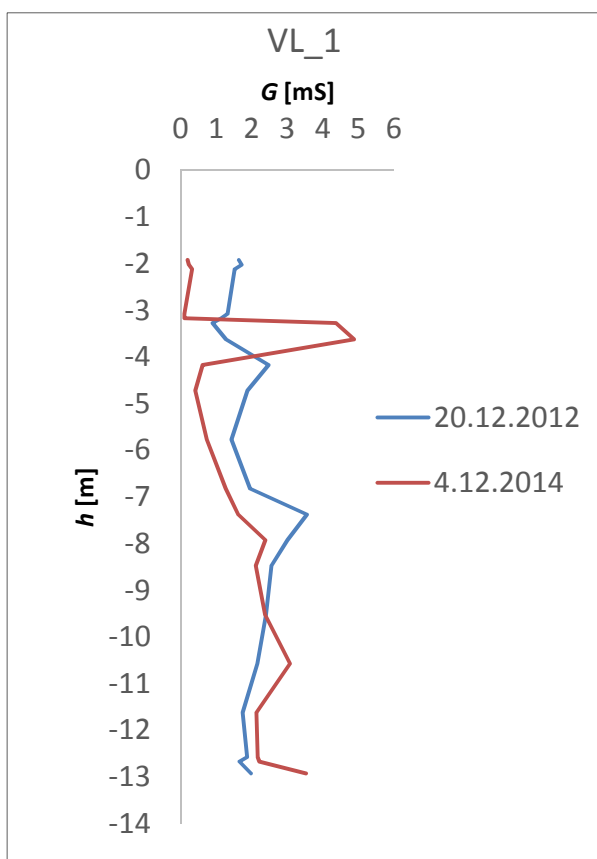
Říjen 2012 a 2014



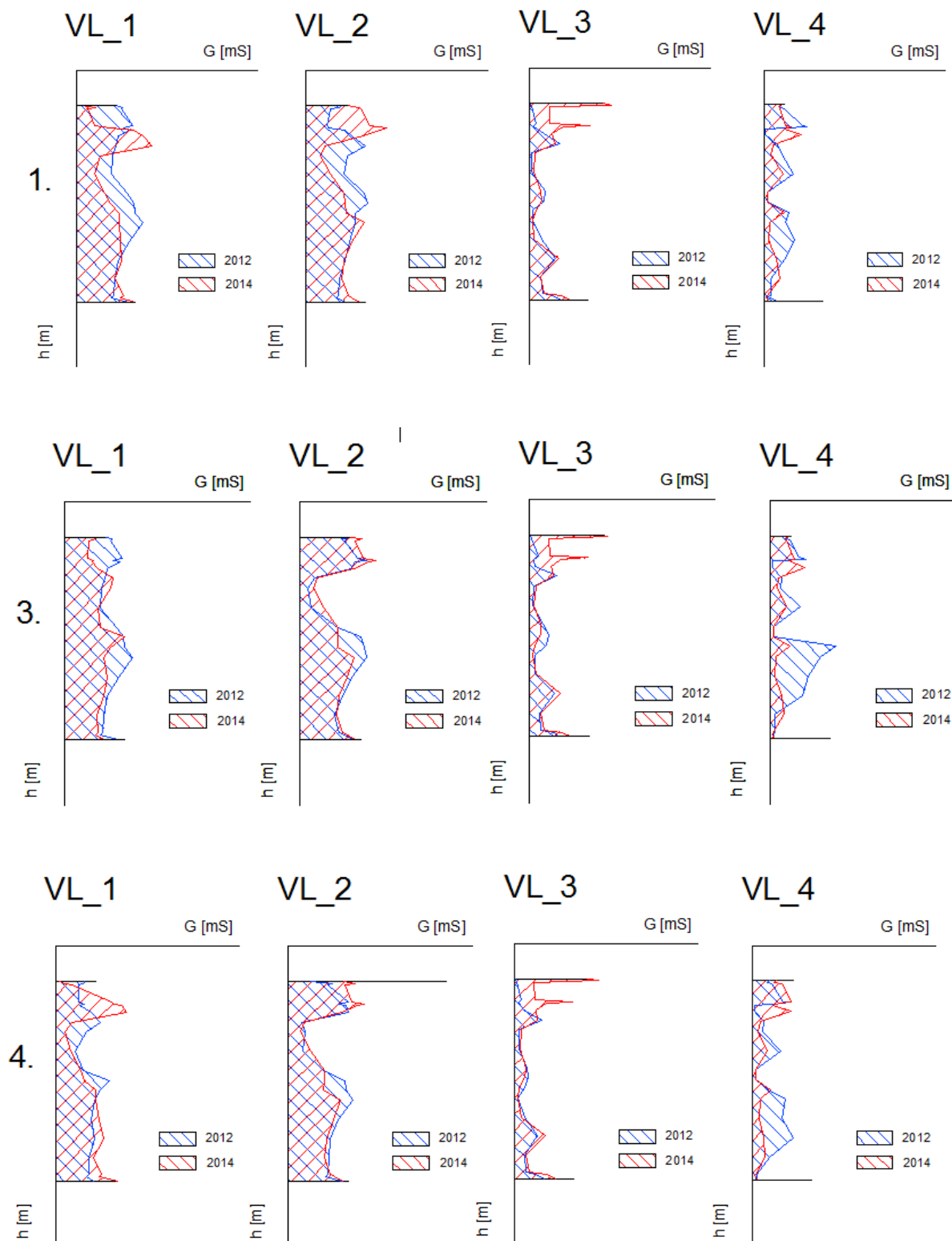
Listopad 2012 a 2014

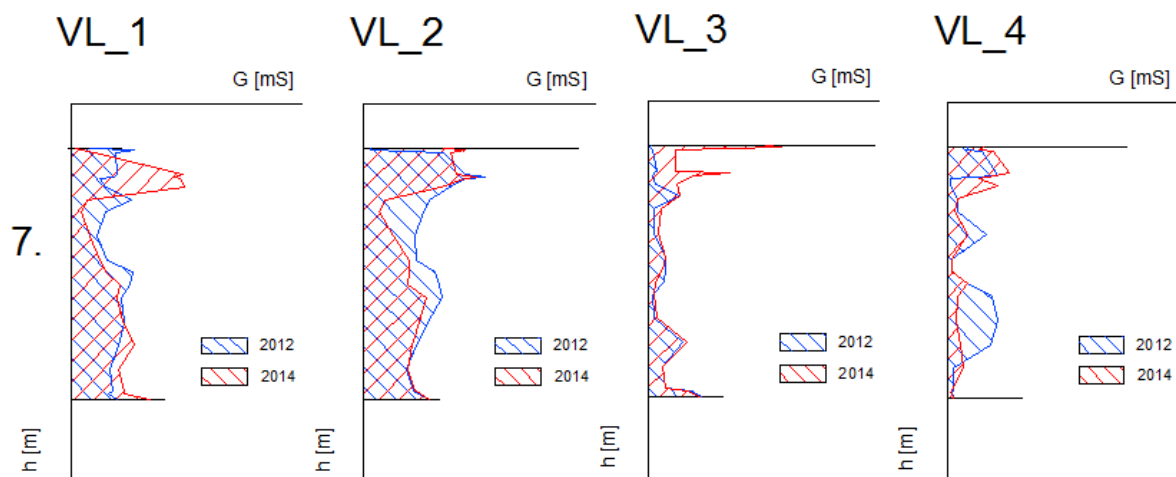
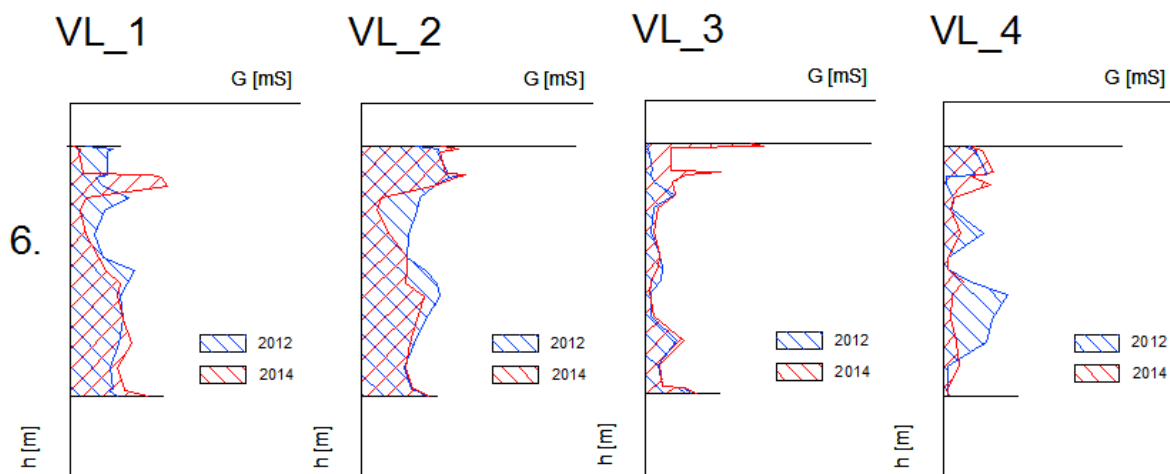
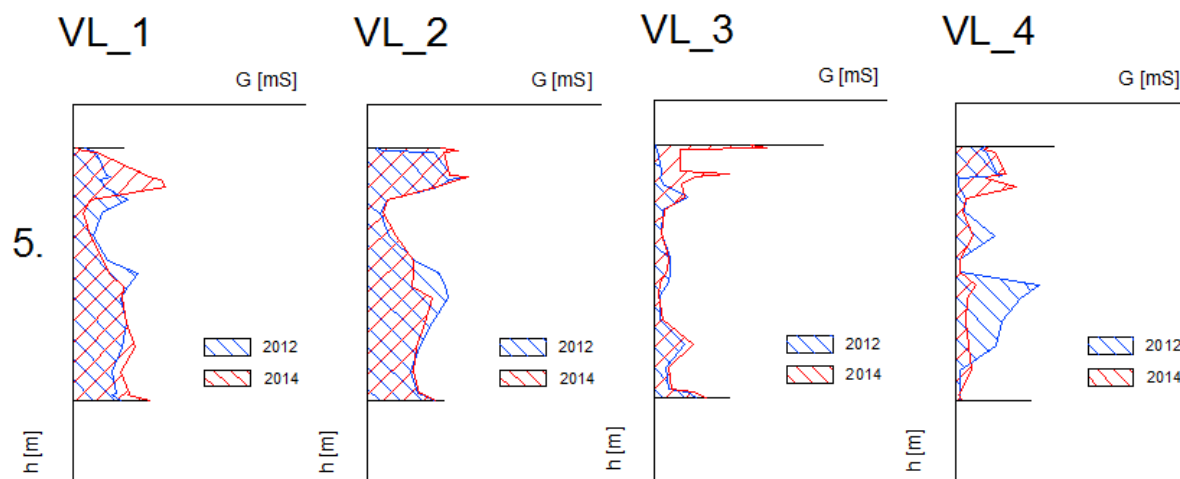


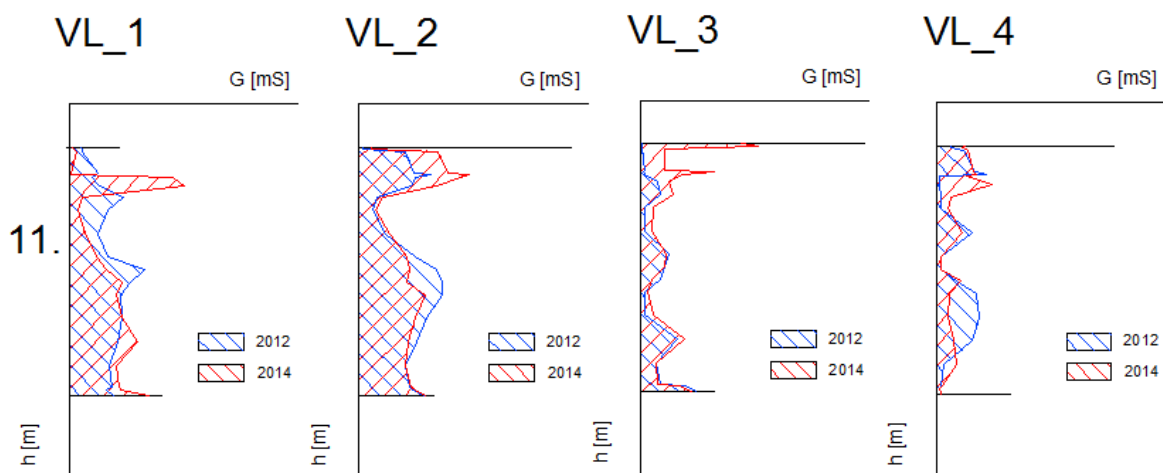
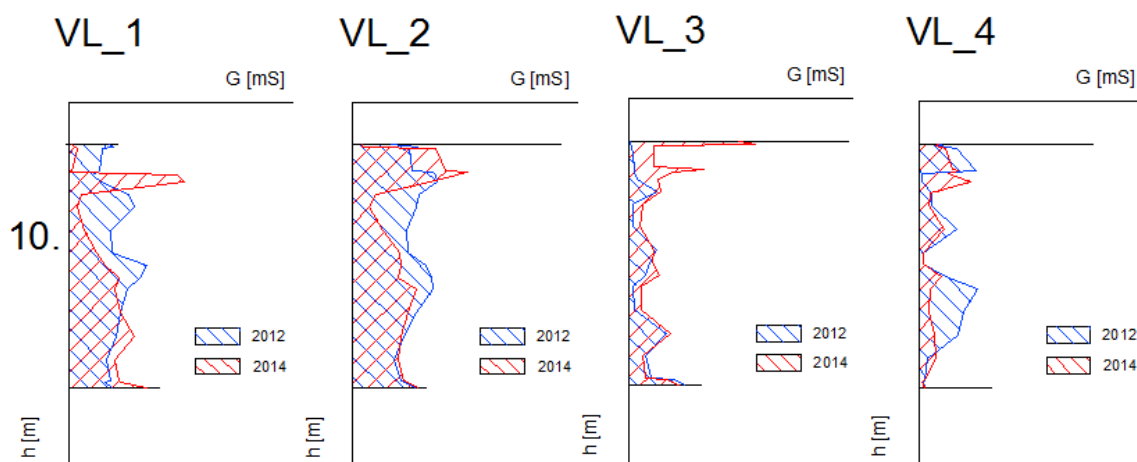
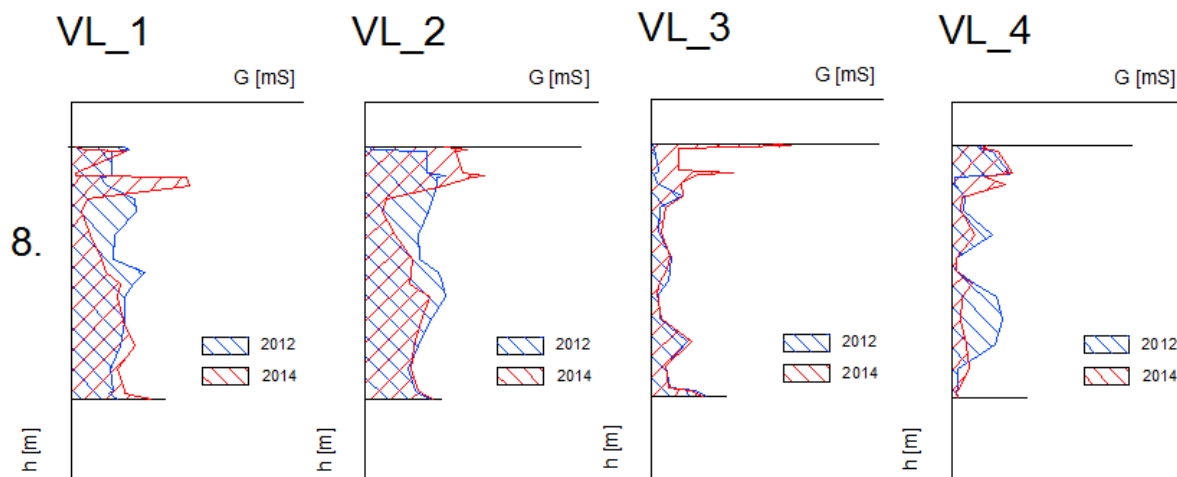
Prosinec 2012 a 2014

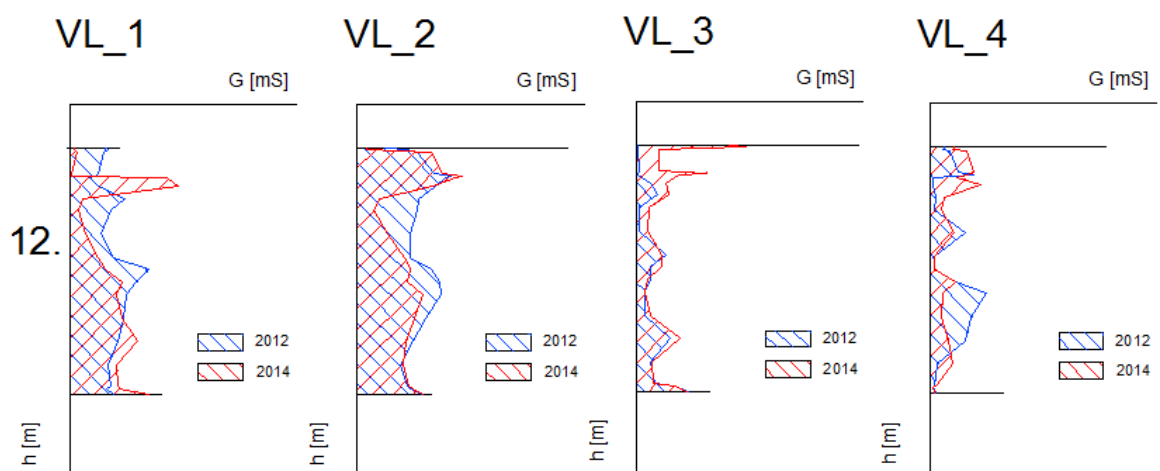


PŘÍLOHA 4 PLOCHY POD KŘIVKAMI ELEKTRICKÝCH VODIVOSTÍ VYNESENÉ V PROGRAMU AUTOCAD









PŘÍLOHA 5 UKÁZKA DAT ZPRACOVANÝCH V PROGRAMU EXCEL

index=č.pozice-č.měření			A je plocha vodiče definovaná délkou elektrody							
VL_4			140102	L je vzdálenost elektrod						
DATUM			02.01.2014	ρ = Rx· (A/L)						
ČAS			11:22:34							
číslo kan	h	L	Rx	Xx	Z	G _{z-1}	Y	ρ [*]	σ _{z-1} [*]	φ
	[m]	[m]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[mS]	[S]	[Ω/m]	[mS/m]	-
19	-1.925	0.15	896.92	-63.14	899.14	1.11	0.00111	5979.47	0.16724	-0.07028
18	-2.025	0.15	1169.24	-77.88	1171.83	0.86	0.00085	7794.93	0.12829	-0.06651
17	-2.125	1.00	1139.02	-104.78	1143.83	0.88	0.00087	1139.02	0.87795	-0.09173
16	-3.075	0.15	812.08	-80.26	816.04	1.23	0.00123	5413.87	0.18471	-0.09851
15	-3.175	0.15	650.68	-39.48	651.88	1.54	0.00153	4337.87	0.23053	-0.0606
14	-3.275	0.40	871.56	-56.8	873.41	1.15	0.00114	2178.9	0.45895	-0.06508
13	-3.625	0.60	476.88	-31.2	477.90	2.10	0.00209	794.8	1.25818	-0.06533
12	-4.175	0.60	1965.16	-327.94	1992.33	0.51	0.0005	3275.27	0.30532	-0.16535
11	-4.725	1.10	2410.34	-345.76	2435.01	0.41	0.00041	2191.22	0.45637	-0.14248
10	-5.775	1.10	942.24	-60.1	944.15	1.06	0.00106	856.582	1.16743	-0.0637
9	-6.825	0.60	4640.2	-4120.86	6205.88	0.22	0.00016	7733.67	0.1293	-0.72619
8	-7.375	0.60	4798.02	-4127.02	6328.77	0.21	0.00016	7996.7	0.12505	-0.71036
7	-7.925	0.60	851.14	-55.16	852.93	1.17	0.00117	1418.57	0.70494	-0.06472
6	-8.475	1.10	2989.9	-10936.62	11337.95	0.33	8.8E-05	2718.09	0.36791	-1.30393
5	-9.525	1.10	3384.54	-10876.56	11390.99	0.30	8.8E-05	3076.85	0.32501	-1.26912
4	-10.575	1.10	1412.96	-127.12	1418.67	0.71	0.0007	1284.51	0.77851	-0.08973
3	-11.625	1.00	1140.7	-102.04	1145.25	0.88	0.00087	1140.7	0.87665	-0.08922
2	-12.575	0.15	4620.44	-3914	6055.40	0.22	0.00017	30802.9	0.03246	-0.70281
1	-12.675	0.25	8266.54	-6164.4	10311.91	0.12	9.7E-05	33066.2	0.03024	-0.64075
0	-12.925	0.15	4224.72	-5168.12	6675.16	0.24	0.00015	28164.8	0.03551	-0.8855
					3656.42					

VL_3										
DATUM										
ČAS										
číslo kan	h	L	Rx	Xx	Z	G _{z-1}	Y	ρ [*]	σ _{z-1} [*]	φ
	[m]	[m]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[mS]	[S]	[Ω/m]	[mS/m]	-
19	-1.925	0.15	244.64	-8.28	244.78	4.09	0.00409	1630.93	0.61315	-0.03383
18	-2.025	0.15	219.22	-6.78	219.32	4.56	0.00456	1461.47	0.68424	-0.03092
17	-2.125	1.00	900.94	-95.28	905.96	1.11	0.0011	900.94	1.10995	-0.10536
16	-3.075	0.15	869.52	-88.54	874.02	1.15	0.00114	5796.8	0.17251	-0.10148
15	-3.175	0.15	292.18	-10.92	292.38	3.42	0.00342	1947.87	0.51338	-0.03736
14	-3.275	0.40	532.52	-25.28	533.12	1.88	0.00188	1331.3	0.75115	-0.04744
13	-3.625	0.60	784.16	-40.98	785.23	1.28	0.00127	1306.93	0.76515	-0.05221
12	-4.175	0.60	697.94	-36.46	698.89	1.43	0.00143	1163.23	0.85967	-0.05219
11	-4.725	1.10	3169.98	-11982.04	12394.28	0.32	8.1E-05	2881.8	0.34701	-1.31216
10	-5.775	1.10	4195.68	-11594.88	12330.65	0.24	8.1E-05	3814.25	0.26217	-1.2236
9	-6.825	0.60	1593.44	-188.38	1604.54	0.63	0.00062	2655.73	0.37654	-0.11768
8	-7.375	0.60	1447.46	-147.12	1454.92	0.69	0.00069	2412.43	0.41452	-0.10129
7	-7.925	0.60	2732.68	-474.72	2773.61	0.37	0.00036	4554.47	0.21956	-0.172
6	-8.475	1.10	5441.84	-2568.78	6017.66	0.18	0.00017	4947.13	0.20214	-0.44103
5	-9.525	1.10	3793.26	-2248.12	4409.41	0.26	0.00023	3448.42	0.28999	-0.53501
4	-10.575	1.10	608.76	-65.68	612.29	1.64	0.00163	553.418	1.80695	-0.10748
3	-11.625	1.00	1560.5	-358.42	1601.13	0.64	0.00062	1560.5	0.64082	-0.22577
2	-12.575	0.15	1243.82	-262.88	1271.30	0.80	0.00079	8292.13	0.1206	-0.20828
1	-12.675	0.25	572.22	-55.88	574.94	1.75	0.00174	2288.88	0.43689	-0.09735
0	-12.925	0.15	441.84	-32.08	443.00	2.26	0.00226	2945.6	0.33949	-0.07248
					2502.07					