# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍCH STAVEB
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES


# VYHODNOCENÍ SANACE HRÁZE VODNÍHO DÍLA HORNICE
EVALUATION OF THE SANATION OF THE EARTH-FILL DAM OF THE HORNICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS


AUTOR PRÁCE
AUTHOR
Štěpánka Králíková

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
doc. Ing. JANA PAŘÍLKOVÁ, CSc.


BRNO 2018

# 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 | Štěpánka Králíková |
| Název | Vyhodnocení sanace hráze vodního díla Hornice |
| Vedoucí práce | doc. Ing. Jana Pařílková, CSc. |
| Datum zadání | 30. 11. 2017 |
| Datum odevzdání | 25. 5. 2018 |

V Brně dne 30. 11. 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

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

## PODKLADY A LITERATURA

BLAUW, M., LAMBERT, J. W. M., LATIL, M. N. (2010). Biosealing: A Method for in situ Sealing of Leakages. In: Ground improvement technologies and case histories, Autor C F Leung; Jian Chu; R F Shen; Geotechnical Society of Singapore. Vydavatel: Singapore: Research Publishing Services, ©2010. ISBN: 9789810831240 9810831242, p. 125-130.

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.

LAMBERT, J., VEENBERGEN, V., VAN DER HOEK, E. AND KARSTENS, S., (2004). Environment BioSealing: How Micro-Organisms Become Our Little Allies in Repairing Leaks. Ingeokring Newsletter, Vol. 11. No. 1, p. 9-12.

LIAO, H. (2005). Experimental study on BioSealing technique for seepage prevention. MSc thesis, UNESCO-IHE Institute for Water Education/GeoDelft, Delft, the Netherlands.

PAŘÍLKOVÁ, J., PAŘÍLEK, L. (2015). Monitoring of the earth-fill dam of the Hornice reservoir by EIS. EUREKA 2015, ISBN 978-80-214-5149-0, ISSN 2464-4595, p. 205-224.

RADKOVSKÝ, K. (2015). Automatic continuous measurement with Z-meter IV. EUREKA 2015. ISBN 978-80-214-5149-0, ISSN 2464-4595, p. 35-38.

RUPP, D., PAZDÍREK, O. (2015). BioSealing – the final report of a pilot project. EUREKA 2015. ISBN 978-80-214-5149-0, ISSN 2464-4595, p. 196-204.

VEENBERGEN, V., (2004). Extensieve herstelmethode voor waterremmende constructies, Deel I: Opzet en ontwerp van het veldexperiment (in Dutch). MSc thesis, GeoDelft, Delft, the Netherlands, (confidential).

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Rešerše podkladů k problematice monitorování zemních hrází se zaměřením na vodní dílo Hornice.

Rešerše podkladů technologie BioSealing a metody elektrické impedanční spektrometrie.

Koncepce a realizace měření na zemní hrázi vodního díla Hornice.

Zpracování vybraných měření. Dokumentace a vyhodnocení měření.

Předpokládaný rozsah práce cca 70 stran textu včetně grafů, tabulek a obrázků.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

## ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá vyhodnocením monitorování a sanačních opatření realizovaných na zemní hrázi vodního díla Hornice. V roce 2014 bylo sledování zahájeno metodou elektrické impedanční spektrometrie (EIS). Monitorování probíhá v programu aplikovaného výzkumu EUREKA a navazuje na projekt E!7614. V rámci výzkumu je sledována i nová metoda sanace průsaků, BioSealing, k jejíž aplikaci má v ČR výhradní právo společnost GEO*test*, a.s. Zpracovaná data, použitá v této práci, jsou měřena přístrojem Z-metr IV a další data jsou poskytnuta společností GEO*test*, a.s.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Malá vodní nádrž, zemní hráz, průsak, elektrická impedanční spektrometrie, BioSealing.

## ABSTRACT

The bachelor thesis deals with evaluation of monitoring and remediation measures implemented on the earth dam of Hornice water structure. In 2014, tracking was initiated using the EIS method. Monitoring is carried out in the EUREKA Applied Research Program and is linked to Project E! 7614. The research is also focused on a new method of seepage remediation, BioSealing. To the application of which in Czech Republic has the exclusive right the company GEO*test*, a.s. The processed data used in this work is measured by Z-meter IV and others data are provided by GEO*test*, a.s.

## KEYWORDS

Small water reservoir, earth dam, seepage, electrical impedance spectrometry, BioSealing.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Štěpánka Králíková *Vyhodnocení sanace hráze vodního díla Hornice.* Brno, 2018. 64 s., 4 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15. 5. 2018

Štěpánka Králíková
autor práce

## PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 15.5.2018

Štěpánka Králíková
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji své vedoucí bakalářské práce paní doc. Ing. Janě Pařílkové, CSc. za odborné vedení, cenné rady při zpracování bakalářské práce a poskytnutí potřebných podkladů k jejímu vypracování; Ing. Zuzaně Műnsterové za konzultace při využívání přístroje Z-metr IV a RNDr. Otakaru Pazdírkovi ze společnosti GEO*test*, a.s. za datové podklady k aplikaci sanační metody BioSealing.

Dále děkuji také své rodině a nejbližším za podporu a stabilní zázemí jak při studiu, tak i při řešení a zpracování bakalářské práce.

Obsah:

1 ÚVOD ..... 1

1.1 Historie ..... 2

1.2 Cíl práce ..... 2

1.3 Metoda řešení ..... 3

2 MALÉ VODNÍ NÁDRŽE ..... 5

2.1 Rozdělení malých vodních nádrží ..... 5
2.1.1 Rozdělení MVN z hlediska funkčního (účelu) ..... 5
2.1.2 Rozdělení MVN z hlediska zásobování vodou ..... 9
2.1.3 Rozdělení MVN z hlediska půdorysného tvaru osy hráze ..... 10

2.2 Zemní hráze malých vodních nádrží ..... 11
2.2.1 Zemní hráze homogenní ..... 12
2.2.2 Zemní hráze nehomogenní ..... 12

2.3 Poruchy zemních hrází malých vodních nádrží ..... 13

3 MONITOROVÁNÍ HRÁZÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ ..... 15

3.1 Geofyzikální metody ..... 15

4 METODA ELEKTRICKÉ IMPEDANČNÍ SPEKTROMETRE ..... 17

4.1 Princip měření ..... 17

4.2 Přístroj Z-Metr IV ..... 18

5 ZPŮSOB SANACE ZEMNÍCH HRÁZÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ TECHNOLOGIÍ BIOSEALING ..... 21

5.1 BioSealing ..... 21

5.2 Princip metody BioSealing ..... 21

5.3 Aplikace a použití ..... 22

6 VODNÍ DÍLO HORNICE ..... 24

6.1 Základní informace o vodním díle ..... 24

6.2 Technický popis díla ..... 25

7 MONITOROVÁNÍ VODNÍHO DÍLA HORNICE ..... 27

7.1 Využití metody EIS na VD Hornice ..... 28

8 APLIKACE METODY BIOSEALING ..... 30

8.1 První etapa aplikace ..... 31
8.1.1 Výsledky první etapy ..... 33

8.2 Druhá etapa aplikace ..... 38
8.2.1 Výsledky druhé etapy ..... 38

9 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY Z ROKU 2017 A 2018 ..... 45

9.1 Vyhodnocení výsledků ..... 45
9.1.1 Průběh změny hladiny vody v nádrži ..... 45
9.1.2 Průběh hodnot rezistance *R* ..... 47
9.1.3 Průběhy rezistance *R* a reaktance *X* ..... 49
9.1.4 Průměrné denní hodnoty sledovaných parametrů ..... 51

9.2 Souhrnné zhodnocení sledovaných parametrů ..... 53

10 ZÁVĚR ..... 57

Seznam použité literatury ..... 59
Další využité zdroje ..... 60
Seznam obrázků ..... 61
Seznam tabulek ..... 63
Seznam zkratek ..... 63
Seznam veličin ..... 64
Seznam příloh ..... 64

Příloha 1 Celková situace VD Hornice na formátu A3
Příloha 2 Příklad postupu zpracování dat ..... 65

# 1 ÚVOD

Již v dávných dobách lidé věděli, že voda je jednou ze základních látek, bez nichž by jejich život na Zemi nebyl možný. Voda výrazně ovlivňuje podmínky života na planetě Zemi, který může být zachován jen při vhodném užívání vodních zdrojů. V podmínkách České republiky (ČR) je to otázka o to naléhavější, že prakticky všechny významnější vodní toky v ČR odvádějí vodu za její hranice na území sousedních států. Důsledkem je skutečnost, že vodní zdroje ČR jsou prakticky závislé na množství a rozdělení atmosférických srážek, tedy na zadržení a akumulaci vody na území ČR. V kontextu diskutovaných měnících se klimatických podmínek jsou atmosférické srážky velmi rozdílných intenzit. V posledních letech se navíc zvyšují pravděpodobnosti výskytu suchých epizod. Téma ochrany před následky povodní, sucha a nedostatku vody je součástí společných jednání na tuzemských i mezinárodních úrovních. Přístup k řešení uvedených otázek však může být odlišný, neboť vychází z podmínek aktuálních v daném povodí.

Retence a akumulace vody v krajině pro zlepšení podmínek jejího užívání, pro snižování dopadů hydrologických extrémů i vzhledem k úkolům vodního hospodářství a ochrany životního prostředí je proto v současnosti prvořadým cílem společnosti. Skutečností je, že každý obyvatel ČR je významným uživatelem jejích vodních zdrojů a je třeba nést za ně odpovědnost. Bohužel, lidé si obvykle neuvědomují ani význam a hodnotu tohoto nenahraditelného přírodního bohatství pro každodenní život, ani rozsah činností a finančních nákladů, které s touto „samozřejmostí" souvisejí.

Jedním ze způsobů, jak zadržet vodu v krajině je i výstavba vodních nádrží (VN). Už od prvního přehrazení vodního toku lidé vždy používali materiály dostupné v jeho okolí. Na základě svých zkušeností s budováním VN se postupně přesvědčili, že musí řešit nejen otázky spojené s výstavbou uvedené příčné překážky ve vodním toku, ale i s jejím bezpečným provozováním. Došli k poznání, že výstavbou VN vzniká i potenciální nebezpečí spojené s jeho možnou poruchou a že každé vodohospodářské dílo je jen tak spolehlivé, účinné a bezpečné, jak spolehlivý, účinný a bezpečný je jeho nejslabší prvek. Zmíněným prvkem v případě VN mohou být zemní hráze a nezastupitelnou úlohu v oblasti jejich bezpečného provozu má monitorování.

Ve své práci se věnuji konstrukci zemní hráze malé vodní nádrže vybudované u obce Hornice a monitorování vybraných jevů souvisejících s jejím provozem.

## 1.1 HISTORIE

První písemné záznamy o zakládání rybníků a o rybničním hospodaření v českých zemích jsou z 11. a 12. století [1]. Nejstarší rybníky patřily klášterům. Hlavní chovnou rybou byl kapr, který se postupně stal velmi žádaným zbožím. Vedle klášterů byly rybníky ve 13. století i součástí feudálních panství, doba od poloviny 14. století pak už je počínající etapou výrazného rozvoje rybníkářství. Císař Karel IV. podporoval výstavbu rybníků, zdokonalila se jejich stavební technologie, rybníkáři se pouštěli i do budování rozlehlých nádrží, což dokladují např. historické rybníky Dvořiště, Holná či Velký rybník u Doks (dnešní Máchovo jezero) [1].

Za vrchol a tzv. Zlatý věk rybníkářství se považuje doba od konce 15. století, kdy působil Vilém z Pernštejna, který začal budovat rybníky a vytvořil první ucelenou soustavu rybníků v jižních Čechách. Rozvoj rybníkářství pokračuje po celé 16. století, kdy docházelo k rapidnímu nárůstu sítí rybníků po celém území Čech, Moravy a Slezska [2]. Za nejvýznamnější osobnosti doby lze považovat Štěpánka Netolického, který působil na třeboňsku [2], k jehož nejvýznamnějším dílům patří Zlatá stoka, a Jakuba Krčína z Jelčan, k jehož nejvýznamnějším počinům patří stavba rybníků Rožmberk a Svět a vybudování umělého kanálu Nová řeka [2].

Doba 17. a 18. století přinesla do rybníkářství vlnu stagnace, a to především vlivem Třicetileté války, kdy armáda mnohé rybníky vypustila, anebo zcela zničila. Započaté rušení rybníků pokračovalo až do poloviny 19. století. Znovuzrození rybníkářství započalo opět v druhé polovině 19. století a 20. století, kdy se řada rybníků dočkala rekonstrukcí. V současnosti malé vodní nádrže (MVN), plní účelové funkce a působí jako krajinotvorné prvky nebo jsou součástí biocenter (Vrána a Beran, 2008).

V České republice existuje kolem 20 000 MVN [3]. Jsou rozmístěny v různých morfologických, klimatických a hydrologických podmínkách. Největší koncentrace nejvýznamnějších rybníků je zejména v jižních, ale i ve středních a východních Čechách a v některých částech Moravy. Hráze a funkční objekty vodních děl, od jejichž výstavby uběhlo většinou několik staletí, jsou v různém technickém stavu se stále se zlepšující tendencí v důsledku probíhajících oprav a lepší údržby [3].

## 1.2 CÍL PRÁCE

Předmětem bakalářské práce je zpracovat měření a zhodnotit dosažené výsledky monitorování zemní hráze vodního díla Hornice. Na vzdušné straně zemní hráze byla pozorována výronová plocha, jejíž vývoj by mohl vést k nestabilitě

s případnými katastrofickými důsledky v případě protržení zemní hráze. Sanační opatření a monitorování v předmětném úseku hráze bylo zahájeno na podzim roku 2014 v rámci řešení projektu realizovaného v programu Inovace MPO, Inovační projekt – Výzva IV. – II. Prodloužení [6] a projektu mezinárodního programu aplikovaného výzkumu EUREKA. Záměrem projektů bylo zavést novou technologii zamezující průsakům a únikům vody tělesy zemních hrází s využitím licenčně zakoupené technologie označené jako BioSealing. Uvedenou technologii zakoupila společnost GEO*test*, a.s., která k ní má v ČR výhradní právo užívání a poprvé ji ověřovala při sanaci zemní hráze MVN u obce Hornice. Pro monitorování změn obsahu vody v zemní hrázi byla, mimo jiných metod a zařízení, využita nepřímá měřicí metoda elektrické impedanční spektrometrie (EIS) a nově realizovaná měřicí aparatura s přístrojem Z-metr IV. Ověření uvedené měřicí aparatury společností GEO*test*, a.s. bylo realizováno z důvodu, že je hlavním řešitelem projektu E!7614 v programu EUREKA pro Českou republiku.

Cílem mé bakalářské práce je na základě naměřených dat vyhodnotit sanaci zemní hráze vodního díla Hornice realizovanou metodou BioSealing s ohledem na skutečnost, že se jednalo o její první aplikaci na území České republiky. Ke splnění požadovaného cíle jsem využila data z instalovaných měřicích zařízení včetně průběhů stanovených metodou EIS a dále dostupná data ze srážkoměrných stanic ČHMÚ – kraj Vysočina, stanice Jemnice a Moravské Budějovice [4].

## 1.3 METODA ŘEŠENÍ

V souladu se zadáním bakalářské práce a po následujících konzultacích jsem si pro splnění vytyčeného cíle vymezila provedení následujících činností:

- rešerše dostupné literatury k problematice zemních hrází MVN,
- rešerše materiálů k metodě BioSealing se zaměřením na princip metody, její možnosti a realizované aplikace,
- rešerše literatury zabývající se nepřímou měřicí metodou elektrické impedanční spektrometrie (princip měření, měřicí aparatura s přístrojem Z-metr IV),
- konzultace ve společnosti GEO*test*, a.s. s cílem získání podkladů k aktivitám realizovaným na zemní hrázi MVN Hornice,
- shrnutí dat a výsledků dosažených v letech 2015, 2016 a části roku 2017,

- zpracování měřených dat z části roku 2017 do dubna 2018,

- korelace měřených veličin z hlediska jejich krátkodobého měření i dlouhodobého monitorování s cílem vyhodnocení realizovaných sanačních opatření.

# 2 MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

Termín „Malá vodní nádrž“ je dle ČSN 75 2410 – Malé vodní nádrže definován jako nádrž, která splňuje následující podmínky: její objem po hladinu ovladatelného prostoru (normální hladinu) není větší než 2 mil. $m^3$, největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m [5].

Největší hloubkou nádrže se rozumí největší vzdálenost dna nádrže od maximální hladiny vody v nádrži, přičemž se neuvažují místní možné prolákliny ve dně nádrže, hloubka koryta napájecího toku apod. (Šálek, 1996).

Hlavní účel MVN se dá obecně vyložit jako omezený prostor k zachycení a hromadění vody pro její pozdější využití, k ochraně prostoru pod nádrží ohrázováním části území a umělým vytvořením vodního prostředí (Veselý, 2004).

## 2.1 ROZDĚLENÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Podle ČSN 75 2410 se MVN dělí podle různých parametrů, a to například z hlediska funkčního (účelu), dle zásobení vodou, dle tvaru osy hráze, dle umístění apod. Dalším z možných způsobů dělení MVN je např. akceptování hlediska krajinného a ekologického. Uvedené způsoby dělení MVN však v praxi nejsou časté.

### 2.1.1 Rozdělení MVN z hlediska funkčního (účelu)

Z funkčního hlediska se MVN dělí na zásobní, upravující vlastnosti vody (čistící nádrže), rybochovné, ochranné = retenční, speciální účelové (provozní), asanační, rekreační, na ochranu bioty, hospodářské, krajinotvorné a v obytné zástavbě. Obecně lze konstatovat, že žádná MVN není jednoúčelová, prakticky u všech nádrží se uplatňují dvě nebo více funkcí, z nichž zpravidla jedna je prioritní (Šálek, 1996).

***Zásobní nádrže***

Zásobní nádrže akumulují vodu ve svém zásobním prostoru v období, kdy je vody nadbytek a tím vytváří možnost využívání nahromaděné vody v období, kdy je jí nedostatek. Do uvedené skupiny náleží nádrže:

a) vodárenské – určené k zásobování obyvatelstva, zemědělství, služeb pitnou a užitkovou vodou,
b) průmyslové – k zásobování průmyslových závodů užitkovou a provozní vodou,
c) závlahové – k zásobě vody pro závlahu zemědělských plodin, lesních dřevin, městské zeleně,

d) **energetické** – zásoba vody pro energetické využití ve vodních elektrárnách,
e) **kompenzační** – pro zabezpečení požadovaných průtoků, případně jakosti vody ve vodním toku pod nádrží,
f) **zálohové** – zásoba vody určená pro případ selhání dodávky vody z hlavního zdroje,
g) **retardační** – odvodňovací nádrž sloužící k zachycení, úpravě a využití vody nárazové odtékající z odvodňovacích soustav,
h) **aktivizační** – využívají zásobu vody pro aktivizaci a zrovnoměrnění odtoků a infiltraci ke zvýšení zásob podzemní vody v pramenných oblastech povodí, např.: suchá nádrž.

### *Nádrže upravující vlastnosti vody (čistící nádrže)*

Čisticí nádrže slouží k řízené úpravě vody, změně fyzikálních, biologických a chemických vlastností (Šálek, 1996). Při čistění vody se využívají především přírodní způsoby čištění, které probíhají ve vodním prostředí.

a) **chladící –** ploché nádrže určené k ochlazování oteplených vod z průmyslových a energetických zařízení,
b) **předehřívací –** mělké a ploché nádrže, které využívají sluneční záření k ohřevu především chladné podzemní vody,
c) **usazovací –** k zachycení splavenin z povodí procesem sedimentace,
d) **aerobní biologické** – převažují aerobní čistící procesy, k čištění znečistěných povrchových a odpadních vod,
e) **anaerobní biologické** – převažuje anaerobní čistící proces, k čistění odpadních vod,
f) **dočišťovací biologické** – nádrže rybničního typu s rybí obsádkou upravené k dočištění mechanicko-biologicky čištěných odpadních vod.

### *Rybochovné nádrže*

Rybochovné nádrže jsou určené pro chov ryb, s možností úplného a pravidelného vypouštění (Šálek, 1996). Je zde vytvořeno optimální prostředí pro vývoj a život ryb. Uvedené nádrže lze dělit na:

a) **výtěrové** – speciální travnaté nádrže určené k výtěru ryb,
b) **třecí** – malé mělké nádrže k hromadnému výtěru ryb a následný odchov plůdku,
c) **plůdkové** – k odchovu rybích plůdků,
d) **komorové** – k přezimování ryb,
e) **hlavní** – k odchovu tržních ryb,

f) **karanténní** – malé nádrže k dočasné izolaci ryb podezřelých z onemocnění,
g) **sádky** – speciální nádrže ke krátkodobému přechovávání ryb.

### *Ochranné = retenční nádrže*

Ochranné nádrže zachycují povodňové průtoky, transformují povodňovou vlnu a chrání částečně nebo úplně území, respektive objekty před negativními účinky velkých vod (Šálek, 1996). Zpravidla se jedná o následující nádrže:

a) **suché retenční = poldry** – vytvářejí vymezený ochranný prostor, který se plní při průchodu povodňových vod a po průchodu se opět řízeně vyprazdňují. Plochy dna v nádrži se zpravidla využívají jako louky, zemědělské plochy či pro lesnické účely.
b) **protierozní** – plní více protierozních funkcí, snižují podélný sklon údolí, zachycují splaveniny, zvyšují půdní vlhkost v přilehlých oblastech, vytváří podmínky pro vývoj vegetace a také napomáhají infiltraci do podzemních vod,
c) **dešťové** – k zachycení dešťových vod, krátkodobé akumulaci a dalšímu využití,
d) **vsakovací = infiltrační** – k převedení srážkových vod vsakem do podzemních vod,
e) **nárazové** – k vyrovnání vln z nárazových průtoků ve vzdálených profilech při řízení průtoku kompenzační nádrží.

### *Speciální účelové (provozní) nádrže*

Speciální nádrže jsou různého typu a uspořádání, pro konkrétní provozní potřeby a účely. Patří sem například nádrže:

a) **recirkulační** – pravidelné těsněné a opevněné nádrže, umožňují recirkulaci v rámci průmyslového závodu,
b) **vyrovnávací** – ke krátkodobému vyrovnání nerovnoměrnosti mezi přítokem a odběrem (odtokem) vody, například v závlahové síti, pod vodními elektrárnami se špičkovým provozem a jiné,
c) **přečerpávací** – umělé vodní nádrže, převážně mimo vodní tok, určené k akumulaci potenciální energie vody, k přečerpávání vody u čerpacích stanic.

### *Asanační nádrže*

Asanační nádrže slouží k asanaci zaplavením území narušeného lidskou činností, k zachycení a uskladnění látek poškozující životní prostředí (Šálek, 1996). Je možné je rozdělit na nádrže:

a) **záchytné** – k zachycení škodlivých látek při úniku, v případě havárie, s možností jejich odstranění a likvidace,
b) **skladovací** – ke skladování kapalin, tekutých materiálů, jejich následné využívání případně zneškodnění,
c) **otevřené vyhnívací** – opevněné a těsněné prizmatické nádrže k uskladnění a anaerobnímu vyhnívání kalu, kejdy a jiných látek,
d) **laguny** – k dočasnému skladování tekutých materiálů a úpravě jejich fyzikálních vlastností.

### *Rekreační nádrže*

Rekreační nádrže jsou určeny k odpočinku, plavání a provozování vodních sportů, doplněné speciálním vybavením, upraveným přístupem do vody anebo specifickou úpravou okolí dané nádrže (Šálek, 1996).

### *Nádrže na ochranu bioty*

Nádrže na ochranu bioty zajišťují optimální životní podmínky zejména pro chráněnou flóru a faunu.

### *Hospodářské nádrže*

Hospodářské nádrže jsou budovány za účelem konkrétní hospodářské funkce. Patří sem například nádrže:

a) **protipožární** – zásoba vody požadované jakosti pro možnosti hašení požáru,
b) **pro chov vodní drůbeže** – vodní nádrže rybničního typu určené pro chov kachen a hus,
c) **pro pěstování vodních rostlin.**

### *Nádrže krajinotvorné a nádrže v obytné zástavbě*

Nádrže krajinotvorné a nádrže v obytné zástavbě slouží ke zvýšení estetického účinku krajiny, sídliště, architektury, parků a jiné. Konstrukčně a tvarově rozmanitá uspořádání nádrží s různým vybavením (Šálek, 1996) lze rozdělit na nádrže:

a) **hydromeliorační** – napomáhají optimalizovat vlhkostní poměry v krajině a zvyšující zásoby podzemní vody,
b) **okrasné** – víceúčelové, upravené nádrže, které plní estetický účel,

c) **návesní rybníčky** – speciální víceúčeloví nádrže plnící funkci okrasnou, protipožární apod.,
d) **umělé mokřady** – ke zvýšení vlhkostních poměrů, úpravě jakosti vody, regulaci odtoku vody a součást biocenter.

### 2.1.2 Rozdělení MVN z hlediska zásobování vodou

Z hlediska zásobování vodou se nádrže zpravidla rozdělují do tří skupin na průtočné, obtokové a boční (Vrána a Beran, 1998).

#### *Průtočné nádrže*

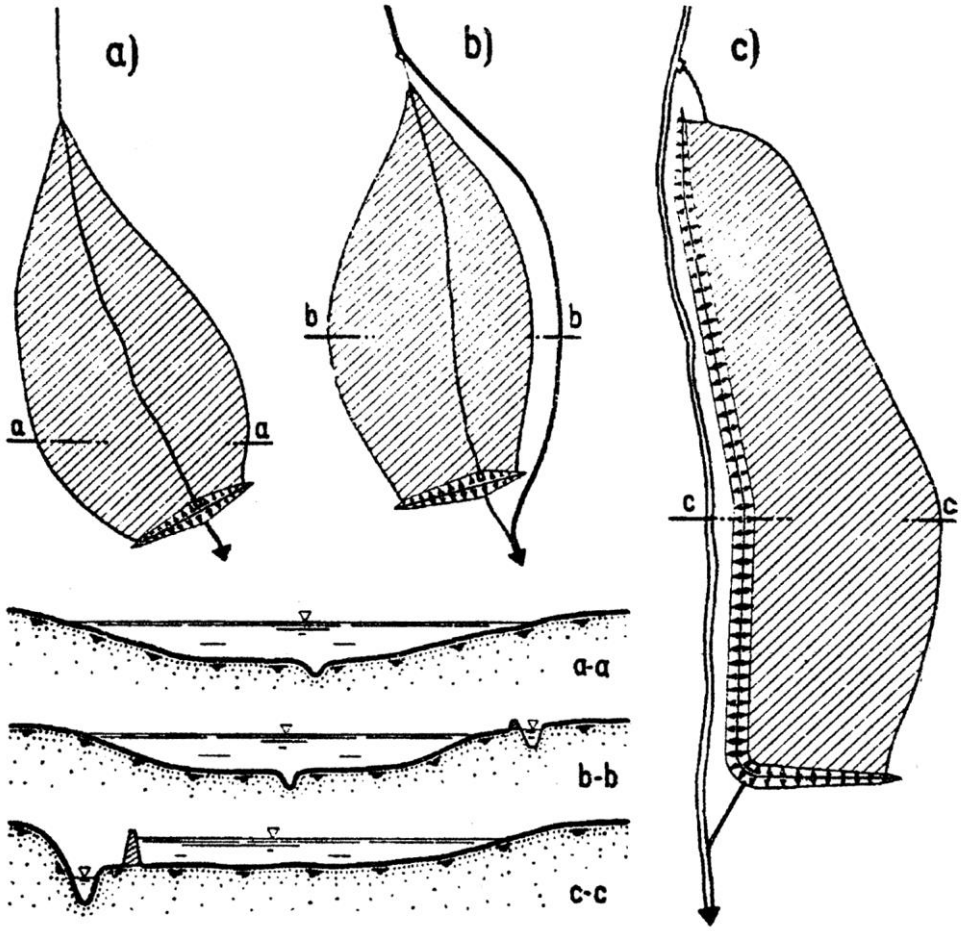
Průtočné nádrže se budují na tocích, kde akumulace vody vznikne přehrazením toku příčnou stavbou. Hráz může být i relativně malých rozměrů, z čehož plyne značná výhoda, neboť je potřeba méně materiálu na její výstavbu. Přítok do nádrže je dotován odtokem vody z povodí až ke konkrétnímu přehrazenému profilu. Nevýhodou je nutnost průchodu veškeré vody celým prostorem nádrže (Vrána a Beran, 1998). (Obr.2.1a)

#### *Obtokové nádrže*

Obtokové nádrže vznikají přehrazením údolí čelní nádrží, jen s tím rozdílem, že podél nádrže protéká uměle vytvořený obtokový kanál, kterým se vede voda při prázdnění nádrže např. při výlovu ryb. Záleží na kapacitě obtokového kanálu, který se při vyšších kapacitách dá využít i v období povodní pro převedení části vody (Vrána a Beran, 1998). (Obr.2.1b)

#### *Boční nádrže*

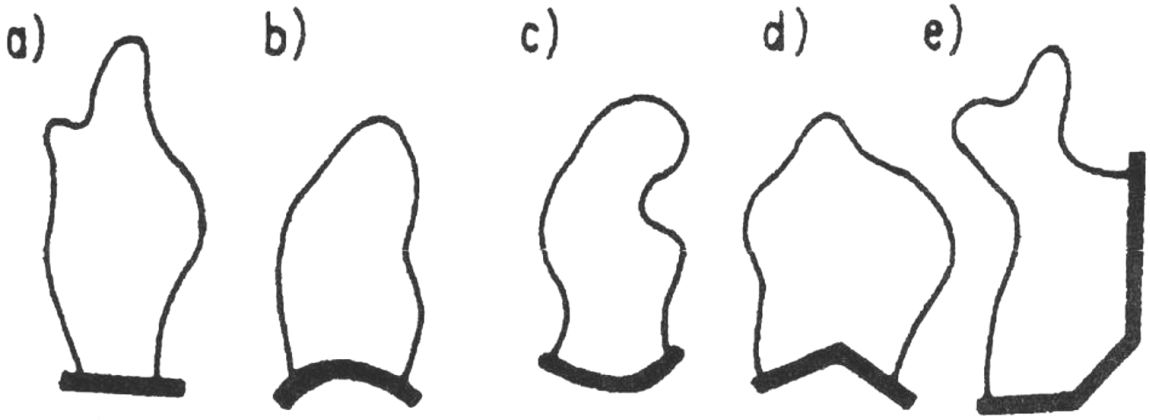
V případě boční nádrže boční hráz odděluje nádržní prostor toku. Nádrže jsou zásadně neprůtočné. Podle náročnosti terénu lze boční hráze navrhnout jen na jedné straně nádrže nebo po dvou či třech stranách (Vrána a Beran, 1998). (Obr.2.1c)




Obr. 2.1 – Dělení MVN z hlediska zásobování vodou a) průtočná, b) obtoková, c) boční (Vrána a Beran, 1998)

### 2.1.3 Rozdělení MVN z hlediska půdorysného tvaru osy hráze

Dle ČSN 75 2410 jsou hráze MVN přímé, zakřivené nebo lomené. (Obr.2.2)




Obr.2.2 – Půdorysný tvar hrází MVN a) čelní přímá, b) čelní vypouklá, c) čelní vydutá, d) čelní lomená, e) nepravidelná (Vrána a Beran, 1998)

## 2.2 ZEMNÍ HRÁZE MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Tělesa hrází MVN se navrhují převážně ze zemních materiálů. Nesporná výhoda je v tom, že se pro konstrukci hráze mohou využít místní zemní materiály, jejichž výhodou je snadné přizpůsobení se základovým podmínkám a také v možnosti využití vysoké mechanizace provádění (Žatecký, 2013).

Výběr vhodného materiálu pro stavbu zemní hráze se provádí na základě výsledků inženýrsko-geologického průzkumu, jehož úkolem je nalézt vhodnou zeminu pro výstavbu hráze v blízkosti plánované výstavby MVN, určit její vlastnosti, objem zeminy, hladinu podzemní vody apod. (Vrána a Beran, 1998).

Tvar zemní hráze je v příčném řezu nepravidelný lichoběžník s odlišným sklonem na návodním 1:x a vzdušném líci 1:y hráze (Tab.2.1). Sklon svahů je volen dle druhu zeminy určené pro výstavbu hráze a také závisí na výšce hráze. Výška zemní hráze bývá dána výškou vzdutí hladiny vody v nádrži, které je potřeba docílit, zvětšená o 0,6 m – 1,1 m nad nejvyšší hladinu vody v nádrži.

Je možné budovat zemní hráze homogenní a nehomogenní. Zatřídění zemin a jejich vhodnost pro výstavbu zemních hrází MVN určuje ČSN 75 2310 – Sypané hráze, z níž zatřídění přejímá také ČSN 75 2410 – Malé vodní nádrže.

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

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

[1] U velmi propustného materiálu, popř. se zřetelem k rychlosti poklesu hladiny, je možné zvětšit až na 1 : 2,25.

[2] Je-li v podloží hráze materiál o smykové pevnosti min. $\varphi_{ef}$ = 37°, je možné zvětšit na 1 : 1,8.

[3] Je-li v podloží hráze materiál o smykové pevnosti min. $\varphi_{ef}$ = 37°, je možné zvětšit na 1 : 2.

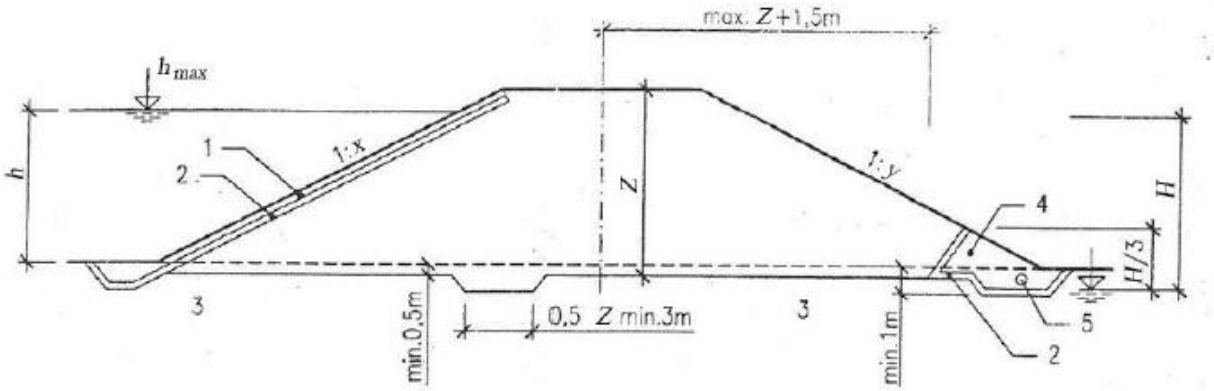
[4] Uvedený sklon pro návodní svah se použije pod nejvyšší dlouhodobě udržovanou hladinou, nad touto hladinou se může svah provést se sklonem 1 : ( x – 0,5).

[5] U hrází do výšky 4 m se může sklon návodního svahu zvětšit na 1 : (x – 0,5).

### 2.2.1 Zemní hráze homogenní

Těleso homogenní zemní hráze MVN je tvořeno celé jen jedním vhodným materiálem, který je dostatečně nepropustný a konstrukčně stálý. Doporučená výška homogenní zemní hráze je do 6,0 m (ČSN 75 2410).

Nejvhodnějším materiálem jsou písčité hlíny až hlinitojílovité písky. Nevhodné jsou jílovité zeminy, které jsou namrzavé a objemově nestálé. Homogenní zemní hráze jsou jednoduché z hlediska stavebního a výhodné, pokud je poblíž dostatečné množství vhodné zeminy (Vrána a Beran, 1998).



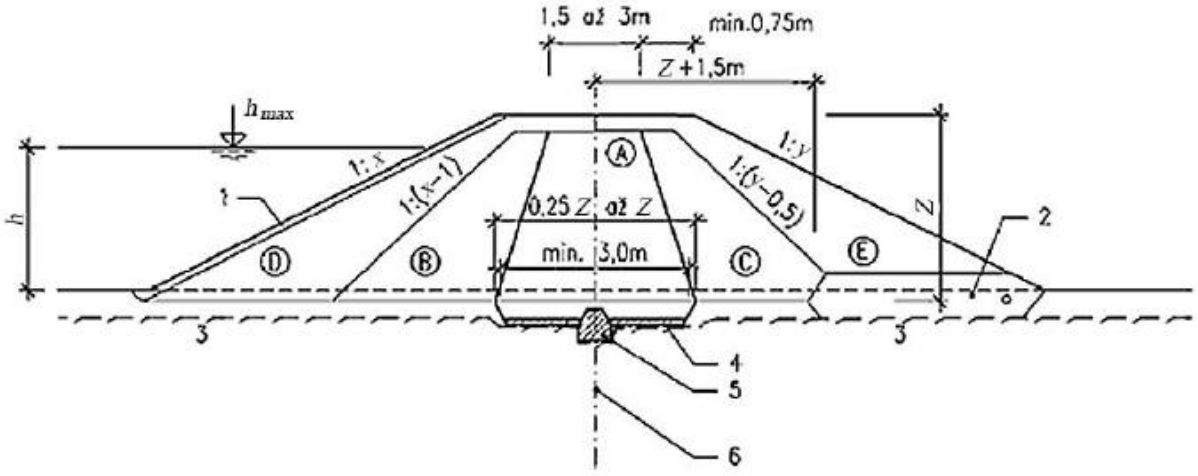

Obr.2.3 – Schéma homogenní hráze (ČSN 75 2410) 1 - opevnění, 2 - filtr, 3 - nepropustné podloží, 4 - patní drén, 5 - drenážní potrubí

### 2.2.2 Zemní hráze nehomogenní

Těleso nehomogenní zemní hráze MVN je složeno ze dvou a více různých druhů zemin. Hráz je tvořena těsnicím jádrem, přechodovými stabilizačními zónami a propustnou stabilizační částí (ČSN 75 2410).

Podle druhu použitého materiálu a jeho dostupného množství mohou být některé zóny vypuštěny. Podle polohy těsnicího prvku v tělese hráze se rozeznávají hráze se středním (jádrovým) těsněním a hráze s návodním těsněním (Vrána a Beran, 1998).

Vhodnost zemin pro stavbu různých zón hrází ČSN 75 2410 je uvedeno v Tab.2.2.




**Obr.2.4 – Schéma nehomogenní hráze (ČSN 75 2410)** 1 - opevnění, 2 – drenážní prvek, 3 – nepropustné skalní podloží, 4 – betonový vyrovnávací vrstva, 5 – betonová zavazující ostruha, 6 – těsnicí prvek v podloží.

A – těsnící jádro; B a C – přechodové stabilizační části; D a E – propustní stabilizační část.

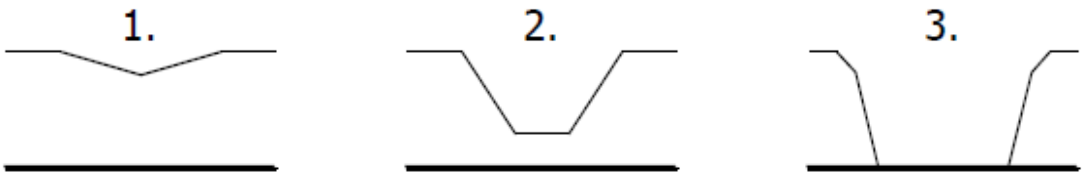
**Tab.2.2 – Vhodnost zemin pro různé zóny hutnění hrází (ČSN 75 2410)**

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

## 2.3 PORUCHY ZEMNÍCH HRÁZÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

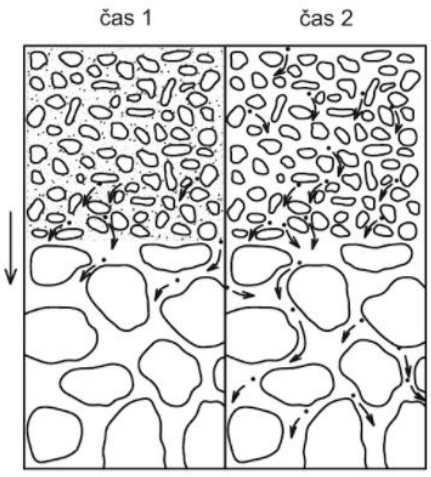
Úplnou bezpečnost VD nelze zajistit ani při jeho návrhu, výstavbě či provozu. Při každé konstrukci VD současně vzniká i určité riziko jeho možného porušení (Jandora a Říha, 2002).

Poruchy zemních hrází MVN (Jandora a Říha, 2002) mohou být způsobené erozivní činností vody. Při běžném provozu se jedná například o působení vln, kdy dochází k narušování opevněného návodního líce zemní hráze, nebo při přelití, kdy dochází k porušení zemní hráze povrchovou erozí (Obr.2.5). Vzhledem k tomu, že zemní hráze nebývají navrhovány jako přelévané, mají proti uvedenému typu porušení pouze omezenou odolnost. V důsledku nedostatečné kapacity skluzu pod bezpečnostním přelivem nebo kapacity odpadního koryta může dojít k podemletí vzdušné paty hráze.




Obr.2.5 – Postup porušení sypané zemní hráze v důsledku přelití (Jandora a Říha, 2002)

Další možností poruchy zemní hráze je filtrační deformace, která nastává v případě nekontrolovaného průsaku tělesem hráze, popřípadě jejím podložím. Poruchy vzniklé filtrační deformací způsobují až 40 % ze všech poruch sypaných hrází (Jandora a Říha, 2002). Mechanismem vedoucím k poruše může být prolomení těsnicí části hráze nebo sufóze (vyplavování jemných částeček v zemině), která vede ke zvýšení propustnosti materiálů a narušení jejich struktury. K prolomení těsnicího prvku může docházet i v důsledku jeho oslabení kontaktní sufózí (Obr.2.6), činností zvířat, nebo vlivem odumírajících kořenů stromů po jejich vykácení.




Obr.2.6 – Mechanismus kontaktní sufóze při sestupném proudění (Říha, 2010)

Pro zvýšení bezpečnosti provozu MVN je v poslední době kladen zvýšený důraz na monitorování zemních hrází s dopadem na včasnou identifikaci nežádoucích jevů a následné odstranění problémů.

# 3 MONITOROVÁNÍ HRÁZÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Monitorování MVN je vhodné provádět tehdy, když byla při inženýrsko-geologickém průzkumu (IGP) stanovena riziková místa nebo se objevila v průběhu provozování VD. Pokud byla nalezena, je možné pro jejich monitorování zvolit měřicí metody přímé nebo nepřímé.

Přímé měřicí metody monitorování zemních hrází MVN využívají především ruční nebo mechanické geologické sondování, kdy dojde k vytvoření šachty, štoly, odkryvu nebo odebírání vzorků k laboratornímu rozboru. Metody přímé jsou destruktivního charakteru. Při jejich využití může dojít k nevhodnému zásahu do konstrukce zemní hráze, který může vyvolat negativní následky. Hodnota sledované veličiny se zjišťuje přímo měřením.

Nepřímé měřící metody jsou používány stále častěji, a to především v důsledku rozvoje technologií, měřicích aparatur a elektrických monitorovacích metod. Nepřímé metody jsou zpravidla nedestruktivní. Využívají znalosti reakce materiálů na různé podněty a jsou šetrnější ke konstrukci zemní hráze. Proměnlivost elektrického odporu, rychlost šíření seismických impulsů a další měřené parametry umožňují vymezit geometrii rozhraní a bloků mechanicky a geneticky různých materiálů. Hodnota sledované veličiny se získá z měření veličin vázaných s měřenou veličinou známým vztahem a provedených měření přímými měřicími metodami.

## 3.1 GEOFYZIKÁLNÍ METODY

Geofyzika a její metody představují multidisciplinární vědní obor, který studuje fyzikální pole zemského tělesa a pomocí příslušných parametrů aplikuje znalost fyzikálních procesů na vznik a vývoj Země. Jejich prostřednictvím je možné charakterizovat i horninové prostředí (Jančovič a kol., 2014).

Základní dělení geofyzikálních metod podle sledování fyzikálních principů a charakteru fyzikálního pole:

- gravimetrické – studují tíhové rozložení pole Země,
- magnetometrické – studují rozložení magnetického pole Země,
- radiometrické – studují přirozenou i umělou radioaktivitu,
- geoelektrické – studují rozložení elektrických polí,
- geotermické – studují teplotní pole,
- seismické – studují šíření seismických vln, které jsou v případě zemních hrází uměle generovány kladivy nebo explozí.

Geoelektrické metody patří mezi nejrozmanitější a nejpoužívanější metody geofyzikálního průzkumu, neboť využívají různých umělých i přirozených polí jak stejnosměrných, tak i obecně časově proměnných (elektromagnetických) ke studiu prostředí na základě celé soustavy elektrických a elektromagnetických jevů [7]. Umožňují tedy řešit široký rozsah geologických problémů. Elektrické vlastnosti zemin lze charakterizovat:

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

Vzhledem k měřeným parametrům lze geoelektrické metody rozdělit na stejnosměrné odporové, elektromagnetické a elektrochemické.

Specifickou oblast měřicích metod v geoelektrické kategorii reprezentuje odporová měřicí metoda elektrické impedanční spektrometrie (EIS) pracující v obvodech střídavého budicího signálu.

Obr.3.1 – MVN Hornice, měření úrovně hladiny vody v nádrži u pomocného bezpečnostního přelivu ze dne 7.11.2017

# 4 METODA ELEKTRICKÉ IMPEDANČNÍ SPEKTROMETRE

Metoda elektrické impedanční spektrometrie (EIS) je nepřímá měřicí metoda využívající měření elektrické impedance **Z** k posuzování charakteristik zemin (Pařílková a kol., 2015). Umožňuje sledovat změnu obsahu vody, teploty, struktury, vlhkosti, ulehlosti, odhad velikosti zrna a případně dalších parametrů charakterizujících zeminy.

Zdrojem budicí energie pro sledování zemin je střídavý harmonický elektrický proud. Každá zemina se projevuje určitým elektrickým odporem vůči průchodu elektrického proudu (Pařílková a kol., 2012).

Základním principem metody EIS je měření elektrické impedance **Z** zemin vyjádřené Ohmovým vztahem pro střídavé obvody, tedy poměrem fázoru elektrického napětí **U** a fázoru elektrického proudu **I** (Pařílková, 2013).

$$\mathbf{Z} = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{I}} \ [\Omega], \tag{4.1}$$

kde fázor elektrického napětí **U** je vyjádřen ve voltech [V] a fázor elektrického proudu **I** v ampérech [A].

Elektrická impedance je veličina charakterizovaná dvěma složkami. V kartézské soustavě lze elektrickou impedanci vyjádřit vztahem:

$$\mathbf{Z} = R + j\,\mathrm{X}, \tag{4.2}$$

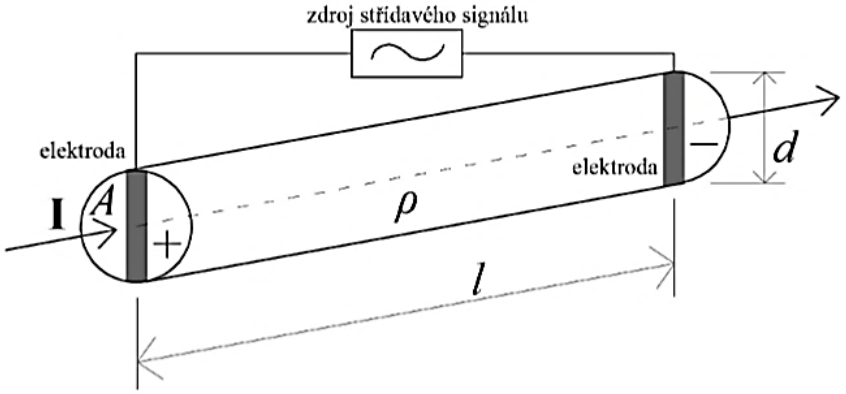
kde reálná část el. impedance je rezistance (elektrický odpor) *R*, imaginární část je reaktance *X* a *j* je imaginární jednotka [8].

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

## 4.1 PRINCIP MĚŘENÍ

Měření elektrické impedance **Z** zeminy vychází z paralelního umístění dvou elektricky vodivých elektrod do zeminy ve vzdálenosti *l* menší než 2 m. Omezení vzdálenosti vychází z praktických zkušeností z měření a důvodem je omezení vlivu geoelektromagnetického pole Země. Dvě elektrody délky *d* tvoří jeden snímač sondy EIS. Střídavý elektrický proud prochází zeminou mezi elektrodami a generuje v ní elektrické pole. Zemina však průchodu elektrického proudu klade elektrický odpor, což vyjadřují měřené složky elektrické impedance **Z** – rezistance *R* a reaktance *X.*

Zemina je špatný elektrický vodič, je-li v suchém stavu, nebo je-li zmrzlá. Proto v uvedeném případě bude hodnota reálného elektrického odporu velká. Naopak u zemin vlhkých nebo u zemin s velkými póry obsahující vodu či elektricky vodivé ionty, bude hodnota reálného elektrického odporu menší a zemina povede lépe elektrický proud. Stane se tedy elektrickým vodičem, jehož plocha *A* je určena délkou elektrod *d* (Obr.4.1).




Obr.4.1 – Schéma měření pro určení elektrických parametrů zeminy

## 4.2 PŘÍSTROJ Z-METR IV

Přístroj Z-Metr IV je čtvrtou generací přístroje Z-Metr, který byl navržen a realizován pro měření elektrické impedance pórovitých materiálů v rámci projektů programu EUREKA (Pařílková, 2016).

Jádro Z-metru IV je tvořeno 32 bitovým výkonným mikroprocesorem s jádrem Cortex-M3 [8]. Mikroprocesor pracuje na frekvenci 120 MHz a má kapacitu 1 MB paměti flash a 128 kB paměti RAM. Zdrojem energie jsou dva dobíjecí průmyslové akumulátory typu Li-Ion. Kapacita baterie je dostatečná pro 16 hodinový intenzivní provoz. Dobíjení probíhá pomocí 5V/1A napájecího adaptéru. Pro komunikaci s uživatelem je přístroj vybaven LCD a klávesnicí, z níž je možné nastavení přístroje, a to včetně automatického autonomního provozu. Rozhraní Bluetooth umožňuje propojení přístroje k ovládání a manipulaci s daty (Pařílková, 2013).

Možné je rovněž připojení prostřednictvím Wi-Fi a přístroj je také stavěn pro GSM (Globální Systém pro Mobilní komunikaci). Naměřená data jsou ukládána na SD kartu, která není uživatelsky vyměnitelná, ve formátu *.csv a přístup k nim je umožněn propojením s počítačem pomocí USB kabelu nebo přes Bluetooth. Zpracování dat se zpravidla realizuje v programu MS Excel.

Obr.4.2 – Přístroj Z-Metr IV (vlevo), konstrukce sond EIS (vpravo) (Pařílková, 2017)

K připojení měřicích sond slouží dva 25 pinové konektory typu CANON.

Základní parametry přístroje Z-Metr IV jsou uvedeny v Tab.4.1 (Pařílková a Radkovský, 2016).

Tab.4.1 – Základní parametry přístroje Z-Metr IV [8]

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

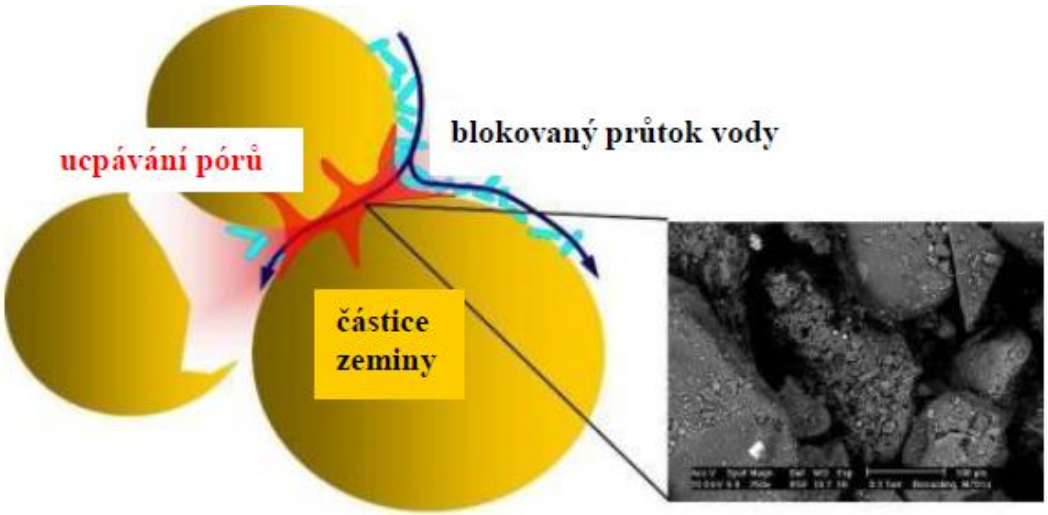
# 5 ZPŮSOB SANACE ZEMNÍCH HRÁZÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ TECHNOLOGIÍ BIOSEALING

V současné době se sanace průsaků zemních hrází provádí pomocí metod speciálního zakládání. Tyto metody zakládání jsou ale finančně i technologicky náročné a mohou být také problematické z hlediska ekologie. Proto se oblast stále rozvíjí a hledají se nové možnosti sanace vodních děl (Fránková, 2017). Jednou z inovativních metod sanace zemních hrází je metoda BioSealing.

## 5.1 BIOSEALING

Vědci, kteří se zabývali otázkou využití bio sanačních technologií, pozorovali, že biochemické reakce mohou vést k místnímu ucpání pórů a snížit propustnost sanovaných látek. Poznatek byl zkoumán v prostředí zemin, kde živiny, které se injekčně aplikují, mají stimulující účinek na růst bakterií obsažených v zeminách.

Metoda BioSealing a následně celá technologie její aplikace byla vyvinuta v Nizozemí společnostmi Deltares a Volker Staal Funderingen [9]. Také zde byla poprvé testována v laboratořích a následně v terénu (Rupp a kol., 2016). V praxi byla metoda BioSealing použita na několika zahraničních projektech. Například utěsnění průsaků pozemní vody v metru v Amsterdamu či těsnící práce v Rakousku podél Dunaje, prováděné firmou Züblin Spezialtiefbau [9].




Obr.5.1 – BioSealing, schématické znázornění principu metody (Fránková, 2017)

## 5.2 PRINCIP METODY BIOSEALING

BioSealing je těsnící metoda, která zamezuje průsaku vody v zemních konstrukcí pomocí stimulace bakteriální aktivity (Rupp a Pazdírek, 2015). Každá půda obsahuje mnoho bakterií. Charakteristiky jako je pH, teplota, redukce a oxidace či

obsah solí určuje, jaký druh nebo druhy bakterií budou v půdě aktivní a zda se nacházejí v dostatečné míře. BioSealing využívá bakterie, které se v půdách nachází přirozeně a stimuluje jejich růst injektováním živin do místa výronové plochy. Dodané živiny jsou podzemní vodou automaticky dopraveny k místu největšího průsaku. Při transportu živin půdním prostředím dochází k reakci, která způsobuje změnu chemických podmínek v podloží. Do místa průsaku je dopravena největší část živin a vytvoří se zde bakteriální film. Zvětralé částice se zachytí na bakteriálním filmu a vytvoří pevné těsnění (Rupp a Pazdírek, 2015).

Určitou výhodou metody BioSealing je skutečnost, že není nutné znát polohu místa netěsnosti a je možné ji aplikovat i do míst, která nemusí být nutně dobře dostupná. Ve srovnání s jinými užívanými těsnicími metodami lze metodu BioSealingu považovat za ekonomicky příznivější.

## 5.3 APLIKACE A POUŽITÍ

Pro úspěšnou aplikaci technologie BioSealing je nutné zajistit transport živin do místa průsaku (Rupp a kol., 2016). Z tohoto důvodu není možné BioSealing realizovat například na suchých poldrech. V době aplikace živin musí být nádrž napuštěna minimálně nad úroveň zjištěného průsaku, aby docházelo k průsaku vody skrz těleso hráze. Pokud je průsak vody příliš malý, může nastat riziko, že se živiny dodávané do hráze a transportované vodou nedostanou k bakteriím žijícím v zemině v místě průsaku.

Aby byla zajištěna potřebná aktivita půdních bakterií, neměla by teplota zeminy klesnout pod 5 °C. Pro maximální účinnost uvedeného opatření byla v podmínkách ČR ověřena minimální teplota zeminy 8 °C (Rupp a Pazdírek, 2015). Proces těsnění pórů zeminy v důsledku růstu objemu půdních bakterií se zrychlí, když teplota podzemní vody vzroste, ale neměla by přesáhnout 30 °C, neboť to by mohlo zapříčinit růst patogenních bakterií. Technologie BioSealing byla úspěšně testována v různých prostředích, kde se pH vody pohybovalo v intervalu 5 až 11 a bylo zjištěno, že překážkou není ani slanost vody. Aplikace živného roztoku nenarušuje beton ani cement. Pokud je půda nebo podzemní voda znečištěna je nutné provést laboratorní zkoušky, které ověří možnosti bakteriální aktivity důležité pro aplikaci metody BioSealing. Bylo ověřeno i to, že pokud je prostor vyplněný pískem, tak maximální velikost těsnění plochy za předpokladu sbíhavého proudění vody, je 10 $m^2$. Utěsnit lze také pukliny v horninách vyplněné pískem nebo štěrkem. V průběhu výzkumu se v Kanadě povedlo utěsnit i pukliny v horách, které byly otevřeny do 2 mm. Mezerovitost štěrkovitých materiálů o velikosti zrn od 25 mm

– 30 mm není překážkou. Z důvodu nízké propustnosti však není možné aplikovat metodu BioSealing v jílu nebo rašelině.

Obr.5.2 – BioSealing, aplikace sanování zeminy pod mostem přes vodní kanál (Whiffin, 2006) [16]

Realizaci technologie BioSealing v České republice, s výhradním právem užití včetně monitorování, prováděla společnost GEO*test*, a.s., která spolupracovala s Vysokým učením technickým, Fakultou stavební, Ústavem vodních staveb. Spolupráce byla uskutečněna v rámci řešení projektů „Zavedení nové technologie zamezující průsakům a únikům vody tělesem přehradních hrází“ (Rupp, 2013) a „Systém sledování vybraných parametrů porézních látek metodou EIS v širokém spektru aplikací“ (Pavlík, 2013; Pařílková, 2013) v letech 2014 až 2016. Kromě výše uvedených projektů sledování probíhalo také realizací řešení projektu „Zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti vybraných hydrotechnických konstrukcí“ (Zachoval, 2016) a diplomovou prací „Ověření technologie BioSealing metodou EIS“ (Fránková, 2017). Dávkování živin (výživová směs PNC Nutrolase) stimulujících růst bakterií obsažených v zeminách probíhalo ve dvou fázích, a to při různých koncentracích a při různých úrovních hladiny vody v nádrži v roce 2015 a 2016.

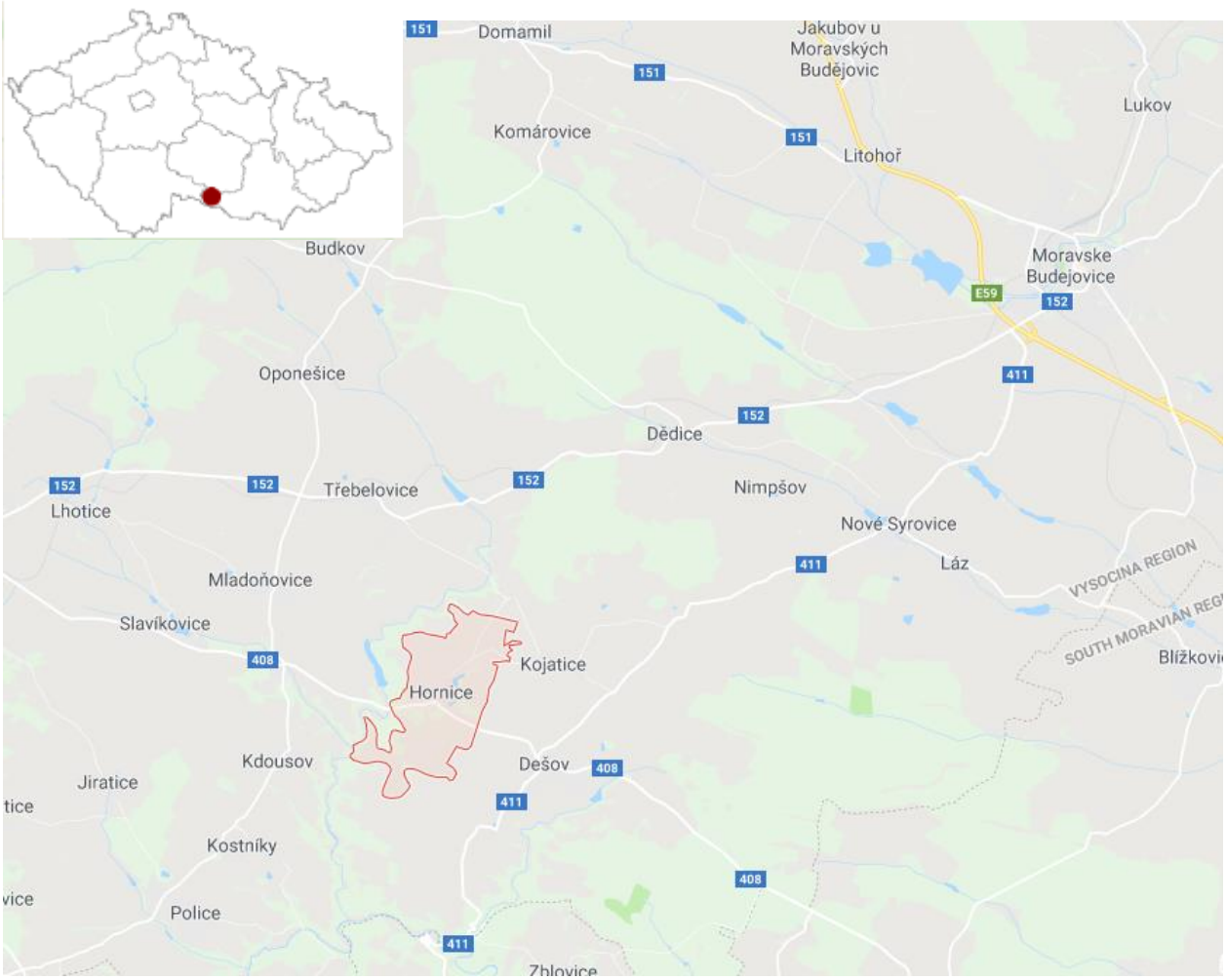
# 6 VODNÍ DÍLO HORNICE

## 6.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O VODNÍM DÍLE

Obec Hornice (Obr.6.1) se nachází 11,5 km jihozápadně od Moravských Budějovic v kraji Vysočina [10]. Nadmořská výška obce je 443 metrů nad mořem.

VD Hornice (Obr.6.2) bylo vybudováno za účelem akumulace vody pro zemědělské využití (Hejtman 2012; Pařílková, 2017). Zkolaudováno bylo 31. 5. 1985 a původně sloužilo jako závlahová nádrž (Rupp, 2013). Od roku 2012 je majitelem VD Zemědělské družstvo Dešov.

VD Hornice protéká Kojatický potok a je opatřeno pomocným bezpečnostním přelivem ve formě betonového žlabu, bočním hlavním bezpečnostním přelivem, spadištěm bezpečnostního přelivu, zdrsněným skluzem vyhloubeným ve skále a zakončeným vývarem.




Obr.6.1 – Katastrální území obce Hornice [11]

Obr.6.2 – Vodní dílo Hornice [11]

## 6.2 TECHNICKÝ POPIS DÍLA

Hráz VD Hornice je homogenní sypaná. Výška hráze nad původním terénem je 8,22 m, výška hráze nad základovou spárou je 11,20 m (Hejtman, 2012). Po koruně hráze vede cesta, jejíž průměrná šířka činí 4,25 m. Zemina koruny hráze byla v místě cesty zpevněna štěrkem, který je v současné době lokálně zřejmý v travnatém pokryvu (Pařílková, 2017). Podle projektu (Hejtman, 2012) je hráz v patě široká 46,80 m, návodní líc má sklon 1:2,5 a je opevněn kamenným pohozem, vzdušný líc hráze má mít sklon rovněž 1:2,5, ale při instalaci monitorovacího systému EIS byla změřena změna sklonu svahu, která je s největší pravděpodobností důsledkem deformace vzdušného líce pozorovanou výronovou plochou. Vzdušný líc je pokryt trávou, kterou udržuje obyvatel obce Hornice.

Spodní výpusť a současně k částečné regulaci úrovně hladiny v nádrži slouží armaturní sestava šoupat umístěných v armaturní komoře spodní výpusti (Hejtman, 2012). Ta se nachází pod zemní hrází nádrže. Nátokové potrubí z nádrže je provedeno jako ocelové s dimenzí DN 500. V armaturní komoře lze soustavou šoupat směr odtoku vody z nádrže přesměrovat ocelovým potrubím s dimenzí DN

300 do závlahové stanice, která sloužila k závlahovým účelům, nebo ocelovým potrubím s dimenzí DN 500 do toku Kojatického potoka. Manipulace s hladinou vody v nádrži probíhá otevřením jednotlivých šoupat. Odpadní potrubí je ukončeno na pravé straně vývařiště bezpečnostního přelivu.

Bezpečnostní přeliv je proveden jako přímý u levého zavázání hráze. Je rozdělen na dvě výškové části (Hejtman, 2012). Pro převod menších povodňových vod slouží pomocný bezpečnostní přeliv tvořený betonovým žlabem umístěným v bočním bezpečnostním přelivu. Při větších průtocích voda přetéká přes celý boční bezpečnostní přeliv. Výškový rozdíl je řešen neupraveným kamenným terénem a zdrsněným skluzem. Pod tímto neupraveným skalním masivem je zhotoveno vývařiště pro utlumení kinetické energie proudící vody. Nátok k bezpečnostnímu přelivu, je silně zarostlý nevhodnou vegetací.

Podrobný soupis parametrů VD je uveden v následující tabulce (Tab.6.1).

Tab.6.1 – Základní technické parametry VD Hornice (Hejtman, 2012)

| | |
|---|---|
| ***Výškové parametry (BPV):*** | |
| kóta koruny hráze | 449,29 – 449,53 m n. m. |
| kóta dna nádrže | 441,20 m n. m. |
| kóta hladiny stálého nadržení | 444,50 m n. m. |
| kóta normální hladiny | 447,10 m n. m. |
| kóta maximální hladiny | 448,30 m n. m. |
| ***Parametry hráze:*** | |
| šířka koruny hráze | 4,65 m – 3,80 m |
| sklon vzdušného líce hráze | 1:2,5 |
| sklon návodního líce hráze | 1:2,5 |
| délka hráze | 73 m |
| ***Parametry zdrže:*** | |
| plocha zátopy při provozní hladině | 13 750 $m^2$ |
| objem vody při provozní hladině | 96 000 $m^3$ |
| ***Spodní výpusť:*** | |
| Potrubí ocelové DN 500 | délka: 48,0 m |
| ***Bezpečnostní přeliv:*** | |
| kóta pomocného bezpečnostního přelivu – betonový žlab | 447,10 m n. m. |
| kóta hlavního bočního bezpečnostního přelivu | 447,85 m n. m. |

# 7 MONITOROVÁNÍ VODNÍHO DÍLA HORNICE

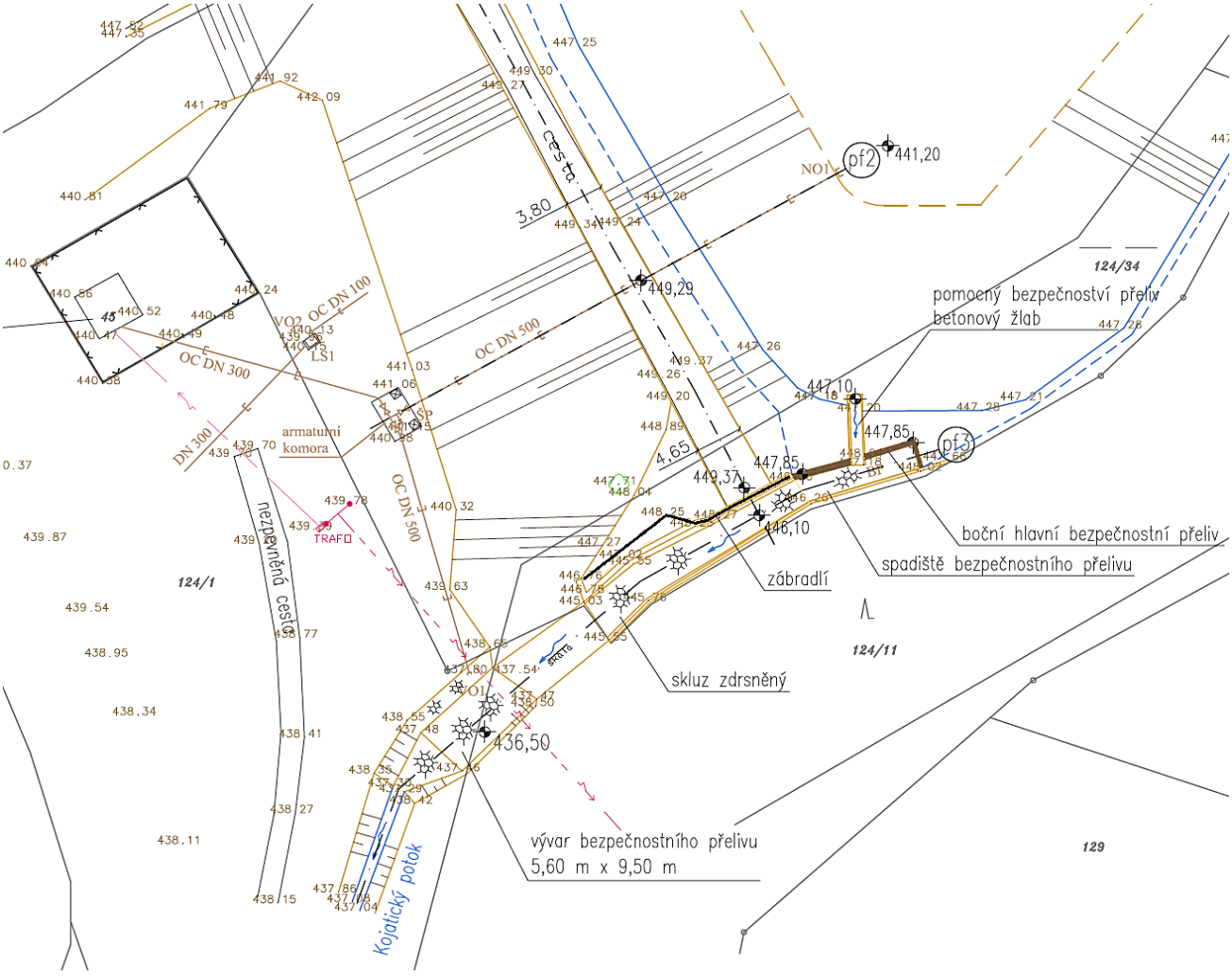
Průzkum zájmového území VD Hornice začal v srpnu 2014 (Rupp a kol., 2016) a provedla jej společnost GEO*test*, a.s. [12].

V první etapě zahrnoval vyhloubení 6 vrtů a 3 kopaných sond. Vrty byly provedeny z koruny hráze do hloubky 10 m, kopané sondy byly vyhloubeny na vzdušném líci hráze do hloubky 1,0 m. Tři z vyhotovených vrtů byly osazeny pažnicemi a připraveny pro seismické metody geofyzikálního průzkumu (Rupp a kol., 2016). Zbylé tři vrty a kopané sondy byly využity pro realizaci geotechnického monitorování hráze. Ve dvou výškových úrovních do nich byla nainstalována čidla pro sledování pórových tlaků (piezometry) a teplot. Čidla byla připojena na centrální datovou sběrnici.

Ve druhé etapě geotechnického průzkumu byl geofyzikální průzkum uskutečněn seismickou a geoelektrickými metodami (Rupp a kol., 2016). Při seismické metodě se realizovaly řízené odpaly v geofyzikálních vrtech a byla zjišťována homogenita tělesa hráze. Na základě dosažených výsledků z první průzkumné etapy byly ve spolupráci s VUT v Brně do tělesa hráze osazeny 2 sondy pro sledování relativních změn elektrické impedance zeminy ve vertikálních úrovních profilu zemní hráze metodou EIS.

Monitorovací systém byl konstruován jako automatický s kontinuálním sběrem dat (Rupp a kol., 2016). Přenos měřených dat je zabezpečen prostřednictvím instalované GSM brány přímo do osobních počítačů uživatelů systému resp. zpracovatelů měření. Do budovy pod hrází (Obr.7.1) byly instalovány dataloggery pro záznam hodnot z piezometrů a sond EIS. Místo výronové plochy na vzdušné straně hráze bylo upraveno tak, aby bylo možné odebírat vzorky vody, měřit její teplotu, elektrickou vodivost, pH a průsak. Za tímto účelem byla do konstrukce zemní hráze instalována příslušná čidla a záznamník objemového průtoku vody. Pozice výronu vody, instalovaných čidel, ústí jednotlivých vrtů a vedení kabelových drah byly geodeticky zaměřeny.

Systém monitorování hráze VD Hornice byl zbudován pro ověření účinnosti zkoumané technologie BioSealing na základě porovnání odpovídajících měřených veličin před zahájením rekonstrukce zemní hráze VD Hornice uvedenou metodou, v průběhu injektáže živného roztoku a po ukončení procesu (Rupp a kol., 2016). Monitorování je nutné realizovat v dostatečně dlouhém časovém období, aby bylo možné sledovat nejen průběh sanačního procesu, ale ověřovat jeho účinnost a případné změny po sanačním zásahu.



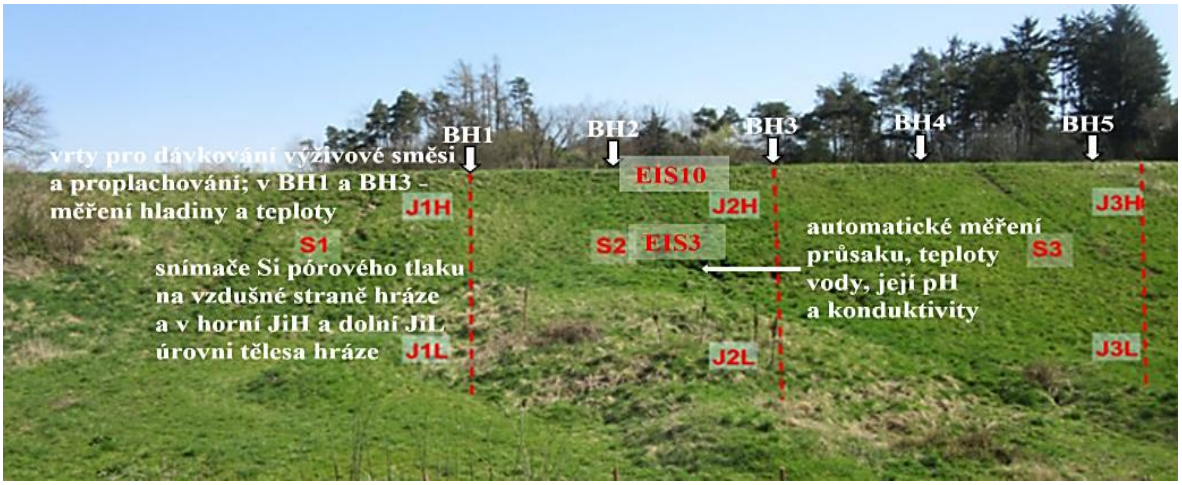

Obr.7.1 – Detail situace VD Hornice, celková situace viz Příloha 1 (Hejtman, 2012)

## 7.1 VYUŽITÍ METODY EIS NA VD HORNICE

Aplikace metody EIS při měření zemní hráze VD Hornice byla realizována z důvodu dlouhodobého sledování změn probíhajících v zemině hráze při jejím proměnlivém zatěžování vodou. Jednalo se především o změny úrovně hladiny vody v nádrži, infiltraci dešťové vody a objem vody dodaný v souvislosti s aplikací metody BioSealing. Monitorování zemní hráze se provádí dvěma párovými sondami. V roce 2016 byl systém doplněn automatickým sledováním změn úrovně hladiny vody v nádrži snímačem hladiny, který kombinuje principy metody EIS a plovákové.

Monitorování zemní hráze se provádí v úrovních předpokládaných anomálií (Obr.7.2) se zohledněním části, kde je zjevná výronová plocha (Obr.8.4 vlevo – tmavozelená plocha na vzdušném líci hráze) (Fránková, 2017; Pařílková, 2017). Umístění sond EIS10 a EIS3, jejichž celková délka je 10 m s 20 snímači a 3 m s 16 snímači na sondě, vycházelo z provedené geodetické práce společnosti GEO*test*, a.s. a také z technické dokumentace výstavby VD Hornice. Uvedeným poznatkům

odpovídá i zvolená délka měřicích elektrod 0,05 m. Délka distančních izolačních částí sondy je pro každou sondu řešena samostatně. Sonda celkové délky 3 m má pravidelné dělení. Je umístěna ve výronové ploše, kde požadavkem bylo dokumentovat změny, které v ní probíhají při maximálním využití možností aplikované měřicí aparatury. Distanční části sondy celkové délky 10 m zajistily její nerovnoměrné dělení. S rovnoměrným rozdělením měřených úrovní je realizována část sondy navazující na sledované úrovně výronové plochy a dávkování živin při aplikaci metody BioSealing tj. od úrovně -1 m pod korunou hráze do úrovně -5 m. V dalších úrovních jsou snímače umístěny opět v pravidelných, avšak větších vzdálenostech v návaznosti na anomálie detekované v zemině hráze. Vzhledem k výšce hráze 8,22 m je zřejmé, že poslední 3 měřené úrovně jsou umístěny v podloží hráze.

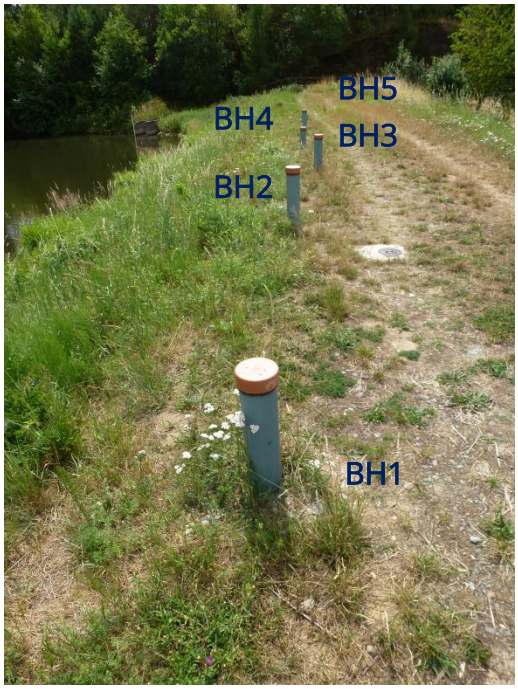



Obr.7.2 – Situace umístění snímačů v zemní hrázi VD Hornice (Pazdírek, Paříkolová, Králíková)

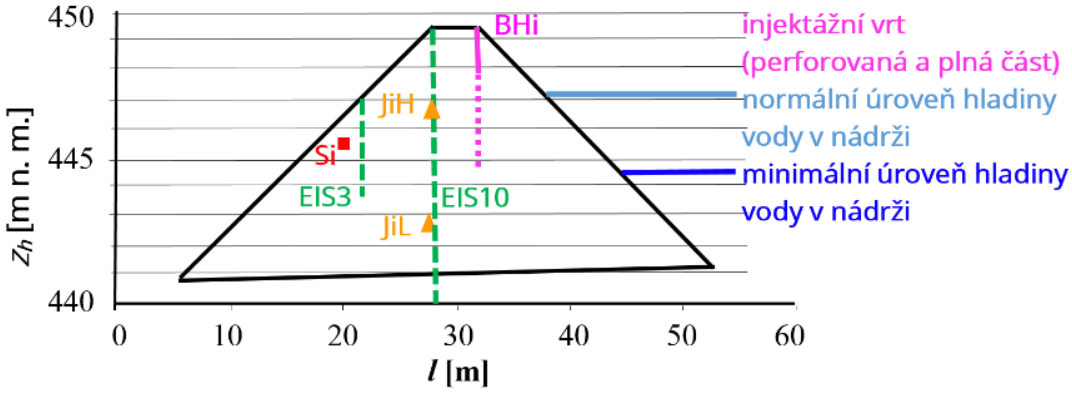
Obr.7.3 – Jímání výronové vody (Paříkolová, Králíková, 7.11.2017)

# 8 APLIKACE METODY BIOSEALING

Pro možnost aplikace technologie BioSealing bylo z koruny hráze vyhloubeno 5 vrtů do hloubky 4,5 m (Obr.8.1). za účelem dávkování výživové směsi do míst, kde byl zjištěn výron vody (Rupp a kol., 2016). Všechny vrty byly vystrojeny perforovanou pažnicí (Obr.8.2).




Obr.8.1 – Injektážní vrty pro dávkování výživové směsi, proplachování a měření




Obr.8.2 – Schématický příčný řez zemní hrází s osazením snímačů a injektážním vrtem

Aplikace technologie BioSealing tj. dávkování výživové směsi se uskutečnila v roce 2015 a v roce 2016 (Pařílková, 2017). Předpokládalo se, že se bude provádění opakovat i v roce 2017, ale vzhledem k časové vytíženosti pracovníků společnosti GEO*test*, a.s. bylo od tohoto záměru upuštěno. Uvedená skutečnost však neměla žádný vliv na dlouhodobé monitorování lokality metodou EIS.

## 8.1 PRVNÍ ETAPA APLIKACE

První etapa dávkování výživové směsi včetně proplachování vrtů vodou se uskutečnilo v roce 2015 (Rupp a kol., 2015). Výživová směs s obchodním názvem PNC Nutrolase (Obr.8.3a) rakouského výrobce Agrana se do vrtů dodávala po dobu 4 týdnů, od 04.05.2015 do 11.06.2015, kdy byla vhodná teplota zeminy (minimálně 5°C), která zajistila podmínky pro aktivitu bakterií žijících v zemině.

a) b) c)

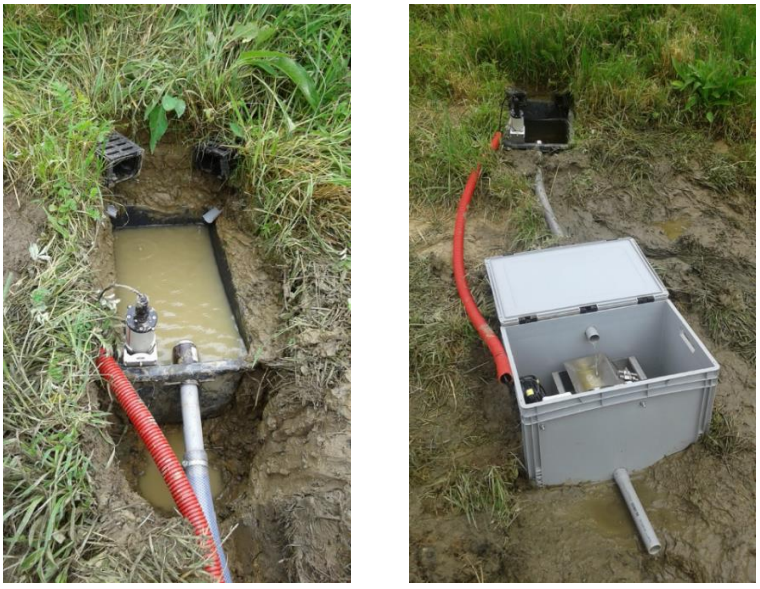
Obr.8.3 – Výživová směs PNC Nutrolase a), rezavé zabarvení výronové vody po aplikaci výživové směsi b), proplachování c) (archiv GEO*test*, a.s.)

V průběhu injektážních prací byla ověřena rychlá komunikace, v řádu jednotek minut, mezi místem dávkování výživové směsi a místem výronu vody (Rupp a kol., 2016). V místě výronu vody byl zaznamenán nárůst elektrické vodivosti vody a snížení pH. Výronová voda byla rezavě zbarvena přítomnými zbytky výživové směsi (Obr.8.3b). Zpočátku byl rovněž zaznamenán zvýšený objem výronové vody, který se s postupným opakováním aplikačních cyklů snižoval. Uvedená skutečnost mohla být důsledkem pravděpodobné tvorby šlemu (Obr.8.5), který v zemině hráze začal vyplňovat její póry, a tak těsnit některé z průsakových cest (Obr.8.5). Po ukončení dávkování byla po přibližně 4 týdnech monitorovacími čidly zaznamenaná pravděpodobná reakce na sanační zásah. Došlo ke snížení pórových tlaků a v místě umístění monitorovací stanice průsaku (Obr.8.6) byl zaznamenán nulový výron vody. Naměřené hodnoty však byly ovlivněny tím, že krátce po dokončení injektáže začalo období velmi horkého léta s téměř nulovým množstvím dešťových srážek. Hladina vody v nádrži klesla pod úroveň dávkování výživové směsi, tj. pod úroveň pozorovaného výronu vody. Horké období proto neumožnilo jednoznačně prokázat

účinek těsnění metodou BioSealing, neboť bylo možné předpokládat menší až nulové průsaky i bez aplikace metody BioSealing. Koncem roku 2015 se průsak na vzdušném líci hráze opět objevil a z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o druhé etapě dávkování výživové směsi PNC Nutrolase v následujícím roce 2016.

Obr.8.4 – Výronová plocha (vlevo), místo měření průsaku (vpravo) (archiv GEO*test*, a.s.)

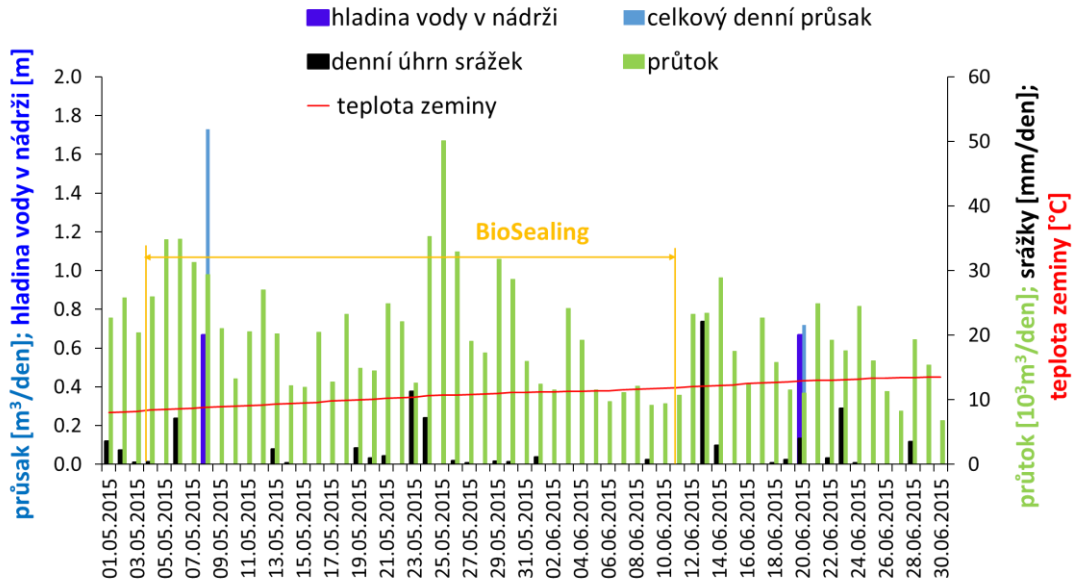
Obr.8.5 – Tvorba šlemu částečně vyplaveného na povrch – 2015 (archiv GEO*test*, a.s.)



Obr.8.6 – Měření pH a elektrické vodivosti (vlevo) a průsaku (vpravo) (archiv GEO*test*, a.s.)

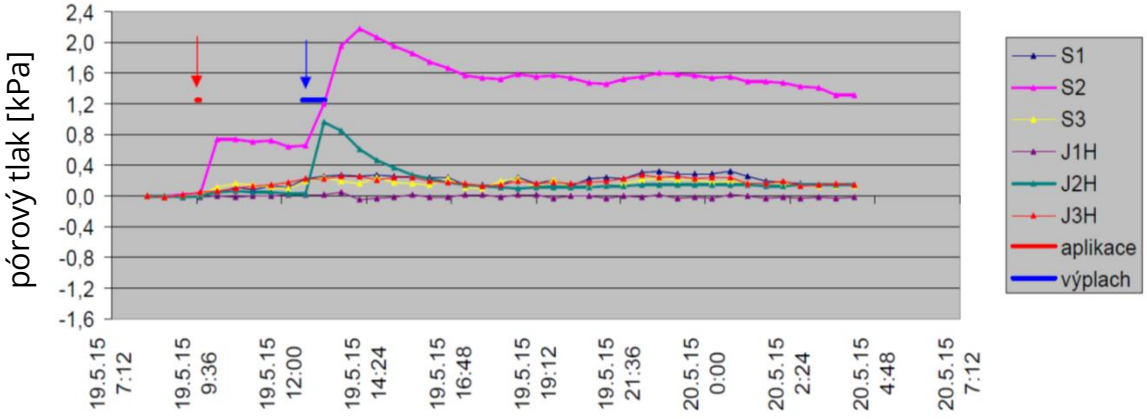
### 8.1.1 Výsledky první etapy

První etapu těsnění zemní hráze technologií BioSealing lze považovat za ověřovací v podmínkách České republiky. Ukazatelem účinnosti sanace je nejen měřený průsak (Obr.8.7), ale i další doprovodné veličiny.




Obr.8.7 – Monitorování procesu aplikace technologie BioSealing

Komunikaci mezi místem dávkování výživové směsi a místem měření průsaku, která se zpočátku pohybovala v řádu jednotek minut, dokumentuje denní záznam průběhu pórových tlaků (Obr.8.8) se zřejmými nárůsty tlaku v době dávkování výživové směsi a v době průplachu vrtu.

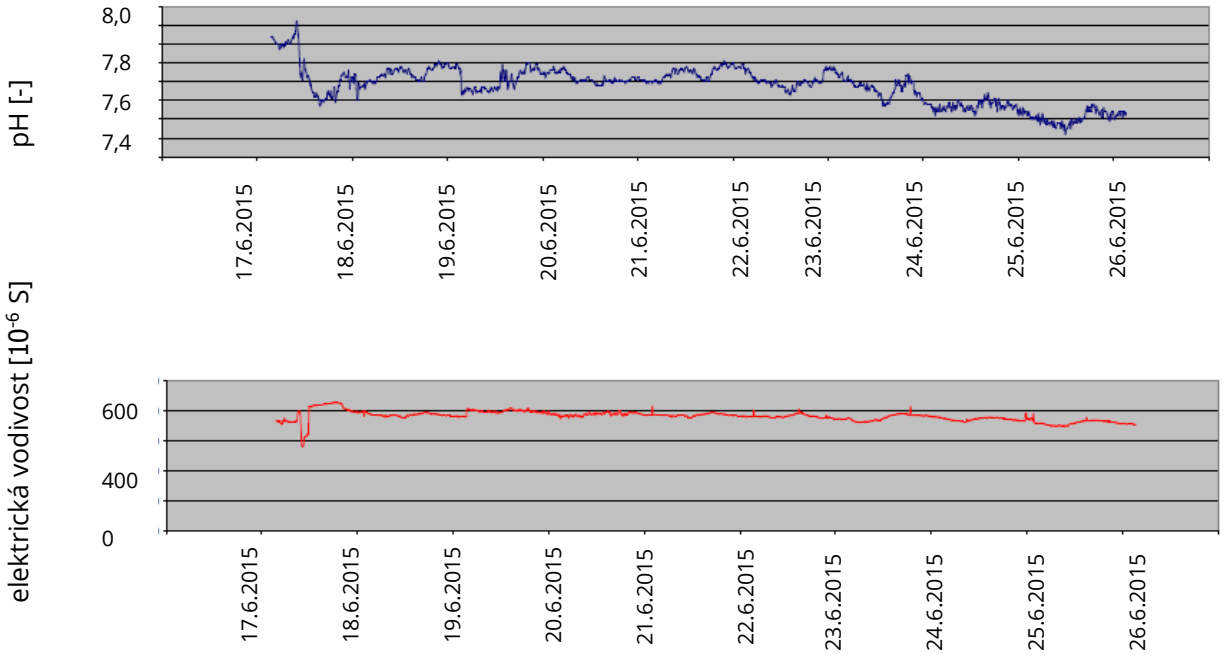



Obr.8.8 – Denní záznam pórových tlaků (Pazdírek, archiv GEO*test*, a.s.)

Výronová voda byla zbarvena do rezava (Obr.8.8) dávkováním výživové směsi, intenzita zbarvení se však postupně snižovala.

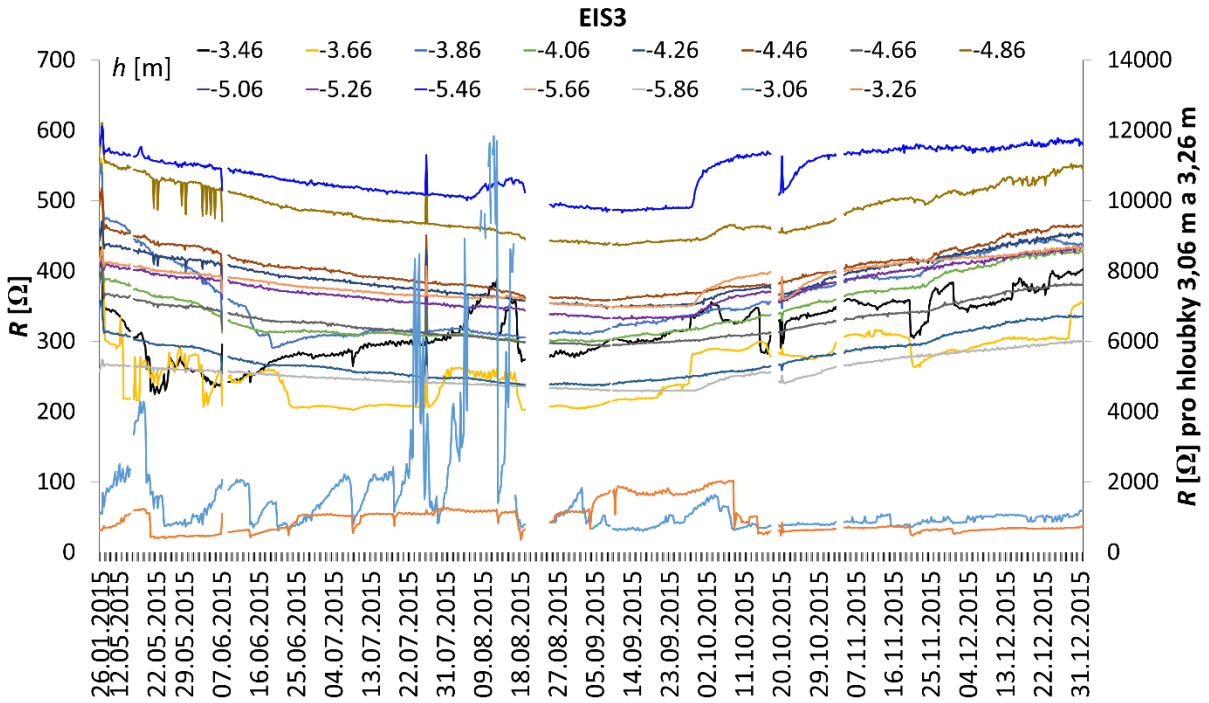
Koncem cyklu dávkování již měla výronová voda přirozené zabarvení. Důsledkem dávkování výživové směsi bylo rovněž snížení hodnoty pH výronové vody

a mírné zvýšení hodnoty její elektrické vodivosti, které se však po ukončení aplikace výživové směsi zvolna snižovalo na původní hodnotu (Obr.8.9).




**Obr.8.9 – Denní záznam pH (nahoře) a elektrické vodivosti (dole) výronové vody (Pazdírek, archiv GEO*test*, a.s.)**

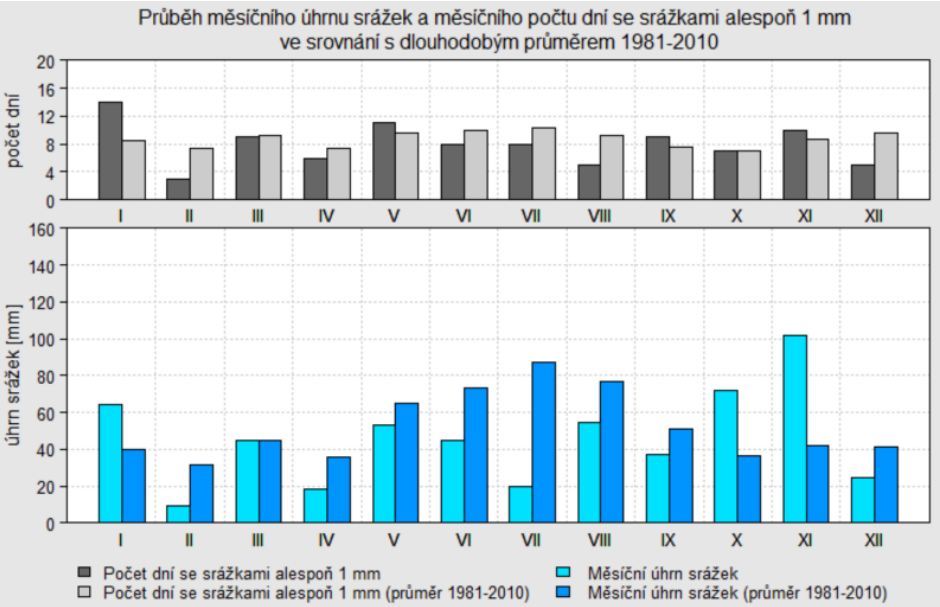
Z průběhu hodnot rezistance *R* měřených sondou EIS3 (Obr.8.10) je patrné, že v úrovni -3,06 m (povrch vzdušného líce hráze) a v úrovni -3,26 m se od 12.05.2015 do 18.05.2015 hodnoty *R* zvyšují, tj. snižuje se obsah vody v zemině, což by mohlo vyvolat dojem pozitivní reakce na prováděný sanační zásah. V ostatních úrovních je však možné pozorovat trend mírného snížení hodnot *R*, a to až do 19.06.2015. Ke snížení hodnot *R*, tedy zvýšení elektrické vodivosti zeminy, došlo pravděpodobně skutečně v reakci na dávkování vodného roztoku výživové směsi, kdy se zvýšil obsah vody v pórech zeminy, která se stala lepším elektrickým vodičem. Ve vrstvě -3,86 m je uvedený trend nejvýraznější. Zatímco ve vrstvách od -4,06 m do -5,86 m se změny měřených hodnot *R* na počátku a na konci vyhodnocené periody (od 09.05.2015 – zahájení sanace do 26.06.2015 – předpokládaný konec s vytvořením těsnění) pohybovaly v rozsahu cca 6 % až 13 %, v úrovni -3,86 m činila změna 36 %. Pravděpodobnou příčinu uvedené skutečnosti lze hledat v „komunikaci" s úrovní dávkování výživové směsi a především s proplachováním do perforované části vrtu. Naopak změny probíhající ve zmíněných vrstvách -3,06 m a -3,26 m svou reakcí více odpovídají povětrnostním vlivům.




**Obr.8.10 – Monitorování ve výronové ploše sondou EIS3, 2015 (Pařílková, 2017)**

Uvedené pozorování podporují záznamy teploty vzduchu [13], kdy se maximální teploty v červnu až srpnu 2015 pohybovaly v rozmezí 33 °C až 38 °C. Z dlouhodobého hlediska hodnocení dešťových srážek lze rok 2015 lze konstatovat, že celkový úhrn srážek v kraji Vysočina [14] byl v měsíci červnu 49 mm, červenci 38 mm a srpnu 77 mm. Uvedené hodnoty v prvních dvou měsících dosahují 65 % a 44 % dlouhodobého srážkového normálu 1981-2010. 17.08.2015 byla zaznamenána dešťová srážka 12 mm, která způsobila pokles měřených hodnot rezistance *R* v povrchové vrstvě zeminy a postupně se promítla až do vrstvy -3,46 m. Výraznější dešťová srážka, která podpořila obsah vody v zemině zvýšený realizovaným proplachováním při aplikaci výživové směsi, byla zaznamenána koncem měsíce srpna (Obr.8.11) a její dosah byl patrný ve všech měřených úrovních. Přibližně od 10.09.2015 lze ve všech měřených úrovních, s výjimkou povrchových úrovní -3,06 m a 3,26 m, pozorovat zastavení trendu zvyšování obsahu vody v pórech zeminy a pozvolný přechod ke snižování obsahu vody v zemině dokumentovaný zvyšováním měřených hodnot *R*.

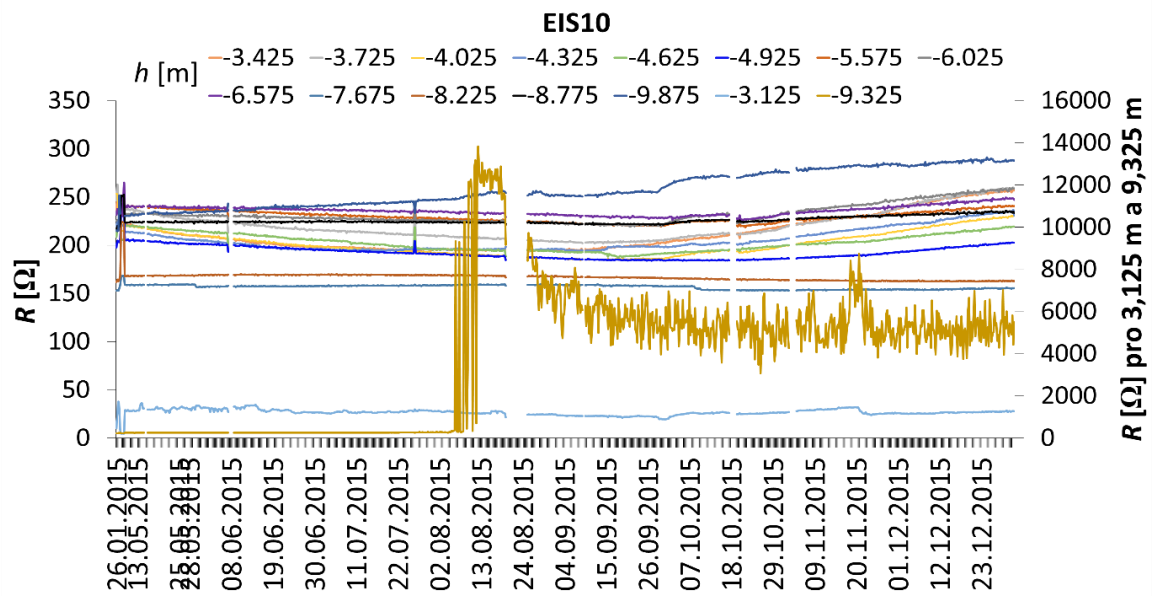
Na konci roku 2015, opět mimo úrovní u povrchu, lze v místech oblasti výronové plochy monitorovaných sondou EIS3 do -4,86 m konstatovat dosažení hodnot *R* srovnatelných s počátkem roku 2015. Od úrovně 5,06 m byl zaznamenán trend mírného zvyšování hodnot *R* proti počátku roku 2015 přibližně o 2 % až 5 %, v úrovni -5,86 m bylo zvýšení nejvýraznější a činilo necelých 12 %.




**Obr.8.11 – Průměrné měsíční úhrny srážek, data ČHMÚ - Kostelní Myslová - 2015 [15]**

Z průběhu hodnot rezistance *R* měřených sondou EIS10 (Obr.8.12) je patrné, že v úrovních do -2,5 m je měření problematické vzhledem struktuře zeminy a pravděpodobně i zapojením sondy, které bylo nutno provést na místě v terénu. Po odseparování uvedených průběhů lze v úrovni -2,825 m od 09.05.2015 konstatovat mírné snížení hodnot rezistance *R*, tedy zvýšení elektrické vodivosti zeminy pravděpodobně v důsledku zvýšení obsahu vody v pórech zeminy, trvající až do 03.09.2015. V úrovni -9,325 m lze pozorovat největší výkyvy hodnot *R*. Do 06.08.2015 měřený průběh rezistance *R* považovat za neměnný, následuje série překmitů zaznamenávající prudké zvýšení hodnot *R*, a do 14.08.2015. V následujícím období se hodnoty rezistance *R* snižují a od 17.09.2015 se ustalují a trend křivky lze považovat za konstantní. Úroveň -9,325 m reprezentuje zeminu podloží hráze a lze jen spekulovat, zda zvýšení hodnot rezistance *R* o cca 95 % může znamenat těsnění průsakových cest, zvýšení ulehlosti zeminy či je následkem jiného geofyzikálního děje. Trend pozvolného zvyšování hodnot rezistance *R* je však zaznamenán i v úrovni -9,875 m, kde se hodnoty na konci roku 2015 zvýšily o 20 % oproti počátku roku 2015. V úrovních -7,675 m až 8,775 m lze považovat průběh hodnot *R* za ustálený po celý rok 2015. V ostatních měřených úrovních -3,425 m až -6,757 m lze konstatovat obdobné důvody změn charakteru křivek, jako u zjištění sondou EIS3. Tedy nejprve snížení hodnot *R* z důvodu aplikace výživové směsi a proplachování a jejich pozvolné zvýšení v důsledku sucha, a tedy snížení hladiny vody v nádrži.

Uvedené období je zajímavé z hlediska odezvy monitorovací aparatury na prováděné injektážní práce (Pařílková, 2017). Cílem bylo dlouhodobé sledování a promítnutí provedeného sanačního opatření technologií BioSealing.




Obr.8.12 – Monitorování sondou EIS10, 2015 (Pařílková, 2017)

Průběhy rezistance *R*, kde platí, že čím je vyšší naměřená hodnota, tím je obsah vody v zemině nižší, ukazují v obou případech sond mírné zvýšení hodnot na podzim 2015, a to i ve větších hloubkách. Bohužel ale z důvodů velmi suchého léta a nástupu suchého podzimu i zimy je obtížné konstatovat, zda se na snížení množství vody v zemině podílí více provedená sanace nebo klimatické vlivy. Sucho vrcholilo v období od 19.08.2015 až 15.08.2015 a v tomto čase byly měřeny i nulové hodnoty průsaku. Přes uvedenou skutečnost byla výronová plocha stále pokryta hustou a zdravou trávou. Od 15.08.2015 začalo období, kdy se objevovaly intenzivní deště a výrazné ochlazení.

Bylo konstatováno, že prokázat účinnost technologie BioSealing je ještě předčasné a monitorování je třeba provádět dlouhodobě. Jevy v roce 2015, které byly detekovány metodou EIS, při kterých dochází k zatěsnění či naopak tvorbě nových průsakových cest, lze přiřadit ke kombinaci klimatických vlivů (tropické léto a následné intenzivní deště), měnící se úrovni hladiny vody v nádrži a pravděpodobně i metodě BioSealing.

Obr.8.13 – Měření průsaku,

vlevo 9.11.2015,

vpravo 21.3.2016 (archiv GEO*test*,a.s.)

## 8.2 DRUHÁ ETAPA APLIKACE

Druhá etapa dávkování výživové směsi byla rovněž pojata jako experimentální ověřování technologie BioSealing v podmínkách těsnění zemní hráze MVN, avšak za definované manipulace s úrovní hladiny vody v nádrži. Etapa byla zahájena 09.05.2016, kdy bylo stabilní počasí z hlediska teploty, a ukončena byla 03.06.2016. Směs PNC Nutrolase se do vrtů dodávala po dobu 4 týdnů za současného zvyšování hladiny vody v nádrži a monitorování změn průsaků (Fránková, 2017).

Pro druhou etapu aplikace bylo stanoveno, že hladina v nádrži se bude udržovat na konstantní úrovni, a to na úrovni vyšší než je normální hladina. Z tohoto důvodu muselo být provedeno přehrazení bezpečnostního přelivu a hladina vody v nádrži byla ve dvou fázích zvýšena. Nejdříve se zvýšila o 0,17 m a v další fázi o 0,09 m, celkově se tedy hladina zvedla o 0,26 m. Důsledkem zvýšení úrovně hladiny vody v nádrži bylo i zvýšení denního průsaku vody zemní hrází z 50 l/den na 250 l/den. Hladina se udržovala v konstantní úrovni do 28.06.2016, 29.06.2016 bylo hrazení sníženo o 0,10 m.

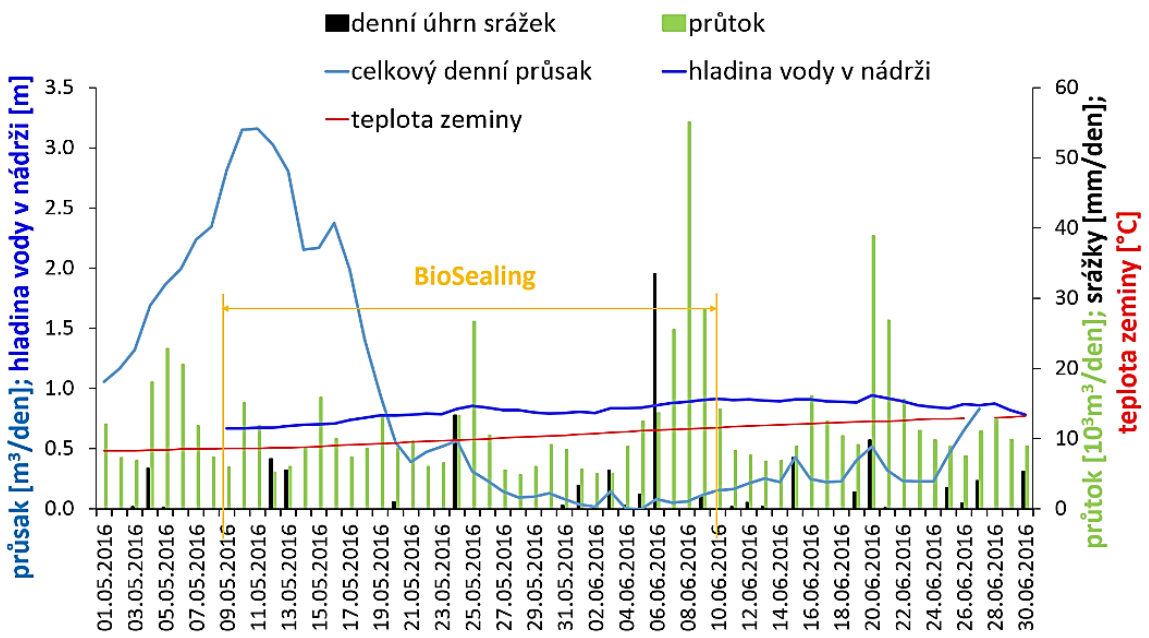
Výživová směs se dávkovala vždy v pracovních dnech v celkovém objemu 205 l za den, kde 5 l PNC Nutrolase bylo dodáváno do 200 l vody. Poměrná část z uvedeného objemu byla rovnoměrně dávkována do každého z pěti aplikačních vrtů.

### 8.2.1 Výsledky druhé etapy

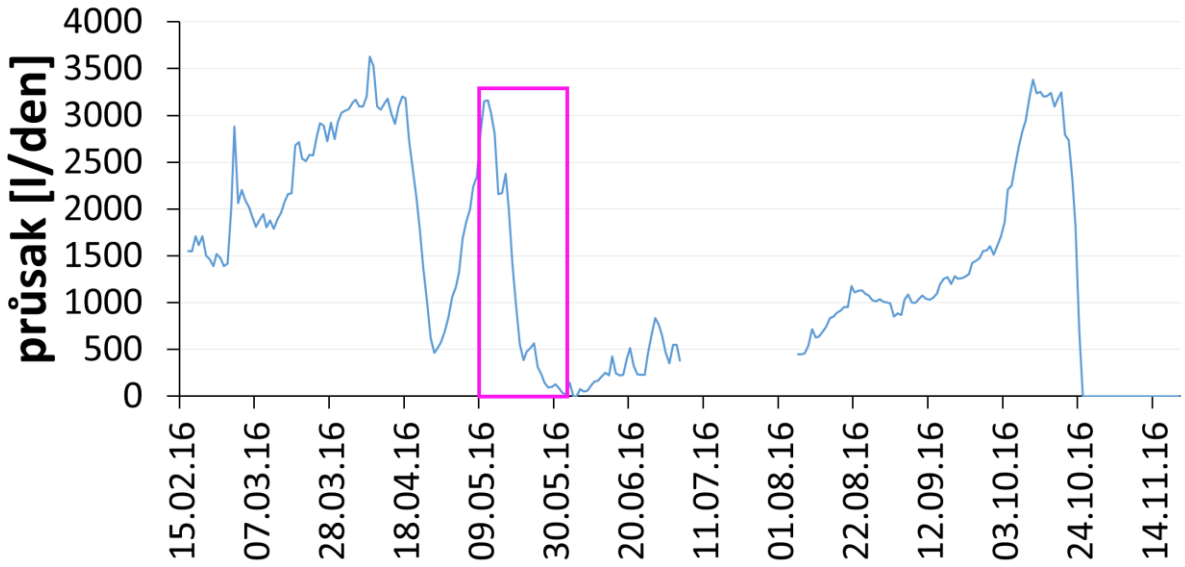
Aplikace výživové směsi probíhala od 09.05.2016 do 03.06.2016 (Pařílková, 2017) při požadované teplotě zeminy vyšší než 5 °C a manipulaci s úrovní hladiny vody v nádrži v takovém rozsahu, aby byla po dobu měření vždy vyšší než normální hladina. Průběhy denních hodnot průsaku, úrovně hladiny v nádrži, srážek a teploty v čase jsou vyobrazeny na Obr.8.14 a jsou považovány za ukazatele účinnosti sanace.

Z hlediska nejnižších měřených hodnot průsaku (Obr.8.15) lze v roce 2016 vyhodnotit tři periody. První poměrně náhlé (8 dnů) snižování hodnot měřeného průsaku je zřejmé přibližně od 18.04.2016 s minimem zaznamenaným dne 25.4.2016. Za snížením hodnot průsaku však následuje 15 denní úsek jeho opětovného zvyšování. Uvedenou epizodu lze jen obtížně vysvětlit, neboť v uvedené době ještě nebyl realizován kontinuální záznam změn úrovně hladiny vody v nádrži a ostatní sledované či dostupné parametry extrémy nevykazovaly. Druhou periodu s téměř nulovými hodnotami měřeného průsaku reprezentuje aplikace technologie BioSealing, její dosah je zřejmý do cca 13.06.2016. Poslední perioda začíná

24.10.2016, kdy byla nádrž z důvodu výlovu ryb vypuštěna, a proto byly měřeny nulové hodnoty průsaku.




Obr.8.14 – Monitorování procesu aplikace technologie BioSealing (Pařílková, 2017)



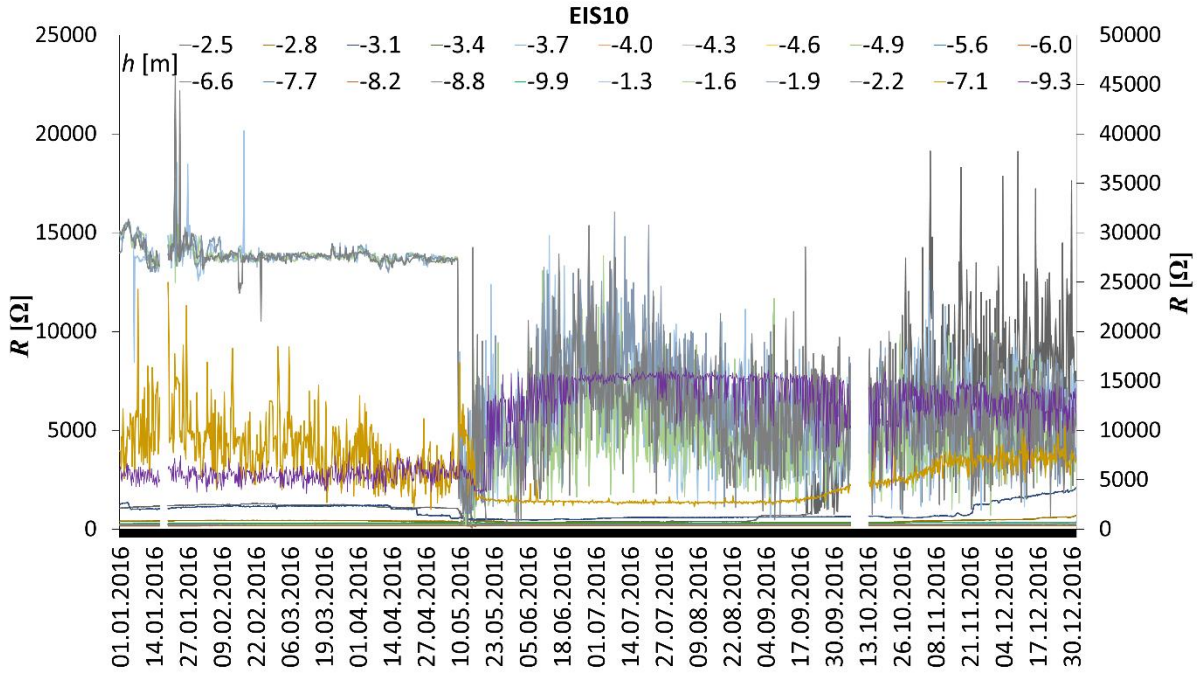

Obr.8.15 – Časový průběh velikosti průsaku v l/den za rok 2016 (Pazdírek, 2016)

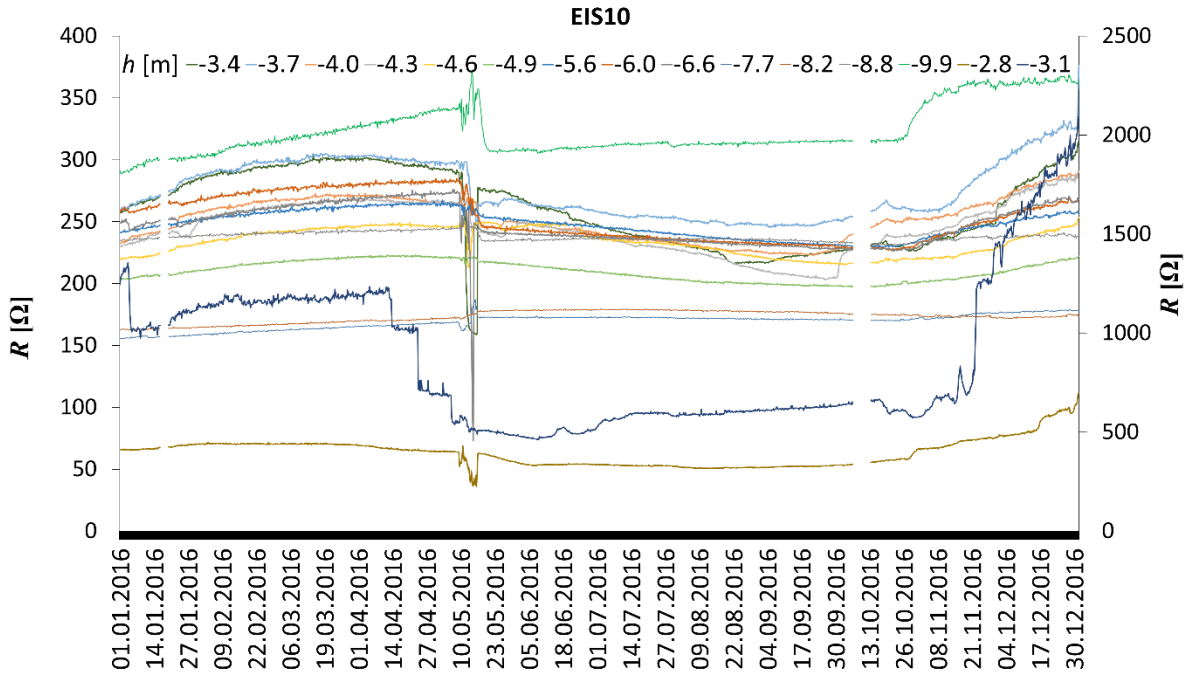
Při vyhodnocení měření sondami EIS10 (Obr.8.16) a EIS3 (Obr.8.17) se opět předpokládá, že v průběhu měření v roce 2016 nedochází v zemině k mechanickým ani chemickým změnám. U obou sond je zřejmá periodicita dávkování výživové směsi PNC Nutrolase a následné proplachování dávkovacích vrtů, které se projevilo snížením hodnot *R* ve všech měřených úrovních. Uvedená skutečnost tak dokladuje

zvýšení obsahu vody v zemině v monitorovaných profilech. Měřená rezistance *R* výživové směsi je 150 Ω až 200 Ω (Pařílková, 2017).

Z průběhu hodnot rezistance *R* měřených sondou EIS10 (Obr.8.16) je zřejmé, že nejvýraznější změny se projevily v úrovni -3,125 m a s menší intenzitou v úrovni -9,875 m. Vrstvy -1,3 m až -2,5 m nejsou, ze stejných důvodů jako v roce 2015, do vyhodnocení zahrnuty. V ostatních úrovních je trend vývoje hodnot *R* před a po ukončení dávkování výživové směsi v obdobných hodnotách. V úrovni -3,425 m se projevilo postupné a nejvýraznější snížení hodnot rezistance *R* od aplikace až do 23.08.2016 o 23 %. Pozvolné snižování nebo neměnné konstantní hodnoty rezistance *R* lze pozorovat od 16.05.2016 do 10.10.2016 u všech úrovní. Oproti roku 2015 se průběhy hodnot po celý rok 2016 výrazně neměnily. Na základě uvedeného lze usuzovat, že aplikace metody BioSealing napomohla k udržení analogických hodnot průsaku i přes klimatické jevy působící na těleso hráze. Ke konci roku 2016 ve většině měřených úrovní dochází ke zvýšení hodnot rezistance *R*, tedy snížení obsahu vody v zemině hráze, v důsledku vypouštění nádrže a nízkého srážkového úhrnu. V listopadu a prosinci 2016 byl měsíční srážkový úhrn 33 mm a 35 mm.

Ve srovnání začátku roku a konce roku se hodnoty mění v rozmezí od 2 % až do 33 %. Pro hloubky -6,025 m a -8,225 m byly hodnoty po celý rok takřka konstantní a rozdíl činí 2 %, neboť v nižších hloubkách se projevují méně výrazné změny. Největší rozdíl v nižších vrstvách je v -9,875 m a to 18 %. Vyšší vrstvy vykazují změny progresivněji. Ve vrstvě -3,125 m je rozdíl největší a to zmiňovaných 33 %, dále -3,725 m a to o 21 %.






**Obr.8.16 – Monitorování sondou EIS10, 2016 (Pařílková, 2017)**

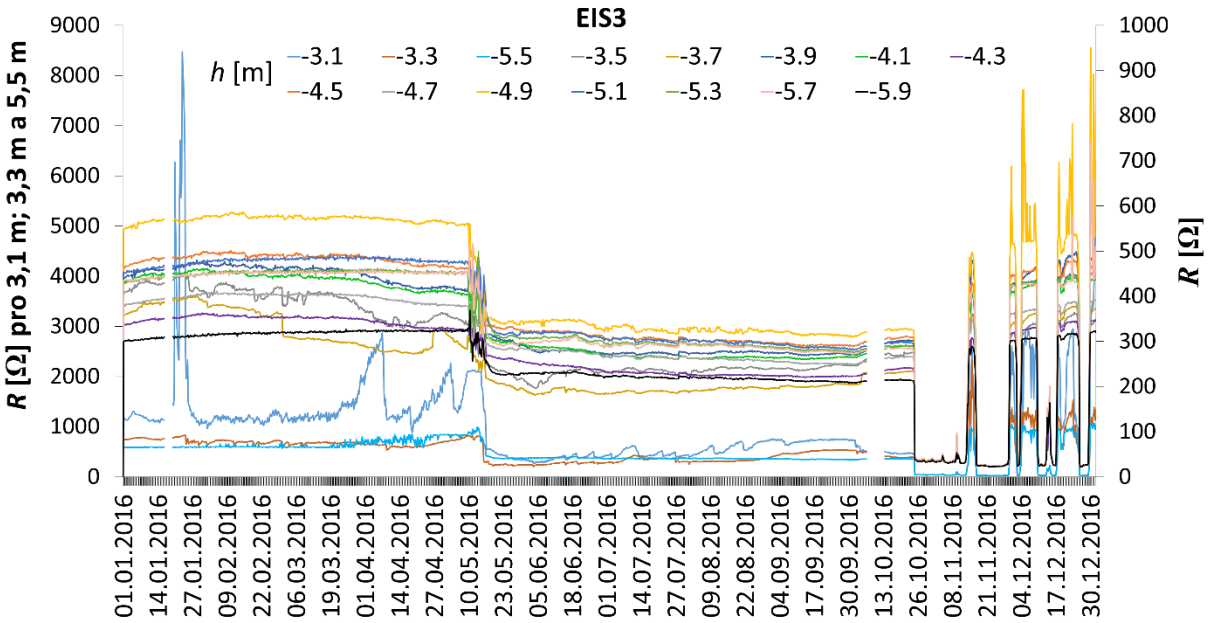
Pozitivní dopad aplikace technologie BioSealing tj. lokální dotěsnění zeminy je zřejmý v nejnižších monitorovaných úrovních, to znamená v podloží hráze.

Z průběhů hodnot rezistance *R*, naměřených sondou EIS3 (Obr.8.17), která se nachází ve výronové ploše, je jednoznačně identifikovatelná doba zahájení dávkování výživové směsi dne 09.05.2016. Po dávkování výživové směsi se ve všech úrovních snížila hodnota rezistance *R* a drží konstantní trend až do 24.10.2016, kdy se hladina vody v nádrži dostala pod úroveň měření z důvodů vypouštění nádrže. Úroveň -5,46 m nejvíce reagovala na pokles hodnot rezistance *R*, kdy se hodnoty před a po dávkování liší o 60 %. V úrovni -3,46 m hodnoty klesaly až do 04.06.2016 o 42 % a poté se začali mírně zvyšovat. Obdobně se měřené hodnoty chovaly v úrovni -3,66 m.

Při srovnání začátku roku a doby, kdy byla nádrž ještě napuštěna (do 24.10.2016) se pokles týkal všech úrovní. Nejvýraznější poklesy byly zaznamenány v úrovních -4,86 m o 42 %, v úrovni -5,46 m o 40 %. Ostatní úrovně se liší v rozmezí 4 % až 35 %, kde nejmenší 4 % rozdíl je v úrovni -3,26 m.

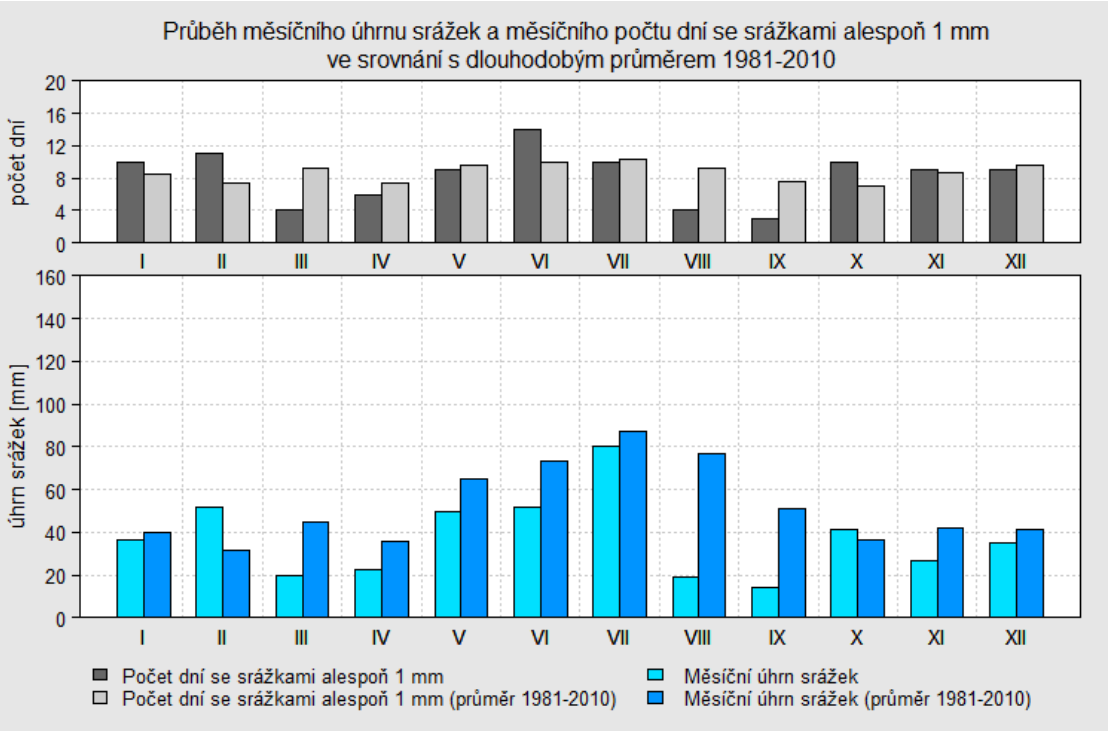
Ustálené hodnoty v rozmezí 27.07.2016 do 24.10.2016 ukazují, že z hlediska elektrických parametrů se zemina hráze v profilu EIS3 vyjma povrchových vrstev homogenizovala. Vzhledem k realizovanému výlovu ryb a tedy poměrně náhlému snížení úrovně hladiny vody v nádrži až po její vypuštění a vzhledem k problémům při manipulaci s vypouštěcím zařízením se měření ke konci roku 2016 stalo

nestabilní a méně průkazné. Měřené vysoké hodnoty *R* jsou ale také důsledkem nízkých teploty vzduchu zaznamenaných v zimních měsících.




**Obr.8.17 – Monitorování ve výronové ploše sondou EIS3, 2016 (Paříkova, 2017)**

Pozorování podporují i záznamy teploty vzduchu, kdy se v červnu až srpnu 2016 pohybovaly v rozmezí 31 °C až 36 °C [17], což je jen o 2 °C chladnější než rok 2015, takže teplotně byl rok 2016 stejný jako 2015. Ale z hlediska dlouhodobého hodnocení dešťových srážek pro kraj Vysočina se rok 2016 od roku 2015 výrazně lišil. V měsíci červnu byl úhrn srážek 65 mm, v červenci až 113 mm a v srpnu pouhých 25 mm [14]. Což je v červnu o 25 %, v červenci o 67 % více než v roce 2015, v srpnu byl srážkový úhrn naopak o 32 % nižší. Výrazné srážky v červenci (Obr.8.18) podpořily obsah vody v zemině a také mohly pravděpodobně zapříčinit vyplachování výživové směsi.

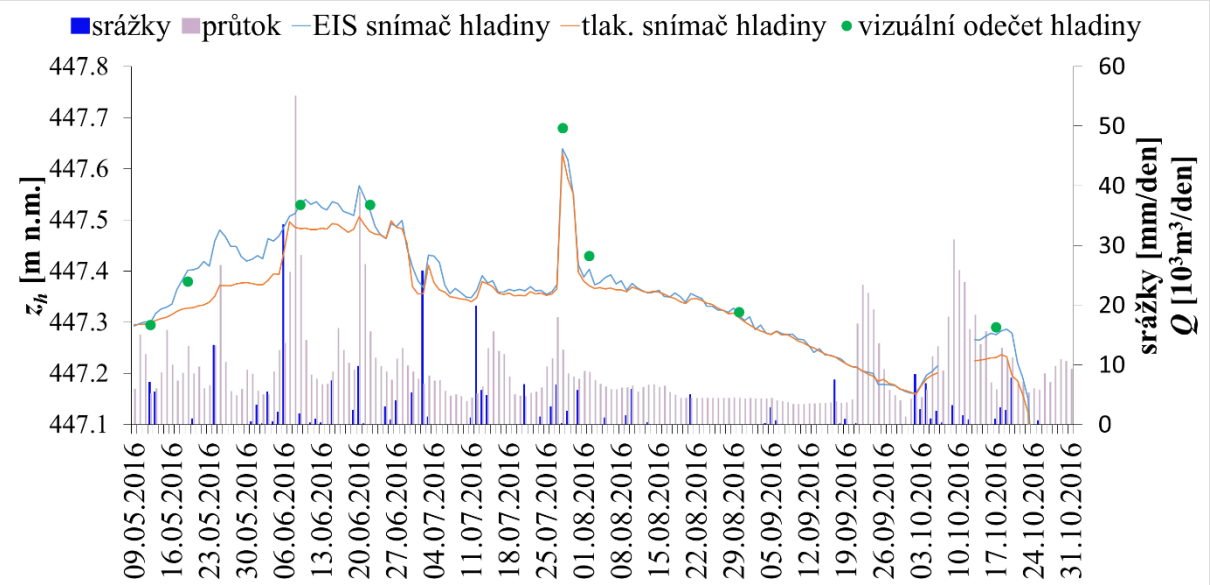



**Obr.8.18 – Průměrné měsíční úhrny srážek, data ČHMÚ-Kostelní Myslová - 2016 [15]**

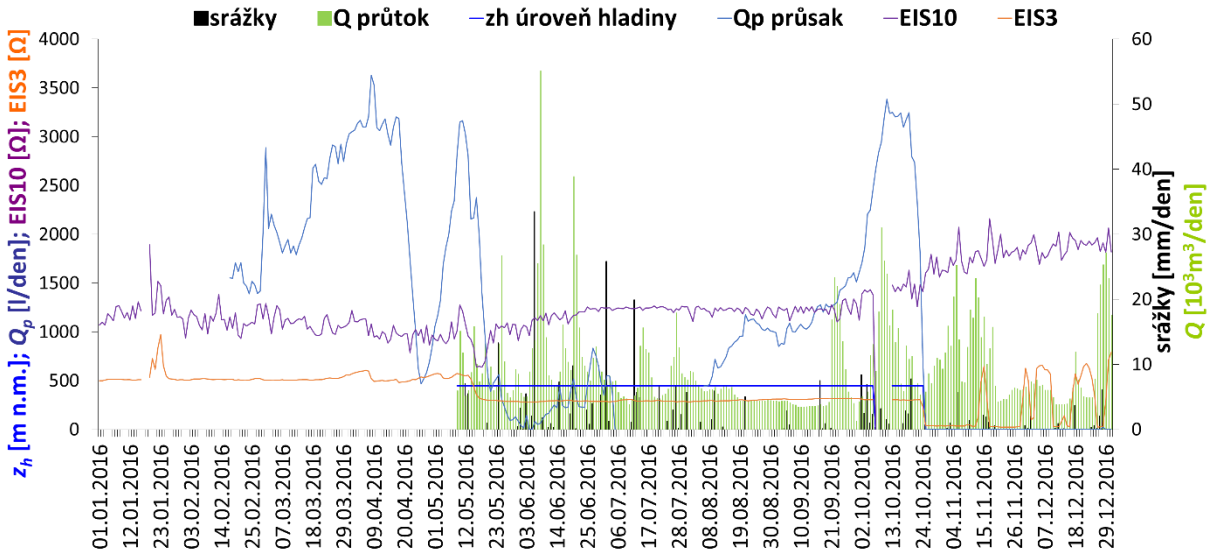
Cílem monitorování metodou EIS však není jen dokumentování aplikace metody BioSealing, ale hlavně ověření její účinnosti, zda dochází k sanaci průsaků. K tomuto závěru je potřeba uskutečnit dlouhodobé monitorování. Pokud bude při monitorování některá ze sledovaných úrovní vykazovat dlouhodobé zvýšení hodnot rezistance nad původní hodnotu, bude možné, s ohledem na další měřené veličiny, konstatovat úspěšnost sanace technologií BioSealing v podmínkách VD Hornice alespoň pro uvedenou úroveň.

Z krátkodobého hlediska lze na základě naměřených hodnot konstatovat, že sanace byla účinná, neboť byly naměřeny nižší hodnoty průsaku i při dlouhodobě vyšší úrovni hladiny vody v MVN. Nízké hodnoty průsaku (několik dní až nulové) byly měřeny po dobu jednoho měsíce. Po uvedeném období se průsak opět objevil a je zřejmý trend zvyšování jeho hodnot (Obr.8.15). Výron vody je však jev, který se vyskytuje v prostoru a čase, a proto je obtížné stanovit jeho jasný původ a určit propojení průsakových cest.

Sledované veličiny dokumentující technologii BioSealing jsou vyhodnocovány jako průměrné denní (Obr.8.19). Proto byly i hodnoty rezistance *R* (Obr.8.20) stanoveny jako průměrné denní hodnoty ze všech snímačů na sondě (Pařílková, 2017).




Obr.8.19 – Průměrné denní hodnoty sledovaných veličin, 2016 (Pařílková, 2017)




Obr.8.20 – Průměrné denní hodnoty sledovaných veličin, 2016 (Pařílková, 2017)

Z dlouhodobého hlediska lze kladně hodnotit určitou stabilizaci zemního prostředí v rozmezí od 09.05.2016 do 24.10.2016. Od konce října se začaly vyskytovat mrazy, ty jsou problematické z hlediska promrzání zeminy a výskytu krystalů ledu. Led se vyznačuje nízkou tepelnou a elektrickou vodivostí a také snižuje obsah vody v měřeném profilu, čímž se podílí na zvýšení měřených hodnot *R* (Obr.8.20).

# 9 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY Z ROKU 2017 A 2018

V roce 2017 bylo původně opět plánováno dávkovat výživovou směs PNC Nutrolase technologie BioSealing na pro sanaci zemní hráze VD Hornice. Bohužel od tohoto záměru bylo z důvodů realizace technologie BioSealing na jiné lokalitě (Opatovický kanál) upuštěno. Monitorování zemní hráze MVN Hornice však pokračovalo a pokračuje i nadále. Dle dostupných informací není zcela uzavřena ani otázka případné další aplikace výživové směsi. V letech 2017 a 2018, kdy sanace realizována nebyla, jsou při sledování kondice zemní hráze zachyceny především povětrnostní vlivy a zásahy člověka, kdy např. po výlovu ryb byla nádrž od 23.02.2017 opět napouštěna.

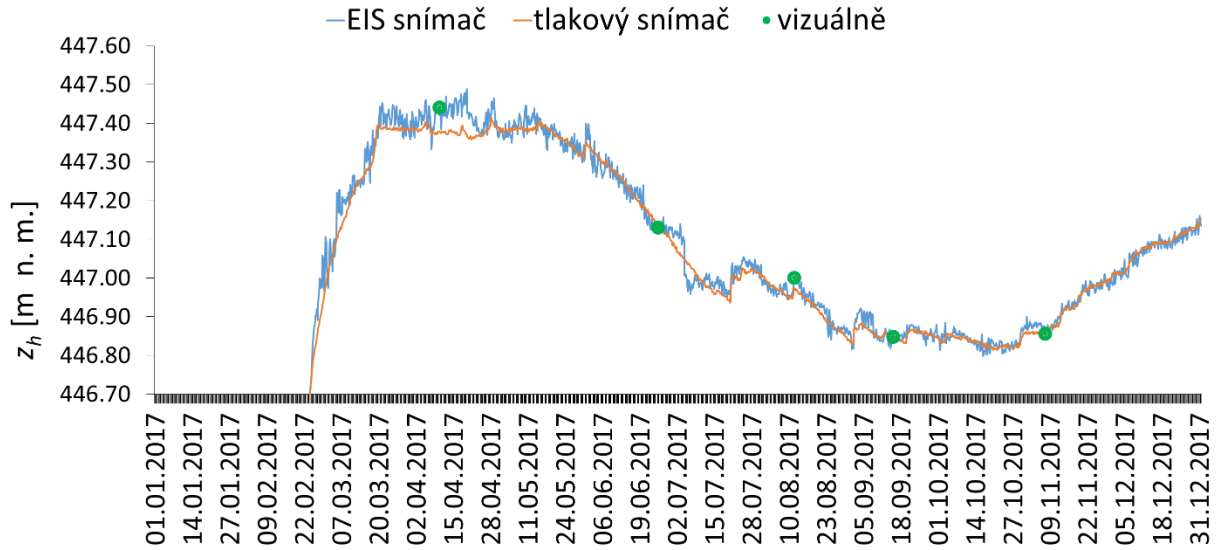
Monitorování zemní hráze v roce 2017 i 2018 se provádělo automaticky se stejnou četností jako v letech 2015 a 2016, tj. 4× denně – v 01 hodinu, 07 hodin, 13 hodin a v 19 hodin, a to i přes skutečnost, že zadavatel vznesl požadavek na jeho omezení.

## 9.1 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

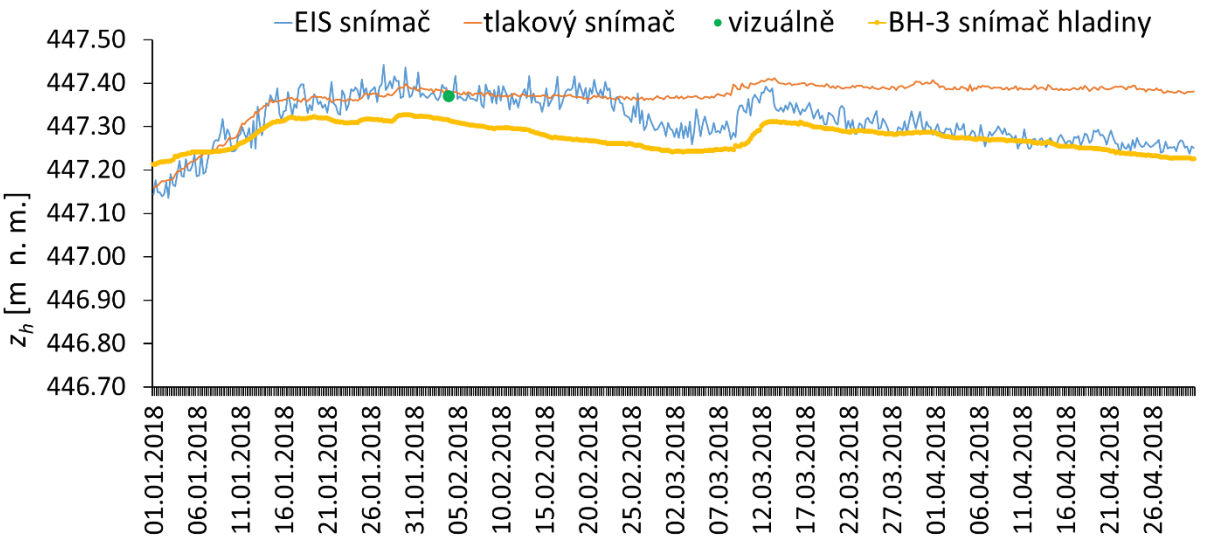
### 9.1.1 Průběh změny hladiny vody v nádrži

Dle dostupné výkresové dokumentace (Hejtman, 2012) je úroveň hladiny v nádrži vztažena ke kótě 447,10 m n.m. Jedná se o horní hranu pomocného bezpečnostního přelivu. Monitorování změny úrovně hladiny vody v nádrži se kontinuálně provádělo až od 09.05.2016, a to hydrostatickým snímačem úrovně hladiny a plovákovým snímačem založeným na principu měření metodou EIS (Pařílková a kol., 2016). Doplnění dat manuálním měřením při vizuálním odečtu bylo provedeno 5x v průběhu roku 2017 (Obr.9.1a) a 1× ve vyhodnocované periodě roku 2018 (Obr.9.1b). Oba snímače byly k přelivné hraně uvedeného přelivu osazeny tak, aby umožnily měření zvýšení a snížení úrovně hladiny vody v nádrži v rozsahu ± 0,80 m. Měření úrovně hladiny vody přímo v nádrži bylo možno korelovat s měřením v injektážním vrtu BH-3 (Obr.9.1b), který pozičně korespondoval s profilem měření hodnot elektrické impedance zeminy a byl v něm rovněž osazen hydrostatický snímač úrovně hladiny. Nádrž se po výlovu ryb začala napouštět 23.02.2017.

Z vyhodnocených průběhů je zřejmé, že všechny přístupy k měření úrovně hladiny vody v nádrži poskytují očekávané a v podmínkách MVN Hornice adekvátní výsledky. Každý z přístupů však sebou nese i jistá omezení, která je nutno zohlednit.




Obr.9.1a – Denní hodnoty, automatické měření úrovně hladiny v nádrži v roce 2017




Obr.9.1b – Denní hodnoty, automatické měření úrovně hladiny v nádrži v roce 2018

Pro měření plovákovou metodou využívající principu EIS je to především nezbytnost korekce hodnot s teplotou. Provoz snímače již v roce 2016 ukázal, že korekce měřených hodnot rezistance *R* s teplotou je nutná, a to i přes jeho uložení ve dvojitém pouzdře.

Použitý hydrostatický snímač úrovně hladiny vody v nádrži vykazuje kvantitativně odlišný průběh úrovně hladiny vody v nádrži od konce měsíce února 2018. Zde může být uvedená skutečnost způsobena instalací snímače resp. uložením kapilár přenášejících tlakové změny. Pravděpodobně kondenzací mikroskopických částic vody v kapilárách, z nichž se následně přenáší měřený signál, dochází k jeho

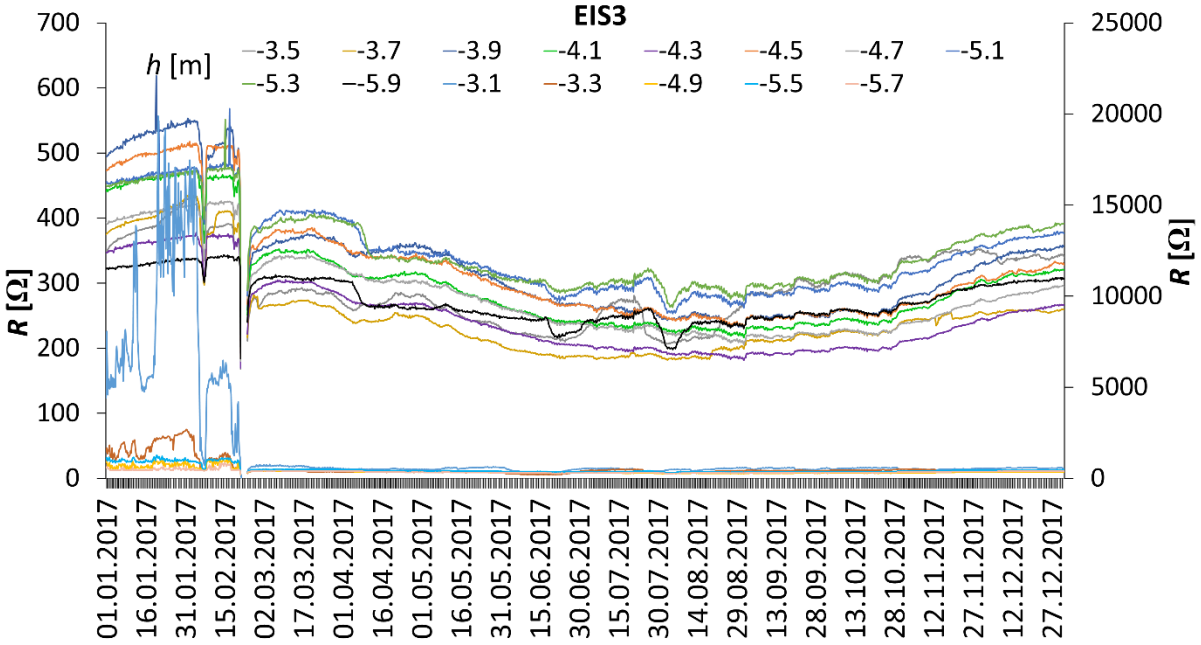
zkreslení. K uvedenému jevu může docházet např. v důsledku vysokého teplotního gradientu mezi měřeným prostředím a okolím snímače. Uvedená skutečnost je jistě potlačena v případě hydrostatického snímače úrovně hladiny vody ve vrtu, kde jej ovlivňuje pouze teplota zeminy.

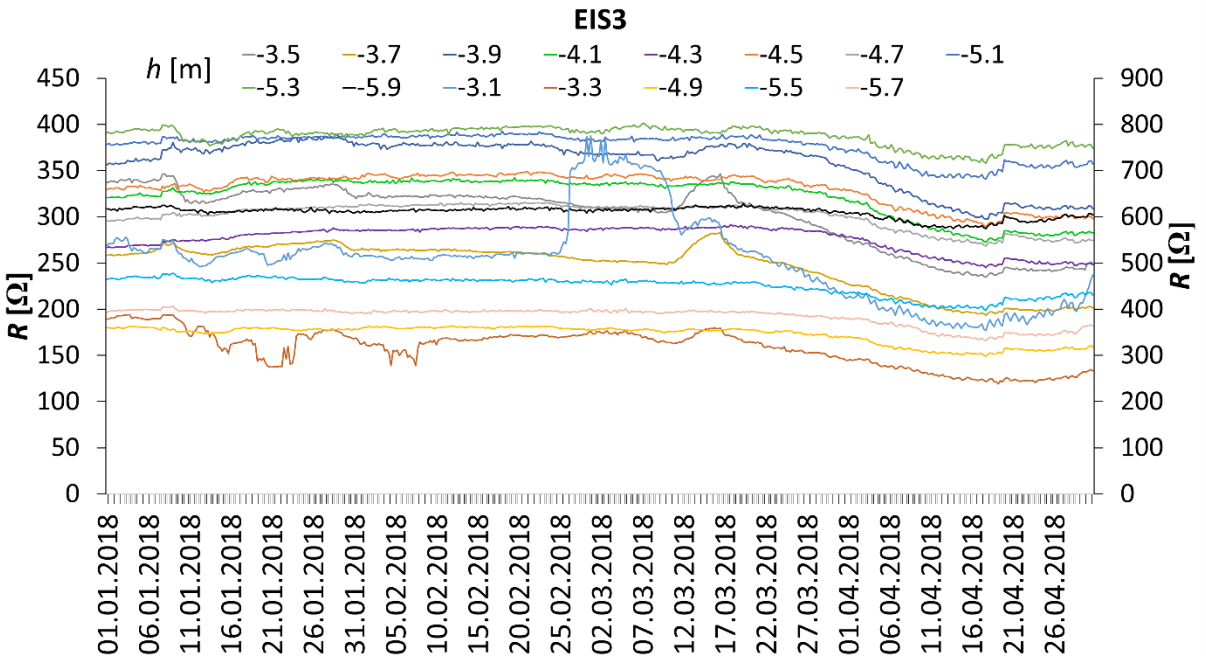
Je však možno konstatovat, že průběh křivek je i v roce 2018 kvalitativně shodný a v důsledku nedostatku srážek především v měsíci dubnu 2018 je pokles hladiny vody v nádrži o 0,14 m předpokladatelný.

### 9.1.2 Průběh hodnot rezistance *R*

Rovněž měření průběhů hodnot rezistance *R* v roce 2017 a 2018 navazovalo u obou sond na schéma zavedené v předchozích letech, tj. hodnoty byly v jednotlivých úrovních u obou sond snímány 4x za 24 hodin.

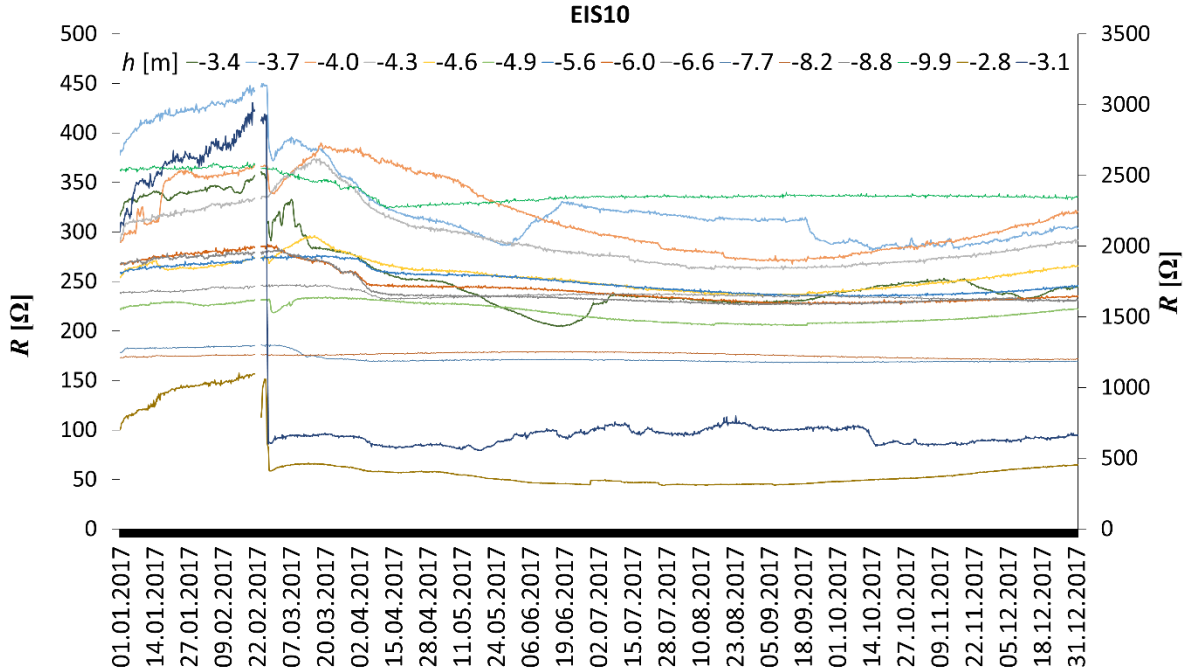
Z průběhů hodnot rezistance *R* měřených sondou EIS3 je zřejmé, že po napuštění nádrže je trend jejich vývoje shodný. Výjimku opět tvoří pouze průběhy měřené v úrovních blízko povrchu vzdušného líce hráze, které jsou podpořeny reakcí na povětrnostní vlivy. Celkově lze konstatovat, že hodnoty nevykazují extrémní výkyvy a většina hodnot na jaře 2017 odpovídá hodnotám, které se naměřily na jaře 2018. Rozmezí změn hodnot na jaře a v létě 2017 se pohybuje v rozmezí od 14 %, pro úroveň -3,26 m, do 39 %, tato největší změna je v úrovni -5,46 m. Úroveň -3,46 m zaznamenává v průběhu roku odlišné hodnoty od ostatních nejvýrazněji v období od 21.06.2017 do 01.09.2017. V roce 2018 je zatím zaznamenáno největší snížení hodnot rezistance *R* od 16.03.2018 do 14.04.2018 v úrovních -3,46 m a -3,66 m. Úrovně -3,06 m, -3,26 m a -3,46 m ovlivňuje hladina vody v nádrži a také povětrnostní vlivy. Je však obtížné říct, kdy a která z těchto dvou okolností převažuje.

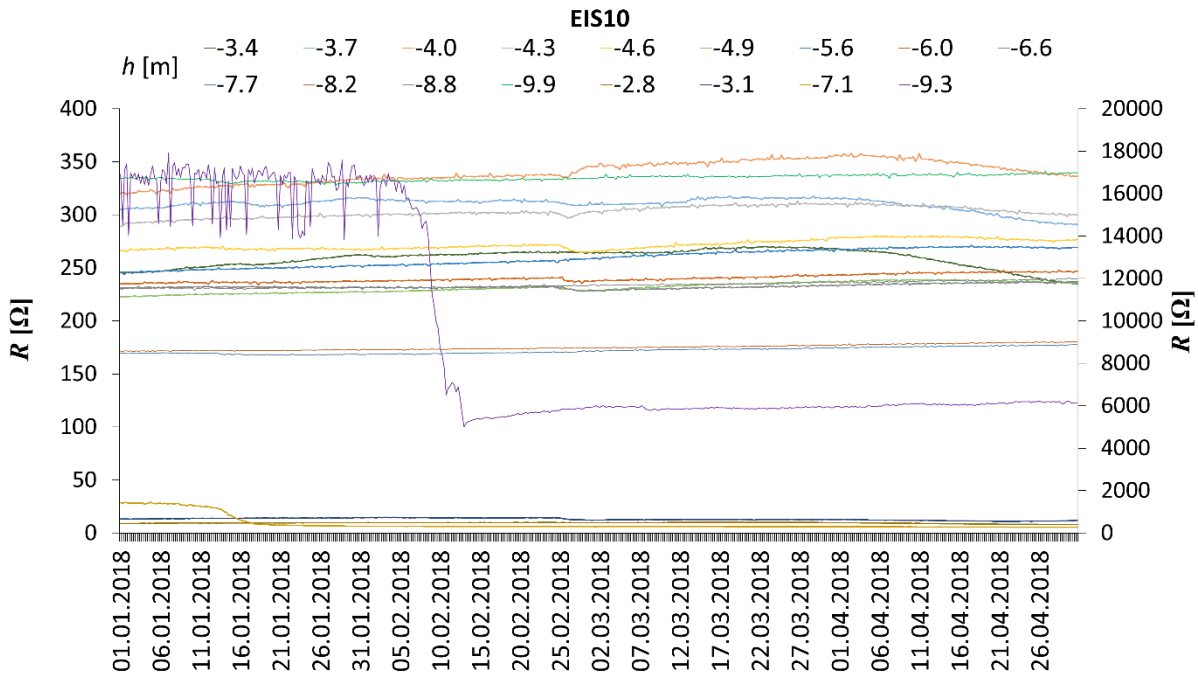





Obr.9.2 – Monitorování ve výronové ploše sondou EIS3, 2017 a 2018

Z průběhu hodnot rezistance *R* měřených sondou EIS10 je zřejmé, že napuštění nádrže nejvíce ovlivnilo hodnoty v úrovni -3,125 m, a to až o 79 %. V průběhu roku 2017 se většina hodnot držela v konstantní hladině. Nejvýraznější změny se projevovaly v úrovni -4,025 m, kdy se hodnoty v létě oproti jaru snížily o 30 % a v zimě se zvýšily o 25 %. Nejmenší změny po celý rok 2017 a jaro 2018 vykazují úrovně -7,675 m a -8,225 m, kdy se jejich hodnoty mění jen o 4 %.






Obr.9.3 – Monitorování sondou EIS10, 2017 a 2018

Dále je možné si povšimnout kvalitativně shodných průběhů hodnot *R* v úrovních -3,4 m a -4,3 m, kdy je možné do konce června 2017 v úrovni -3,4 m, resp. do začátku června 2017 v úrovni -4,3 m pozorovat poměrně výrazné zvýšení obsahu vody v zemině a jeho následné odeznívání. Zatímco v úrovních -4,0 m a -4,6 m probíhaly uvedené změny obsahu vody v zemině zvolna, avšak na hodnoty vypuštěné MVN se do konce dubna nedostaly, přestože úroveň hladiny vody v nádrži (Obr.9.1b) v důsledku období bez srážek klesá.

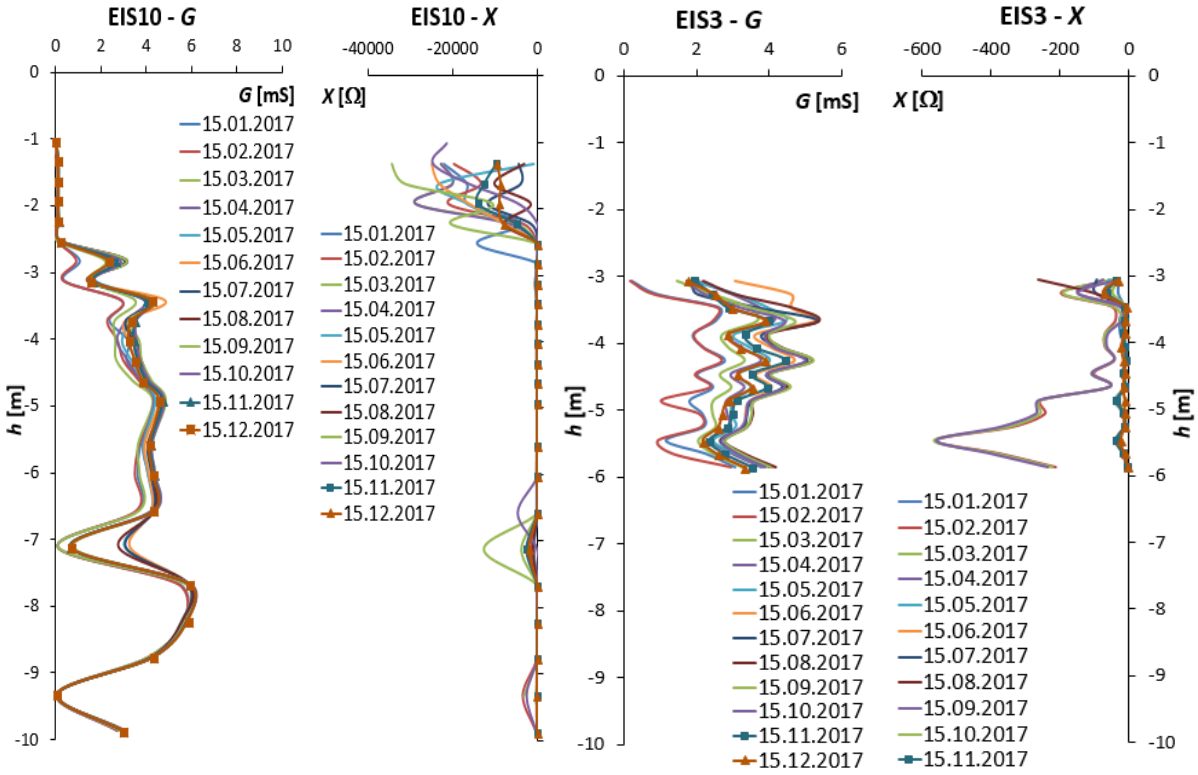
### 9.1.3 Průběhy rezistance *R* a reaktance *X*

Doplňující pohled na průběh změn obsahu vody v zemině může poskytnout vyhodnocení průběhu rezistance *R* a reaktance *X*. Průběhy jsou vyhodnoceny z dat snímaných v polovině měsíce tj. 15 den ve 13 hodin pro všechny měřené úrovně hráze a obě sondy.

Z průběhů hodnot rezistance *R*, resp. elektrické vodivosti *G* (převrácená hodnota rezistance *R*) je patrné, že v případě sondy EIS10, je oblast dlouhodobě vyššího obsahu vody v zemině v úrovních -7,675 m až -8,775 m, neboť jsou zde vykázány vyšší hodnoty *G*. Nízké hodnoty jsou zřejmé v úrovních -7,125 m a -9,325 m tj. nižší obsah vody, a protože se v těchto úrovních hodnoty reaktance *X* zvyšují, je možné usuzovat, že se v těchto místech nachází odlišná zemina s jinou strukturou a složením. Nízké hodnoty jsou měřeny i v úrovních -1,025 m až -2,225 m. Ale vzhledem k průběhům reaktance *X*, lze uvedený vliv přisuzovat spíše nehomogenitě zeminy z hlediska jejího složení a velikosti zrna.

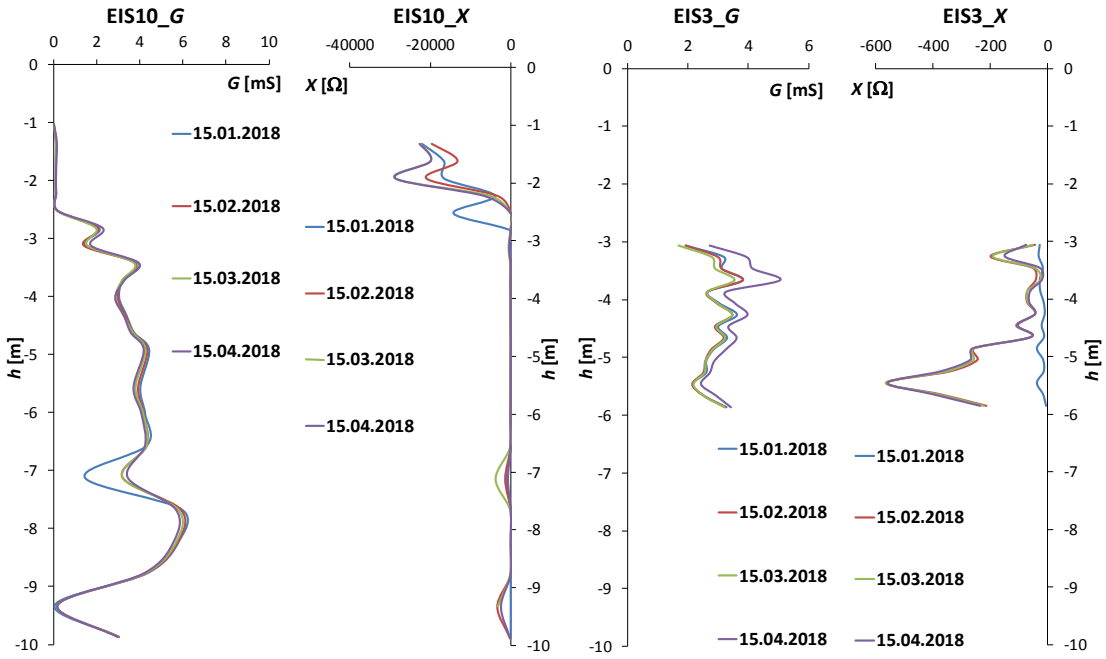
Z průběhů hodnot elektrické vodivosti *G* i reaktance *X* měřených sondou EIS3 lze konstatovat, že nejvyšší obsah vody se nachází v úrovni -3,66 m. Při porovnání obou sond jsou hodnoty nejnižší v měsíci leden a únor 2017, a to z již zmíněného důvodu vypuštěné nádrže. Nejvyšší hodnoty lze pozorovat v období září a říjen 2017, kdy obsah vody v zemině opět narůstá i přes skutečnost, že se na lokalitě v průběhu podzimu nevyskytly žádné výraznější dešťové srážky.

Na základě průběhu reaktance lze zeminu v profilu měřeném sondou EIS3 považovat za homogenní, pouze při jejím povrchu jsou patrné mírné výkyvy v měřených charakteristikách. Tyto změny však je možnou přisoudit povětrnostním vlivům, travnímu pokryvu a případně působícím organismům (v roce 2017 zde byl zaznamenán vyšší počet jedinců užovky hladké).




Obr.9.4 – Monitorování hodnot elektrické vodivosti *G* a reaktance *X*, EIS10 a EIS3, 2017 (Pařílková a Králíková, 2017)

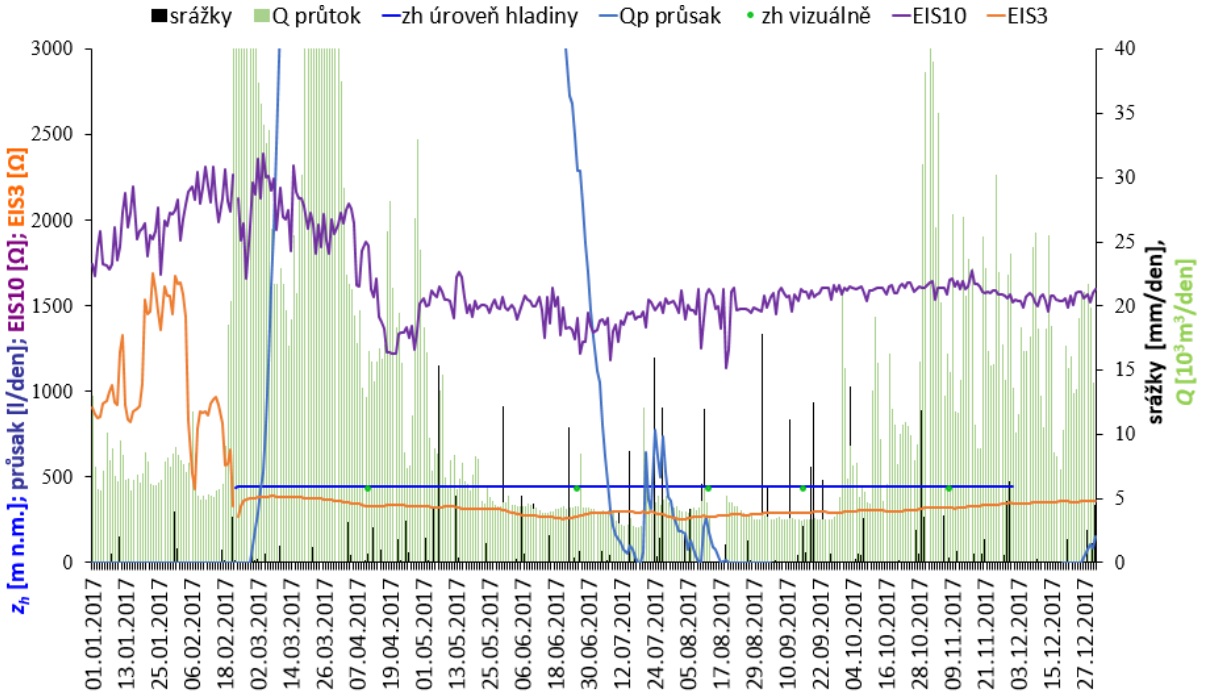
Pro průběhy zjištěné ve vyhodnocovaných měsících roku 2018 (Obr. 9.5) lze konstatovat kvalitativně stejné závěry jako pro předchozí monitorovaná období. Pokud tedy z dlouhodobého hlediska aplikací technologie BioSealing došlo ke strukturálním změnám zeminy, nejsou tyto metodou EIS a použitou aparaturou měřitelné.



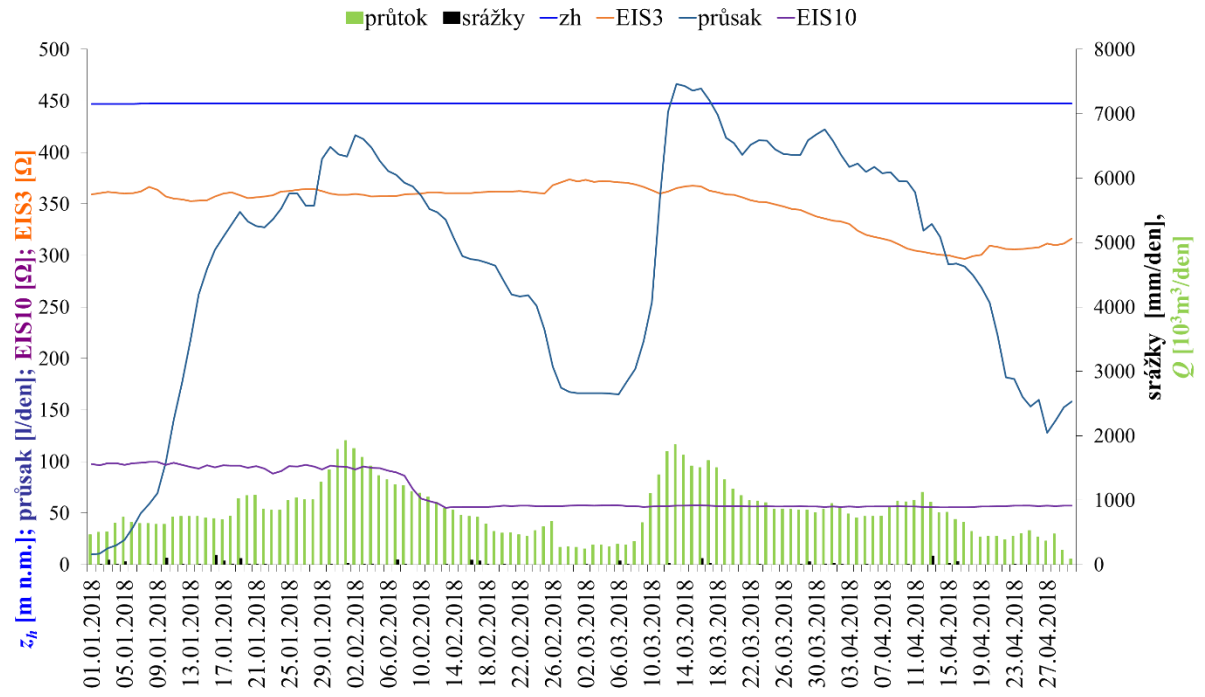

Obr.9.5 – Monitorování hodnot elektrické vodivosti *G* a reaktance *X*, EIS10 a EIS3, 2018

### 9.1.4 Průměrné denní hodnoty sledovaných parametrů

Z důvodu sjednocení vypovídací schopnosti všech sledovaných parametrů, byly jejich všechny měřené hodnoty přepočteny na průměrné denní hodnoty. Dále byl zájem uvést sledované parametry v jednom grafickém zpracování, což však mělo za následek např. potlačení změn úrovně hladiny v nádrži (Obr. 9.6 a 9.7).




Obr.9.6 – Průměrné denní hodnoty sledovaných veličin, 2017 (Pařílková a Králíková, 2017)




Obr.9.7 – Průměrné denní hodnoty sledovaných veličin, 2018 (Králíková, 2017)

Z vyhodnocených závislosti je zřejmá velmi dobrá korelace průběhu denních hodnot průsaku a průtoku, a to i ve vazbě na denní srážkový úhrn. Dále je možno konstatovat kvalitativní shodu průběhů rezistance *R* v obou měřených profilech opět v návaznosti na průtok a denní srážkový úhrn.

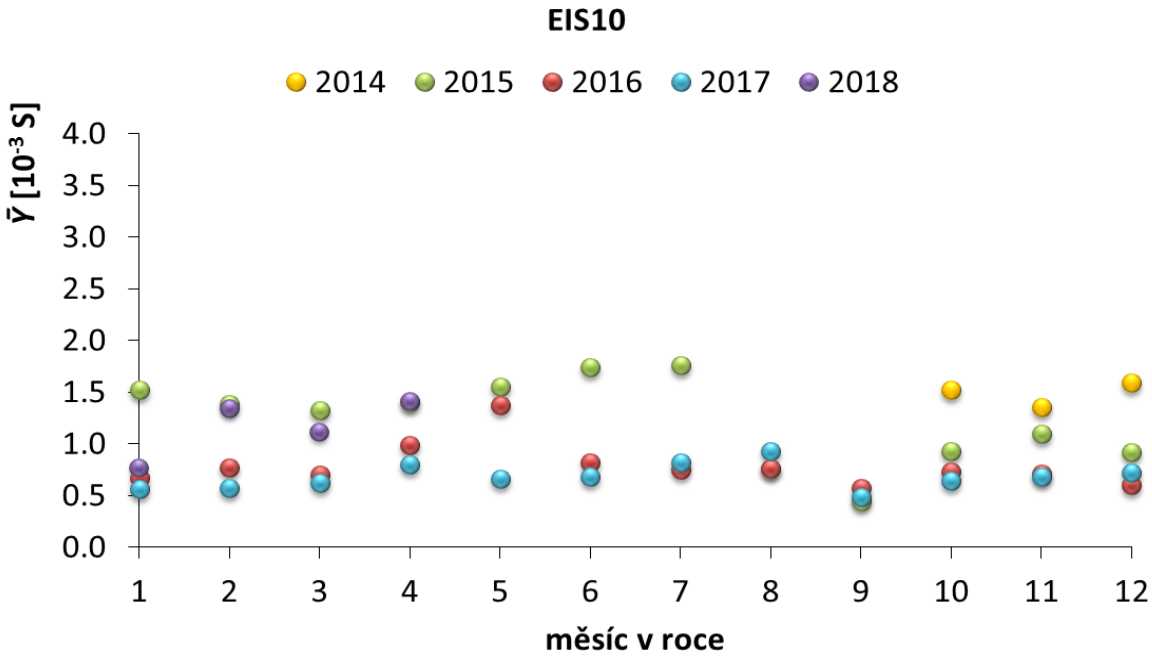
Na základě vazby na data poskytnutá ČHMU (průtoky z limnigrafické stanice v Jemnici a srážky ze stanice v Moravských Budějovicích) je možno konstatovat, že

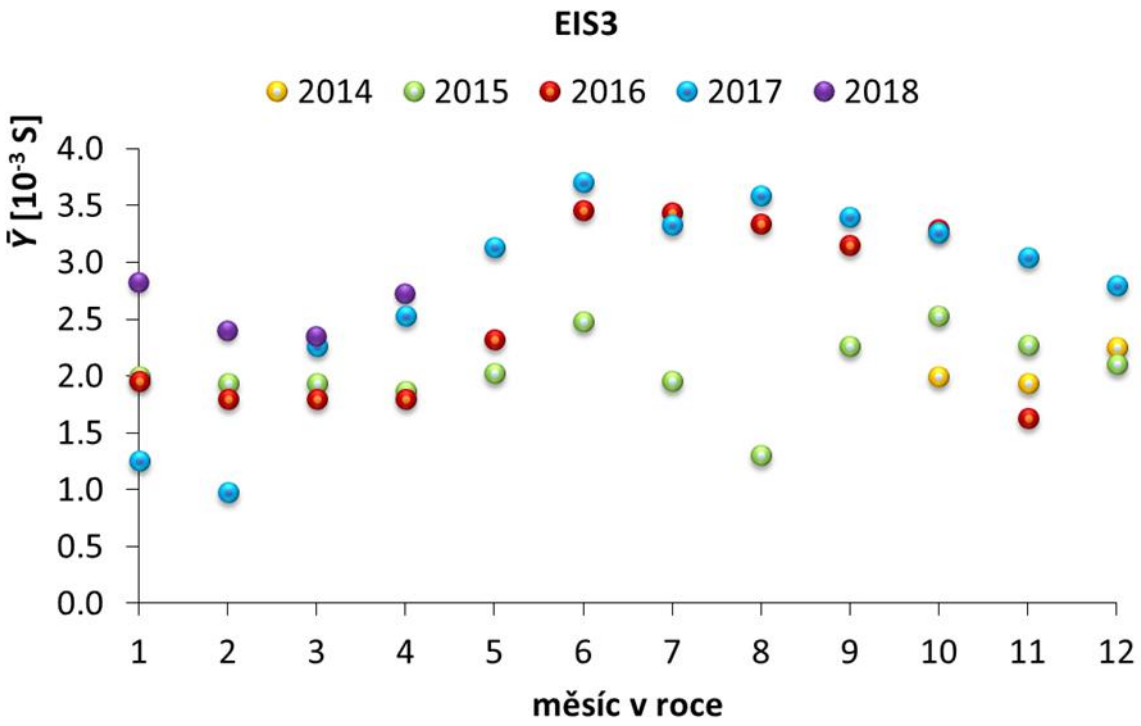
uvedené průběhy potvrzují funkčnost monitorovacího systému, a proto podporují i závěry uvedené po jednotlivých aplikacích technologie BioSealing.

## 9.2 SOUHRNNÉ ZHODNOCENÍ SLEDOVANÝCH PARAMETRŮ

Další veličinou, která umožňuje popsat zdánlivou vodivost zeminy a fázový posuv napětí proti proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu zvolené frekvence, v diskutované aplikaci byla 8 kHz, je admitance (Sedlák a Štoll, 2012) zeminy. Protože se jedná o převrácenou hodnotu elektrické impedance, bylo možné ji rovněž z měřených parametrů vyjádřit.

Pro grafické zpracování byla admitance zeminy vyjádřena jako aritmetický průměr hodnot ze všech úrovní měřených sondou EIS10 resp. sondou EIS3 v jednotlivých měsících daného roku. Zachycuje změny obsahu vody v zemině i případné změny strukturální, a protože je vyhodnocena pro roky 2014 až 2018, umožňuje komplexní zhodnocení kondice zemní hráze MVN Hornice.

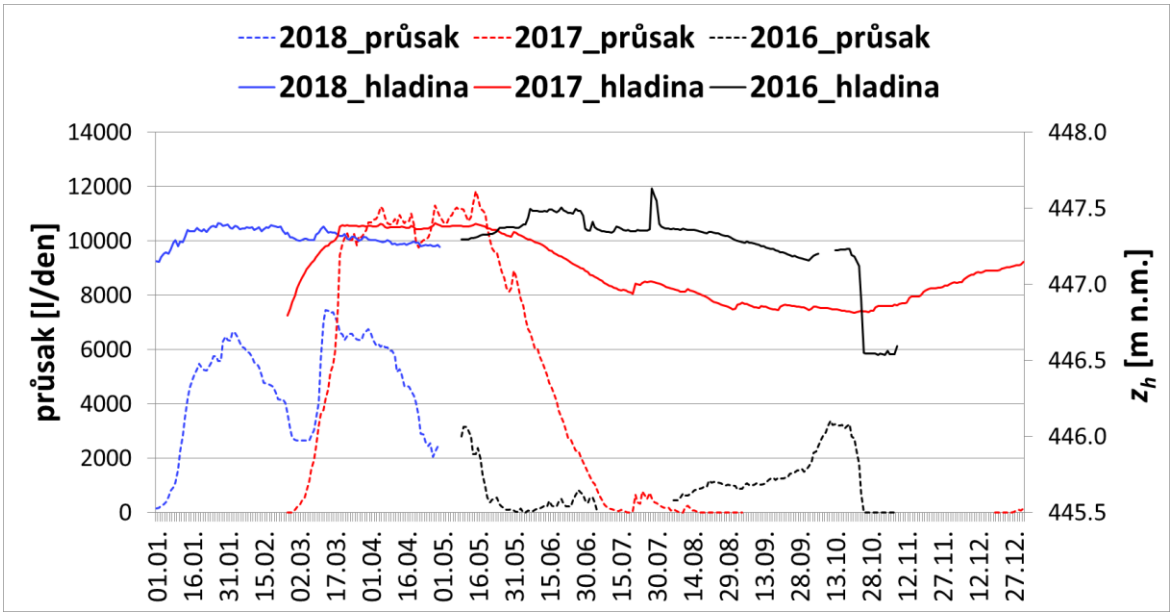





Obr.9.8 – Monitorování hodnot průměrné měsíční admitance, EIS10 a EIS3, 2014 - 2018

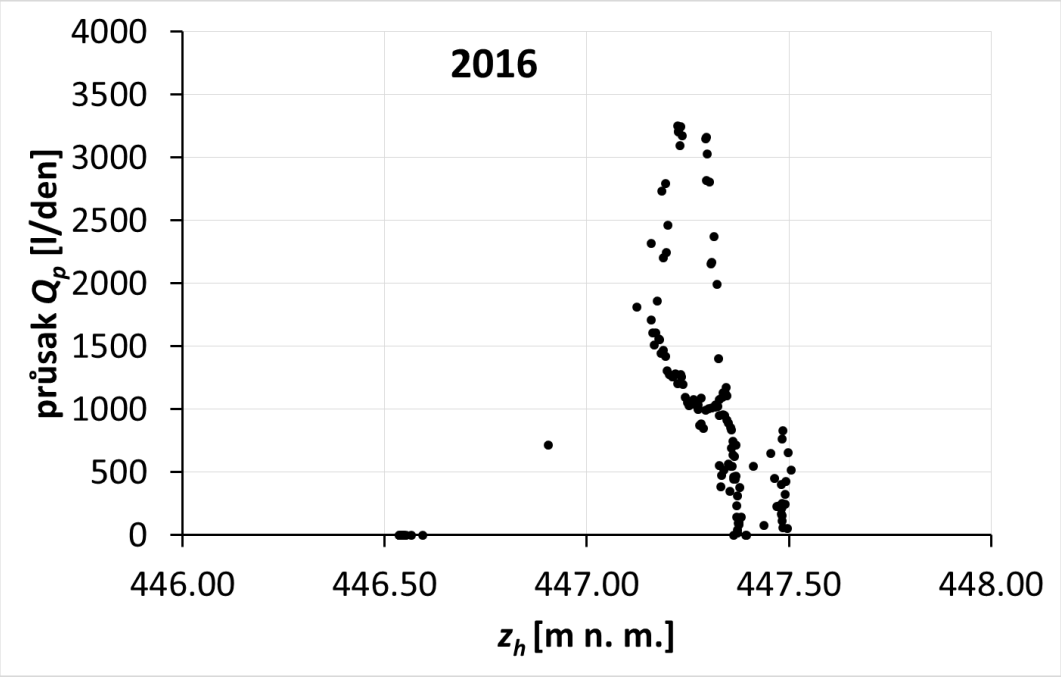
Pro hodnoty měřené sondou EIS10 je možné konstatovat dobrou shodu průběhů v roce 2016 a 2017. Hodnoty zjištěné ve vyhodnocených měsících roku 2018 korelují s hodnotami roku 2015. Hodnoty měřené sondou EIS3 jsou více ovlivněny povětrnostními vlivy, přesto lze konstatovat kvalitativní shodu jejich průběhů.

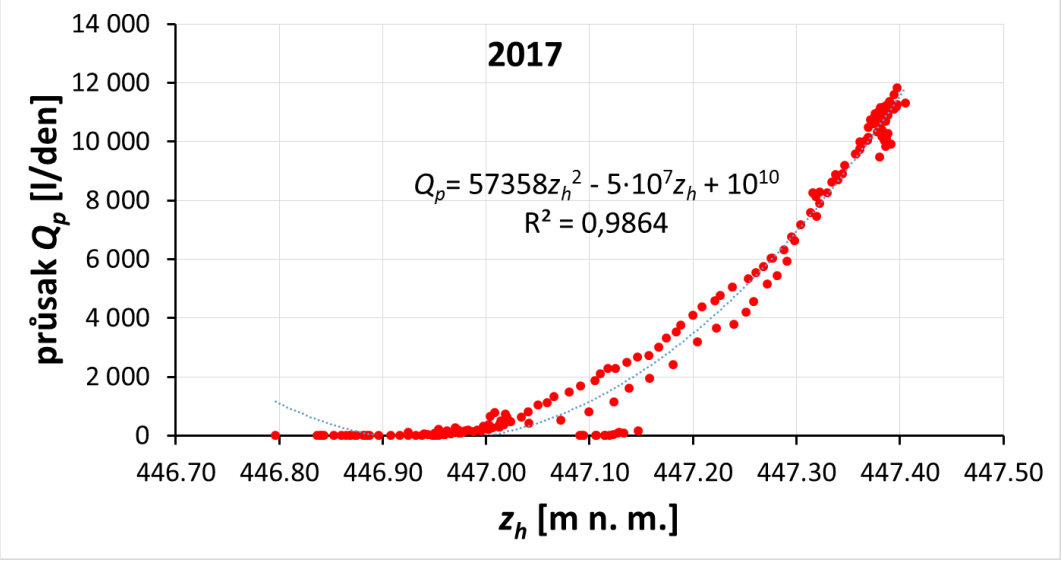
Z vodohospodářského hlediska lze za nejvýznamnější považovat komparaci průběhu úrovně hladiny vody v nádrži s měřeným průsakem (Obr. 9.9).

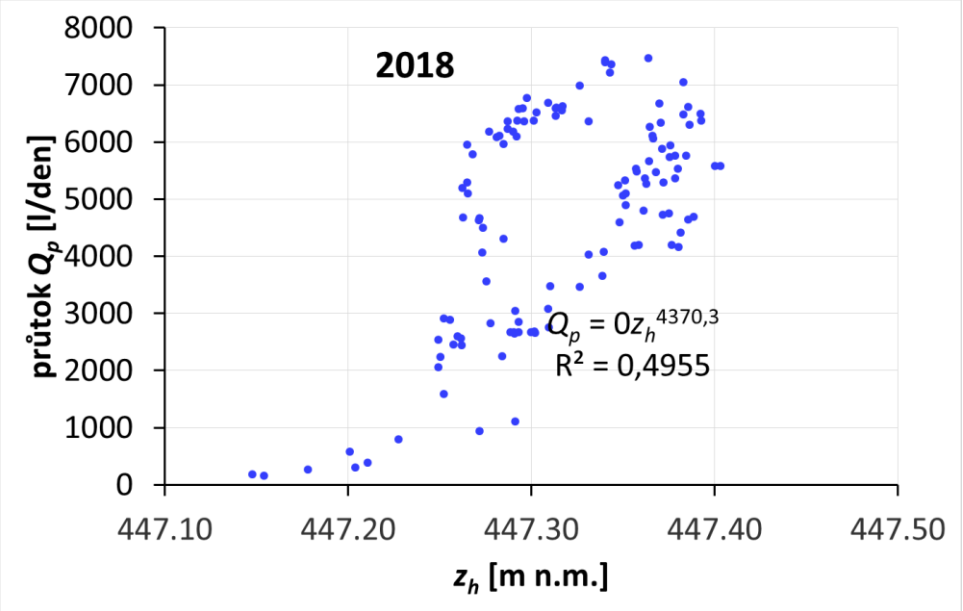



Obr.9.9 – Denní hodnoty průsaku a úrovně hladiny vody v MVN, 2016 - 2018

Kontinuální měření úrovně hladiny vody v nádrži bylo zahájeno až v roce 2016, proto výsledky první aplikace technologie BioSealing nejsou v hodnocení zahrnuty. Na základě uvedeného výsledku však lze konstatovat, že ačkoli v určitých periodách vyhodnocených let byla $z_h$ na přibližně stejné úrovni, hodnoty měřených průsaků jsou výrazně odlišné a vzájemnou korelaci mezi zmíněnými veličinami se nepodařilo, vyjma roku 2017, určit (Obr. 9.10). Za problematickou by bylo možno považovat situaci v roce 2017 (nebyla aplikována technologie BioSealing), kdy byly v březnu až květnu měřeny maximální hodnoty průsaku až o 32 % vyšší než v roce 2018 (nebyla aplikována technologie BioSealing) a až o 74 % vyšší než v roce 2016 (v roce 2015 byla poprvé aplikována technologie BioSealing a v roce 2016 se aplikace opakovala).






Obr.9.10 – Závislost průsaku na úrovni hladiny vody v MVN Hornice, 2016 - 2018

# 10 ZÁVĚR

Technologie BioSealing se na území České republiky testovala poprvé v pilotním projektu Projekt VaV - Inovace v GEO*test* a.s. – Biosealing, realizovaném v rámci programu Inovace MPO, Inovační projekt – Výzva IV. – II. Prodloužení v součinnosti s mezinárodním projektem E!7614 programu EUREKA na zemní hrázi VD Hornice. Společnost GEO*test* a.s. je členem mezinárodního průmyslového projektu - Joint Industry Project Biosealing (JIP), který se vývoji a aplikaci technologie BioSealing věnuje a pro aplikaci v ČR má výhradní právo. Aplikace na zemní hrázi MVN Hornice byla prvním praktickým ověřením licenčně zakoupené technologie BioSealing v podmínkách ČR a dokumentuje její potenciál při lokálním těsnění zemních hrází. Při srovnání s tradičními metodami sanace zemních hrází má technologie BioSealing jistě mnoho výhod, kdy mezi nejvýraznější lze zahrnout nižší náklady při její aplikaci, výrazně menší narušení životního prostředí a také, že není zapotřebí výrazných zásahů do tělesa hráze.

Aplikace technologie BioSealing na zemní hrázi MVN Hornice se uskutečnila ve dvou etapách. Dávkování výživové směsi PNC Nutrolase se provádělo v letech 2015 a 2016 v jarních obdobích. Po ukončení dávkování však každý rok nastalo velmi horké a suché léto. To mělo za následek, že se v roce 2015 hladina vody v nádrži snížila a dostala pod úroveň dávkování výživové směsi a data, která měla dokumentovat účinnost sanace zemní hráze metodou BioSealing nebyla průkazná. Z tohoto důvodu se v roce 2016 udržovala hladina vody v nádrži na konstantní úrovni, případně se i mírně zvýšila. Prokázalo se, že po dobu jednoho měsíce aplikace technologie BioSealing úspěšně fungovala a měřený průsak byl po určitou dobu nulový. Bohužel následně se opět začal objevovat, avšak přímou příčinnou souvislost se nepodařilo prokázat. Přesto se dá se na základě provedených prací usuzovat, že z krátkodobého hlediska je technologie BioSealing účinná. Je ale nutné ji aplikovat častěji, aby se aktivovaly, udržovaly a případně obnovily bio-chemické reakce v zemině.

Pro zlepšení její účinnosti je důležité podrobně zkoumat charakter zemní hráze a provést podrobnější laboratorní průzkumy zeminy. Teprve až po důkladném průzkumu a rozboru vlastnosti zemin zvolit, zda je použití této technologie vhodné. Také z důvodu toho, že povětrnostní a klimatické jevy na tuto technologii mají velký dopad.

Metoda EIS v součinnosti s dalšími aplikovanými metodami umožňuje dlouhodobé sledování procesů probíhajících v zemině, a to jak při jejím zatížení vodou, tak v období sucha včetně reakce na povětrnostní vlivy. Z mého pohledu

mohu konstatovat, že postupně dovybavený monitorovací systém vytvořil komplexní celek, který umožnil dokumentaci sledovaného jevu – zamezení výronu vody na vzdušném líci zemní hráze MVN Hornice.

V Brně, 15.05.2018 Štěpánka Králíková

## Seznam použité literatury


ČSN 75 2310. (2006). Sypané hráze.

ČSN 75 2410. (2011). Malé vodní nádrže.

HEJTMAN, Zdeněk. *PASPORT vodní nádrže "Hornice" na p.č. 124/33, k.ú. Hornice*. *A.1. Souhrnná a technická zpráva*. 2012, 8 s.

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

JANDORA, Jan. ŘÍHA, Jaromír. *Porušení sypaných hrází v důsledku přelití.* Vyd. 1. Brno: ECON publishing, s.r.o., 2002, 188 s. ISBN 80-86433-15-5.

SEDLÁK, Bedřich; ŠTOLL, Ivan. *Elektřina a magnetismus*. 650 s. ISBN 80-200-1004-1

PAŘÍLKOVÁ, J., 2010. *Monitorování proudění vody zeminou a možnosti jeho využití u ochranných hrází.* Teze habilitační práce obor Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství. FAST VUT v Brně, VUTIUM, Brno, 2010. 25 pp. ISBN 1213-418X.

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.

PAŘÍLKOVÁ, Jana. *EUREKA 2016: 4th conference and working session within the frame of the international program EUREKA, project no. E!7614 : October 13 to 14, 2016: Lednice, Czech Republic*. Ed. 1st. Editor Jana Pařílková, Lubomír Procházka. Brno: VUTIUM, 2016, 415 s. ISBN 978-80-214-5338-8.

PAŘÍLKOVÁ, Jana., 2017. *Monitorování zemní hráze vodního díla Hornice.* Zpráva k udržitelnosti projektu E!7614, Brno.

PAŘÍLKOVÁ, J., PAŘÍLEK, L. (2015). *Monitoring of the earth-fill dam of the Hornice reservoir by EIS. EUREKA 2015,* ISBN 978-80-214-5149-0, ISSN 2464-4595, p. 205-224.

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.

RUPP, David. Data poskytnutá společností GEO*test*, a.s., 2016.

RUPP, David, PAZDÍREK, Otakar. *BioSealing – Technologie zatěsňování průsaků sypaných hrází.* GEOTest, a.s., 2015.

RUPP, David, PAZDÍREK, Otakar. (2015). *BioSealing – the final report of a pilot project. EUREKA 2015.* ISBN 978-80-214-5149-0, ISSN 2464-4595, p. 196-204.

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

ŠÁLEK, Jan. *Malé vodní nádrže v životním prostředí.* Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 1996, 141 s. ISBN 80-7078-370-2.

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

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

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

## Další využité zdroje

FRÁNKOVÁ, Hana. *Ověření technologie BioSealing metodou EIS.* 2017.

[1] *http://www.cz-ryby.cz/content/default/12*

[2] RAMEŠ, Václav. Rybníkářství - historie. In: *Třeboň a okolí - Třeboňsko.cz* [online]. 2011 [cit. 2018-02-16]. Dostupné z*: http://www.trebonsko.cz/rybnikarstvi-historie*

[3] POLÁČEK, Jiří. Význam malých vodních nádrží v protipovodňové ochraně. In: *Věda.cz* [online]. 2006 [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: *http://www.veda.cz/article.do?articleId=12856*

[4] *http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_act_rain.php?day_offset=&fkraj=13600&ok=Vyhledat*

[5] ČSN 75 2410. (2011). Malé vodní nádrže.

[6] *http://www.geotest.cz/o-spolecnosti/dotace/biosealing/*

[7] *Možnosti použití geofyzikálních metod: při ověřování nejasných strukturně geologických, popř. jiných vztahů na lokalitách při průzkumu a nápravě starých ekologických zátěží*. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 1999. Planeta (Ministerstvo životního prostředí). Dostupné z: *https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/0C86A39AD30FD992C1256FAF004A153D/$file/planeta0199.pdf*

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

[9] *http://www.geotest.cz/o-spolecnosti/dotace/biosealing/*

[10] *http://www.hornice.cz/o-obci/ds-50/p1=52*

[11] *https://mapy.cz*

[12] *http://www.geotest.cz/*

[13] *http://www.meteo.jankovic.cz/zaznamy/rok-2015/*

[14] *http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#*

[15] *http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data#*

[16] *www.webforum.com/elgip/getfile.ashx?cid=58676&cc=3&refid=5*

[17] *http://www.meteo.jankovic.cz/zaznamy/rok-2016/*

## Seznam obrázků

Obr. 2.1 – Dělení MVN z hlediska zásobování vodou a) průtočná, b) obtoková, c) boční (Vrána a Beran, 1998)

Obr.2.2 – Půdorysný tvar hrází MVN a) čelní přímá, b) čelní vypouklá, c) čelní vydutá, d) čelní lomená, e) nepravidelná (Vrána a Beran, 1998).

Obr.2.3 – Schéma homogenní hráze (ČSN 75 2410). 1 - opevnění, 2 - filtr, 3 - nepropustné podloží, 4 - patní drén, 5 - drenážní potrubí

Obr.2.4 – Schéma nehomogenní hráze (ČSN 75 2410)

Obr.2.5 – Postup porušení sypané zemní hráze v důsledku přelití (Jandora a Říha, 2002)

Obr.2.6 – Mechanismus kontaktní sufóze při sestupném proudění (Říha, 2010)

Obr.3.1 – MVN Hornice, měření úrovně hladiny vody v nádrži u pomocného bezpečnostního přelivu ze dne 7.11.2017

Obr.4.1 – Schéma měření pro určení elektrických parametrů zeminy

Obr.4.2 – Přístroj Z-Metr IV (vlevo), konstrukce sond EIS (vpravo) (Pařílková, 2017)

Obr.5.1 – BioSealing, schématické znázornění principu metody (Fránková, 2017)

Obr.5.2 – BioSealing, aplikace sanování zeminy pod mostem přes vodní kanál (Whiffin, 2006)

Obr.6.1 – Katastrální území obce Hornice

Obr.6.2 – Vodní dílo Hornice

Obr.7.1 – Detail situace VD Hornice, celistvá situace viz Příloha 1 (Hejtman, 2012)

Obr.7.2 – Situace umístění snímačů v zemní hrázi VD Hornice (Pazdírek, Pařílková, Králíková)

Obr.7.3 – Jímání výronové vody (Pařílková, Králíková, 7.11.2017)

Obr.8.1 – Injektážní vrty pro dávkování výživové směsi, proplachování a měření

Obr.8.2 – Schématický příčný řez zemní hrází s osazením snímačů a injektážním vrtem

Obr.8.3 – Výživová směs PNC Nutrolase a), rezavé zabarvení výronové vody po aplikaci výživové směsi b), proplachování c) (archiv GEO*test*, a.s.)

Obr.8.4 – Výronová plocha (vlevo), místo měření průsaku (vpravo) (archiv GEO*test*, a.s.)

Obr.8.5 – Tvorba šlemu částečně vyplaveného na povrch – 2015 (archiv GEO*test*, a.s.)

Obr.8.6 – Měření pH a elektrické vodivosti (vlevo) a průsaku (vpravo) (archiv GEO*test*, a.s.)

Obr.8.7 – Monitorování procesu aplikace technologie BioSealing

Obr.8.8 – Denní záznam pórových tlaků (Pazdírek, archiv GEO*test*, a.s.)

Obr.8.9 – Denní záznam pH (nahoře) a elektrické vodivosti (dole) výronové vody (Pazdírek, archiv GEO*test*, a.s.)

Obr.8.10 – Monitorování ve výronové ploše sondou EIS3, 2015 (Pařílková, 2017)

Obr.8.11 – Průměrné měsíční úhrny srážek, data ČHMÚ - Kostelní Myslová – 2015

Obr.8.12 – Monitorování sondou EIS10, 2015 (Pařílková, 2017)

Obr.8.13 – Měření průsaku, vlevo z 9.11.2015, vpravo 21.3.2016 (archiv GEO*test*, a.s)

Obr.8.14 – Monitorování procesu aplikace technologie BioSealing (Pařílková, 2017)

Obr.8.15 – Časový průběh velikosti průsaku v l/den za rok 2016 (Pazdírek, 2016)

Obr.8.16 – Monitorování sondou EIS10, 2016 (Pařílková, 2017)

Obr.8.17 – Monitorování ve výronové ploše sondou EIS3, 2016 (Pařílková, 2017)

Obr.8.18 – Průměrné měsíční úhrny srážek, data ČHMÚ - Kostelní Myslová – 2016

Obr.8.19 – Průměrné denní hodnoty sledovaných veličin, 2016 (Pařílková, 2017)

Obr.8.20 – Průměrné denní hodnoty sledovaných veličin, 2016 (Pařílková, 2017)

Obr.9.1a – Denní hodnoty, automatické měření úrovně hladiny v nádrži v roce 2017

Obr.9.1b – Denní hodnoty, automatické měření úrovně hladiny v nádrži v roce 2018

Obr.9.2 – Monitorování ve výronové ploše sondou EIS3, 2017 a 2018

Obr.9.3 – Monitorování sondou EIS10, 2017 a 2018

Obr.9.4 – Monitorování hodnot konduktance G a reaktance X, EIS10 a EIS3, 2017 (Pařílková a Králíková, 2017)

Obr.9.5 – Monitorování hodnot elektrické vodivosti G a reaktance X, EIS10 a EIS3, 2018

Obr.9.6 – Průměrné denní hodnoty sledovaných veličin, 2017 (Pařílková a Králíková, 2017)

Obr.9.7 – Průměrné denní hodnoty sledovaných veličin, 2018 (Králíková, 2017)

Obr.9.8 – Monitorování hodnot průměrné měsíční admitance, EIS10 a EIS3, 2014 - 2018

Obr.9.9 – Denní hodnoty průsaku a úrovně hladiny vody v MVN, 2016 - 2018

Obr.9.10 – Závislost průsaku na úrovni hladiny vody v MVN Hornice, 2016 - 2018

## Seznam tabulek

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

Tab.2.2 – Vhodnost zemin pro různé zóny hutnění hrází (ČSN 75 2410)

Tab.4.1 – Základní parametry přístroje Z-Metr IV

Tab.6.1 – Základní technické parametry VD Hornice (Hejtman, 2012)

## Seznam zkratek

VD ..... Vodní dílo

MVN ..... Malá vodní nádrž

EIS ..... Elektrická impedanční spektrometrie

IGP ..... Inženýrsko-geologický průzkum

RAM ..... Random Access Memory, vyrovnávací paměť počítače

LCD ..... Displej z tekutých krystalů

GSM ..... Globální systém pro mobilní komunikaci

SD ..... Paměťová karta

ČHMÚ ..... Český hydrometeorologický ústav

## Seznam veličin

| Označení | název | jednotka |
|---|---|---|
| $A$ | Plocha | [$m^2$] |
| $d$ | Průměr | [m] |
| $G$ | Elektrická vodivost | [S] |
| $h$ | Hloubka | [m] |
| $\mathbf{I}$ | Fázor elektrického proudu | [A] |
| j | Imaginární jednotka | [-] |
| $l$ | Vzdálenost | [m] |
| pH | Vodíkový exponent | [-] |
| $Q$ | Průtok | [$m^3$/s] |
| $Q_p$ | Denní průsak | [$m^3$/den] |
| $R$ | Rezistance | [Ω] |
| $t$ | Teplota | [°C] |
| $\mathbf{U}$ | Fázor elektrického napětí | [V] |
| $X$ | Reaktance | [Ω] |
| $Y$ | Admitance | [S] |
| $\mathbf{Z}$ | Fázor elektrické impedance | [Ω] |
| $z_h$ | Úroveň hladiny | [m n. m.] |
| $\varepsilon$ | Dielektrická konstanta | [-] |
| $\eta$ | Elektrochemická aktivita | [-] |
| $\rho$ | Měrný elektrický odpor | [Ω·m] |
| $\sigma$ | Měrná elektrická vodivost | [S/m] |

## Seznam příloh

**Příloha 1** Celková situace VD Hornice na formátu A3

**Příloha 2** Příklad postupu zpracování dat

## Příloha 2 Příklad postupu zpracování dat

**únor 2018**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **1.2** | hornice_1802010100.csv | hornice_1802010700.csv | hornice_1802011300.csv | hornice_1802011900.csv |
| **2.2** | hornice_1802020100.csv | hornice_1802020700.csv | hornice_1802021300.csv | hornice_1802021900.csv |
| **3.2** | hornice_1802030100.csv | hornice_1802030700.csv | hornice_1802031300.csv | hornice_1802031900.csv |
| **4.2** | hornice_1802040100.csv | hornice_1802040700.csv | hornice_1802041300.csv | hornice_1802041900.csv |
| **5.2** | hornice_1802050100.csv | hornice_1802050700.csv | hornice_1802051300.csv | hornice_1802051900.csv |
| **6.2** | hornice_1802060100.csv | hornice_1802060700.csv | hornice_1802061300.csv | hornice_1802061900.csv |
| **7.2** | hornice_1802070100.csv | hornice_1802070700.csv | hornice_1802071300.csv | hornice_1802071900.csv |
| **8.2** | hornice_1802080100.csv | hornice_1802080700.csv | hornice_1802081300.csv | hornice_1802081900.csv |
| **9.2** | hornice_1802090100.csv | hornice_1802090700.csv | hornice_1802091300.csv | hornice_1802091900.csv |
| **10.2** | hornice_1802100100.csv | hornice_1802100700.csv | hornice_1802101300.csv | hornice_1802101900.csv |
| **11.2** | hornice_1802110100.csv | hornice_1802110700.csv | hornice_1802111300.csv | hornice_1802111900.csv |
| **12.2** | hornice_1802120100.csv | hornice_1802120700.csv | hornice_1802121300.csv | hornice_1802121900.csv |
| **13.2** | hornice_1802130100.csv | hornice_1802130700.csv | hornice_1802131300.csv | hornice_1802131900.csv |
| **14.2** | hornice_1802140100.csv | hornice_1802140700.csv | hornice_1802141300.csv | hornice_1802141900.csv |
| **15.2** | hornice_1802150100.csv | hornice_1802150700.csv | hornice_1802151300.csv | hornice_1802151900.csv |
| **16.2** | hornice_1802160100.csv | hornice_1802160700.csv | hornice_1802161300.csv | hornice_1802161900.csv |
| **17.2** | hornice_1802170100.csv | hornice_1802170700.csv | hornice_1802171300.csv | hornice_1802171900.csv |
| **18.2** | hornice_1802180100.csv | hornice_1802180700.csv | hornice_1802181300.csv | hornice_1802181900.csv |
| **19.2** | hornice_1802190100.csv | hornice_1802190700.csv | hornice_1802191300.csv | hornice_1802191900.csv |
| **20.2** | hornice_1802200100.csv | hornice_1802200700.csv | hornice_1802201300.csv | hornice_1802201900.csv |
| **21.2** | hornice_1802210100.csv | hornice_1802210700.csv | hornice_1802211300.csv | hornice_1802211900.csv |
| **22.2** | hornice_1802220100.csv | hornice_1802220700.csv | hornice_1802221300.csv | hornice_1802221900.csv |
| **23.2** | hornice_1802230100.csv | hornice_1802230700.csv | hornice_1802231300.csv | hornice_1802231900.csv |
| **24.2** | hornice_1802240100.csv | hornice_1802240700.csv | hornice_1802241300.csv | hornice_1802241900.csv |
| **25.2** | hornice_1802250100.csv | hornice_1802250700.csv | hornice_1802251300.csv | hornice_1802251900.csv |
| **26.2** | hornice_1802260100.csv | hornice_1802260700.csv | hornice_1802261300.csv | hornice_1802261900.csv |
| **27.2** | hornice_1802270100.csv | hornice_1802270700.csv | hornice_1802271300.csv | hornice_1802271900.csv |
| **28.2** | hornice_1802280100.csv | hornice_1802280700.csv | hornice_1802281300.csv | hornice_1802281900.csv |

**březen 2018**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **1.3** | hornice_1803010100.csv | hornice_1803010700.csv | hornice_1803011300.csv | hornice_1803011900.csv |
| **2.3** | hornice_1803020100.csv | hornice_1803020700.csv | hornice_1803021300.csv | hornice_1803021900.csv |
| **3.3** | hornice_1803030100.csv | hornice_1803030700.csv | hornice_1803031300.csv | hornice_1803031900.csv |
| **4.3** | hornice_1803040100.csv | hornice_1803040700.csv | hornice_1803041300.csv | hornice_1803041900.csv |
| **5.3** | hornice_1803050100.csv | hornice_1803050700.csv | hornice_1803051300.csv | hornice_1803051900.csv |
| **6.3** | hornice_1803060100.csv | hornice_1803060700.csv | hornice_1803061300.csv | hornice_1803061900.csv |
| **7.3** | hornice_1803070100.csv | hornice_1803070700.csv | hornice_1803071300.csv | hornice_1803071900.csv |

Výpis datových souborů – lokality VD Hornice z webových stránek http://zmeter-hornice.dioda.cz/.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | http://zmeter-hornice.dioda.cz | | |
| ch | Rx [ohm] | | kanál 31= EIS hladina a 1000=tlak cidlo hladina | | | | | | | | | | | http://www.geotest.cz/o-spolecnosti/dotace/eureka/2016/ | | | | | | | | |
| 1000 | 26752 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | 26864 | | | | | | | | | | | | | | | | | | h=0.039Rx-2.6288 | | | |
| 1000 | 26992 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.039 | 2.6288 | | |
| 1000 | 26752 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | 26960 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 47 | 1640.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 31_hlad EI | Hlad_tlak | | |
| 47 | 1625.7 | 3 m 32-46 | | 429.66 | 264.68 | 246.48 | 199.54 | 309.1 | 282.54 | 248.86 | 300.48 | 271.64 | 317 | 353.04 | 378.88 | 435.08 | 365.26 | 301.14 | 1650.82 | 26864 | | |
| 47 | 1894354 | 10 m spodek 0-14 | | 9099.625 | 9846.46 | 9496.7 | 9861.35 | 5468.84 | 394.2 | 607.84 | 232.42 | 289.68 | 334.82 | 299.04 | 274.82 | 235.18 | 268.26 | 246.12 | 236.32 | 274.18 | 177.46 | 180.48 |
| 47 | 1710.8 | 10 m vrch 16-22 | | | | | | | | | | | | | | | přepočtené hladiny | | 61.75318 | | | |
| 47 | 1685.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 46 | 431.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 46 | 429.7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 46 | 428.7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 46 | 428.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 46 | 429.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | 264.7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | 264.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | 264.7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | 264.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | 264.7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 44 | 246.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 44 | 246.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 44 | 246.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 44 | 246 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 44 | 246.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | 199.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | 199.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | 199.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | 200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | 199.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 42 | 306.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 42 | 310.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 42 | 309.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 42 | 309.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 42 | 309 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 41 | 281.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 41 | 283.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Ukázka třídění dat z webových stránek v programu MS Excel.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3874 | | | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 3875 | den | čas | -1.025 | -1.325 | -1.625 | -1.925 | -2.225 | -2.525 | -2.825 | -3.125 | -3.425 | -3.725 | -4.025 | -4.325 | -4.625 | -4.925 | -5.575 | -6.025 | -6.575 | -7.125 | -7.675 | -8.225 | -8.775 | -9.325 | -9.875 |
| 3876 | 01.01.2018 | 1:00:00 | | 11249.067 | 8544.77 | 10717.4 | 10295.5 | 5576.5 | 454.34 | 663 | 245.5 | 305.3 | 320.06 | 289.04 | 266.1 | 222.72 | 245.84 | 235.02 | 230.96 | 1427.56 | 169.58 | 171.54 | 229.42 | 16913.3 | 334.54 |
| 3877 | | 7:00:00 | | 8311.3 | 10018.5 | 9792.53 | 11799.7 | 5641.45 | 453.54 | 661.24 | 244.94 | 304.98 | 321.02 | 289.56 | 266.36 | 222.74 | 246.04 | 234.92 | 230.98 | 1414.1 | 169.54 | 171.56 | 230.28 | 14530.7 | 334.24 |
| 3878 | | 13:00:00 | | 10537.267 | 9069.4 | 11022.1 | 9781.4 | 5845.32 | 455.32 | 664.08 | 243.76 | 305.62 | 320.82 | 291.48 | 266.1 | 222.8 | 245.86 | 235.06 | 231.06 | 1445.48 | 169.68 | 171.66 | 230.52 | 17102.6 | 335.26 |
| 3879 | | 19:00:00 | | 10662.133 | 9232.16 | 8805.52 | 9509.03 | 5987.18 | 455.36 | 670.28 | 246.24 | 305.84 | 318.8 | 292.1 | 265.48 | 222.9 | 246.14 | 235.2 | 231.42 | 1430.24 | 169.18 | 171.72 | 230.76 | 17399.5 | 334.56 |
| 3880 | 02.01.2018 | 1:00:00 | | 10147.75 | 10080.1 | 8841.2 | 10339 | 5847.48 | 455.18 | 663.72 | 245.38 | 305.62 | 320.58 | 292.64 | 266.5 | 222.74 | 245.96 | 235.3 | 231.42 | 1403.24 | 169.3 | 171.52 | 230.86 | 14042.1 | 334.66 |
| 3881 | | 7:00:00 | | 9967.1333 | 9459.33 | 9790.35 | 8827.1 | 5939.82 | 455.52 | 652.92 | 245.42 | 305.92 | 320.38 | 292.14 | 268.2 | 222.98 | 245.78 | 235.06 | 231.44 | 1424.94 | 169.52 | 171.6 | 231.02 | 16967.9 | 335.12 |
| 3882 | | 13:00:00 | | 9955.0667 | 10120.8 | 11277.4 | 11322.8 | 5659.06 | 455.82 | 665.28 | 245.14 | 306.36 | 320.82 | 292.38 | 266.64 | 222.98 | 245.9 | 234.98 | 230.88 | 1405.12 | 169.58 | 171.48 | 230.58 | 16761.5 | 334.72 |
| 3883 | | 19:00:00 | | 9483.9667 | 9338.38 | 9468.8 | 9423.45 | 5664.98 | 455.36 | 665.6 | 245.9 | 306.06 | 320.88 | 292 | 267.04 | 223.94 | 246.16 | 235.04 | 231.12 | 1407.36 | 169.58 | 171.44 | 231.08 | 16967 | 334.76 |
| 3884 | 03.01.2018 | 1:00:00 | | 10722.46 | 10103.1 | 10771.2 | 10085.7 | 5758.76 | 457 | 663.24 | 245.88 | 306.86 | 320.82 | 292.62 | 267.18 | 223.02 | 246.12 | 235.28 | 231.04 | 1412.18 | 169.12 | 171.68 | 230.92 | 16646.5 | 334.54 |
| 3885 | | 7:00:00 | | 11268.933 | 9974.3 | 9500.5 | 10670.7 | 5582.86 | 455.96 | 659.26 | 246 | 306.56 | 322.6 | 292.84 | 266.54 | 223.12 | 245.68 | 235.04 | 232.34 | 1402.46 | 169.58 | 171.4 | 230.62 | 16926.5 | 334.92 |
| 3886 | | 13:00:00 | | 9776.56 | 10126.3 | 8948.83 | 9323.35 | 5934.38 | 457.92 | 664.1 | 245.76 | 305.52 | 322.18 | 292.86 | 268.14 | 222.94 | 246.66 | 235.46 | 230.94 | 1415.98 | 169.8 | 171.62 | 230.88 | 16485.7 | 335.22 |
| 3887 | | 19:00:00 | | 10601.55 | 9938.4 | 11313.2 | 8256.15 | 5917.64 | 457.5 | 669.28 | 245.66 | 305.86 | 321.72 | 292.3 | 267.06 | 223.26 | 246.46 | 235.16 | 231.4 | 1424.86 | 169.64 | 171.64 | 230.78 | 16830.7 | 334.72 |
| 3888 | 04.01.2018 | 1:00:00 | | 10514.66 | 8989.68 | 10269.6 | 10426.4 | 5966.06 | 457.94 | 670.74 | 245.98 | 306.36 | 321.96 | 292.78 | 267.12 | 223.3 | 246.34 | 236.76 | 231.52 | 1354.06 | 169.64 | 171.74 | 230.78 | 16434.8 | 334.8 |
| 3889 | | 7:00:00 | | 10273.933 | 9959.94 | 11285.8 | 9887.93 | 5855.56 | 456.14 | 669.76 | 245.9 | 306.5 | 322.02 | 293.3 | 267.36 | 223.38 | 246.46 | 235.68 | 232.12 | 1391.76 | 169.52 | 171.54 | 230.56 | 16807.1 | 336.58 |
| 3890 | | 13:00:00 | | 10509.1 | 9472.6 | 10912 | 10840.3 | 5927.48 | 457.34 | 673.34 | 246.42 | 306.62 | 322.2 | 293.22 | 267.56 | 223.54 | 246.62 | 235.72 | 231.68 | 1409.3 | 169.8 | 171.76 | 230.76 | 16394.3 | 332.62 |
| 3891 | | 19:00:00 | | 9929.175 | 9293.73 | 9950.55 | 9429.26 | 5934.74 | 457.54 | 678.44 | 246.4 | 306.56 | 323.88 | 293.34 | 268.1 | 224.1 | 246.88 | 236.12 | 231.7 | 1461.52 | 169.9 | 171.08 | 230.08 | 16879.4 | 334.24 |
| 3892 | 05.01.2018 | 1:00:00 | | 10158.65 | 10602.9 | 11458.7 | 11979.6 | 5748.34 | 457.06 | 677.56 | 246.64 | 305.88 | 322.72 | 292.1 | 267.54 | 223.46 | 245.46 | 235.92 | 231.52 | 1390.96 | 169.8 | 172.24 | 231.08 | 17309.6 | 334.3 |
| 3893 | | 7:00:00 | | 10047.967 | 8802.45 | 11319.8 | 6346.67 | 5995 | 457.46 | 677.72 | 246.22 | 306.54 | 321.64 | 293.56 | 267.66 | 223.54 | 246.52 | 235.54 | 231.72 | 1390.3 | 169.7 | 171.22 | 230.6 | 16768.4 | 334.56 |
| 3894 | | 13:00:00 | | 9519.55 | 7218.04 | 10504.7 | 10205.2 | 5402.7 | 459.46 | 679.74 | 246.68 | 306.68 | 319.72 | 293.68 | 267.72 | 223.28 | 247.06 | 235.7 | 231.06 | 1384.32 | 170.08 | 171.84 | 230.94 | 16635.8 | 334.74 |
| 3895 | | 19:00:00 | | 9308 | 9577.1 | 9821.87 | 10516.1 | 5952.3 | 459.98 | 679.5 | 246.62 | 307.06 | 321.76 | 293.36 | 268.06 | 223.86 | 247.16 | 236.3 | 231.8 | 1404.8 | 169.78 | 171.66 | 231.06 | 14582.6 | 335.02 |
| 3896 | 06.01.2018 | 1:00:00 | | 10666.733 | 8383.37 | 9505.65 | 9293.6 | 5811.88 | 460.76 | 682.82 | 247.02 | 306.56 | 322.54 | 294.98 | 267.94 | 223.76 | 247.14 | 235.96 | 230.88 | 1410.62 | 169.72 | 171.9 | 231.42 | 16491.3 | 335.18 |
| 3897 | | 7:00:00 | | 7669.125 | 6733.68 | 10704.7 | 7457.94 | 5454.93 | 460.42 | 678.36 | 246.86 | 306.38 | 323.84 | 293.48 | 267.66 | 224.08 | 247.12 | 236.06 | 231.7 | 1382.64 | 170.32 | 171.94 | 230.76 | 17120.3 | 335.38 |
| 3898 | | 13:00:00 | | 9858.125 | 9131.05 | 9819.7 | 9440.7 | 5835.52 | 459.46 | 684.72 | 247.18 | 306.76 | 322.98 | 293.76 | 268.06 | 224.16 | 247.24 | 235.58 | 231.66 | 1409.4 | 169.94 | 171.82 | 231 | 17023.6 | 332.94 |
| 3899 | | 19:00:00 | | 9660.25 | 9729.13 | 9880.73 | 6557.33 | 5876.78 | 464.82 | 679.6 | 247.26 | 307.42 | 322.34 | 294.72 | 268.86 | 224.42 | 247.06 | 235.24 | 231.44 | 1385.1 | 169.98 | 171.68 | 231.6 | 16466 | 333.94 |
| 3900 | 07.01.2018 | 1:00:00 | | 10048.275 | 10029.5 | 9857.88 | 9530.33 | 5799.9 | 464 | 682.8 | 247.46 | 307.58 | 322.7 | 294.42 | 268.86 | 224.28 | 247.38 | 236.12 | 231.94 | 1375.24 | 169.94 | 171.84 | 231.22 | 17921.8 | 334.1 |
| 3901 | | 7:00:00 | | 9169.3 | 10407.7 | 9813.78 | 6976.25 | 5713.76 | 465.46 | 679.22 | 247.76 | 309.42 | 320.08 | 294.84 | 268.22 | 224.28 | 246.84 | 236.04 | 231.58 | 1402.98 | 169.76 | 171.2 | 230.64 | 14450.3 | 334.22 |
| 3902 | | 13:00:00 | | 8621.76 | 8741.08 | 9581.53 | 10594.4 | 5849.38 | 465.88 | 684.24 | 248.3 | 308.2 | 324.76 | 293.74 | 268.2 | 224.2 | 247.3 | 235.86 | 231.94 | 1369.82 | 169.34 | 171.98 | 231.04 | 17260.2 | 334.64 |
| 3903 | | 19:00:00 | | 10065.18 | 9553.08 | 9492.73 | 9416.48 | 6051.26 | 467.98 | 682.06 | 248.62 | 308.8 | 323.66 | 292.82 | 266.46 | 224.38 | 247.08 | 235.82 | 231.54 | 1370.22 | 170 | 171.92 | 230.7 | 17463.2 | 334.22 |
| 3904 | 08.01.2018 | 1:00:00 | | 8499.4 | 8849.13 | 10781.3 | 9042.36 | 6144.23 | 468.56 | 681.84 | 248.96 | 308.82 | 323.02 | 294.66 | 268.92 | 224.32 | 247.84 | 235.8 | 231.62 | 1395.42 | 169.74 | 171.82 | 230.92 | 16864.1 | 333.92 |
| 3905 | | 7:00:00 | | 7602 | 8826.08 | 10547.2 | 9374.16 | 6006.78 | 470.16 | 681.8 | 248.9 | 309.1 | 323.56 | 294.64 | 268.82 | 224.42 | 246.56 | 237.58 | 231.56 | 1397.08 | 169.78 | 171.86 | 230.04 | 17189.6 | 333.86 |
| 3906 | | 13:00:00 | | 9469.025 | 9668.47 | 9929.73 | 6908.43 | 5776.12 | 470.44 | 678.38 | 249.24 | 309.78 | 323.76 | 295.22 | 269.06 | 224.26 | 247.52 | 235.9 | 231.72 | 1328.38 | 169.78 | 171.9 | 230.4 | 16755.7 | 333.28 |
| 3907 | | 19:00:00 | | 8146.6 | 9211.85 | 10953.6 | 9072.4 | 5767.82 | 473.2 | 682.62 | 249.56 | 309.48 | 324.18 | 294.86 | 269.06 | 223.76 | 247.56 | 236.42 | 231.96 | 1318.32 | 169.48 | 171.9 | 230.58 | 17233.3 | 333.54 |
| 3908 | 09.01.2018 | 1:00:00 | | 8465.825 | 9669.7 | 9756.5 | 8635.23 | 5743.58 | 470.88 | 682.08 | 249.58 | 310.38 | 325.52 | 295.34 | 269.28 | 224.58 | 247.86 | 237.16 | 231.94 | 1320.36 | 169.22 | 171.86 | 230.94 | 17199.5 | 333.9 |
| 3909 | | 7:00:00 | | 10342.3 | 9504.1 | 11669.1 | 8907.03 | 5979.84 | 474.52 | 696.7 | 250.76 | 310.44 | 324.54 | 295.02 | 269.32 | 224.86 | 248.08 | 237.06 | 232.08 | 1298.74 | 169.86 | 172.04 | 230.82 | 17403.4 | 333.4 |
| 3910 | | 13:00:00 | | 9119.72 | 6427.95 | 10298.3 | 7903.9 | 5650.94 | 473.26 | 679.44 | 250.1 | 309.3 | 325.76 | 295.36 | 268.74 | 225.04 | 247.88 | 236.42 | 231.62 | 1313.08 | 169.12 | 172 | 230.82 | 17379.9 | 333.86 |
| 3911 | | 19:00:00 | | 8783.8667 | 8919.9 | 10286.7 | 7486.97 | 5656.28 | 473.58 | 690.16 | 249.9 | 310.94 | 325.2 | 294.92 | 268.72 | 224.82 | 248.48 | 236.3 | 231.78 | 1354.92 | 169.84 | 171.88 | 231 | 16572.9 | 333.96 |
| 3912 | 10.01.2018 | 1:00:00 | | 7420.48 | 8367.17 | 10810.3 | 10340.3 | 5550.58 | 474.96 | 700.18 | 250.12 | 311.68 | 325.42 | 295.42 | 268.78 | 224.92 | 248.28 | 236.34 | 231.82 | 1297.54 | 169.84 | 171.76 | 230.84 | 14475 | 333.52 |
| 3913 | | 7:00:00 | | 9049.9 | 8511.7 | 11398.9 | 7981.6 | 5675.34 | 474.18 | 689.76 | 250.72 | 310.74 | 326.1 | 296.12 | 269.68 | 225.04 | 248.34 | 235.72 | 232.14 | 1288.58 | 169.18 | 172.02 | 228.72 | 16956.8 | 333.94 |
| 3914 | | 13:00:00 | | 9934.775 | 8475.7 | 10885.3 | 9880.18 | 5889.72 | 472 | 687.98 | 250.42 | 310.68 | 326.46 | 295.94 | 268.66 | 225 | 248.34 | 236.28 | 232.1 | 1275.34 | 169.5 | 171.9 | 230.72 | 16940.5 | 333.68 |
| 3915 | | 19:00:00 | | 9502.2 | 8334.82 | 10418.4 | 8382.85 | 5694.1 | 472.42 | 689.62 | 250.36 | 310.28 | 326.58 | 295.6 | 268.52 | 224.86 | 248.04 | 235.98 | 232.02 | 1282.66 | 169.5 | 171.8 | 230.64 | 17149.2 | 334.58 |
| 3916 | 11.01.2018 | 1:00:00 | | 9048.275 | 8748.1 | 10213.7 | 9276.85 | 5951.42 | 469.14 | 687.18 | 250.88 | 308.58 | 326.46 | 295.18 | 269.2 | 224.76 | 248.06 | 236.18 | 232.1 | 1268.1 | 169.6 | 171.88 | 230.34 | 16579.6 | 332.92 |
| 3917 | | 7:00:00 | | 8221.6 | 9350.45 | 9372.55 | 8051.47 | 5984.54 | 474.14 | 704.22 | 250.9 | 311.8 | 326.06 | 295.42 | 269.32 | 224.74 | 248.34 | 235.7 | 232.14 | 1227.2 | 169.64 | 172.24 | 231.58 | 17014.8 | 333.14 |
| 3918 | | 13:00:00 | | 7794.4 | 7891.58 | 7487.35 | 11601.4 | 5680.16 | 472.38 | 690.56 | 250.7 | 310.88 | 326.38 | 296.1 | 269.56 | 225.08 | 248.34 | 236.16 | 232.7 | 1248.44 | 169.62 | 172.04 | 230.78 | 17000.7 | 333.16 |
| 3919 | | 19:00:00 | | 9167.14 | 7472.86 | 8424.2 | 8707.95 | 6052.26 | 472.12 | 686.42 | 251 | 310.22 | 326.72 | 296.84 | 269.76 | 225.12 | 248.52 | 235.76 | 232.08 | 1245.6 | 169.56 | 172.08 | 231 | 16720.3 | 333.46 |
| 3920 | 12.01.2018 | 1:00:00 | | 8864.06 | 7593.54 | 10774.4 | 7312.94 | 5644.82 | 469.82 | 691.02 | 251.18 | 310.82 | 325.98 | 296.04 | 269.74 | 225.14 | 248.46 | 234.92 | 232.82 | 1242.26 | 169.68 | 171.8 | 230.64 | 17369.5 | 333.58 |
| 3921 | | 7:00:00 | | 8452.02 | 8520.83 | 9740.23 | 8927.23 | 5768.56 | 471.96 | 689.98 | 251.6 | 311.12 | 326.3 | 296.04 | 269.06 | 225.98 | 248.46 | 236.46 | 231.78 | 1223.36 | 169.5 | 172 | 231.2 | 16705.4 | 333.22 |
| 3922 | | 13:00:00 | | 8109.55 | 7160.04 | 10927.2 | 8465.23 | 5856.93 | 473.72 | 703.7 | 251.8 | 311.2 | 326.9 | 296.24 | 268.9 | 225.28 | 248.02 | 238.14 | 231.98 | 1196.66 | 169.46 | 171.78 | 231.08 | 14564.1 | 332.2 |
| 3923 | | 19:00:00 | | 8672.925 | 7349.86 | 9676.53 | 5557.92 | 5852.08 | 471.84 | 691.24 | 251.9 | 311.98 | 325.52 | 296.58 | 269.04 | 225.32 | 248.76 | 236.32 | 231.42 | 1190.8 | 169.4 | 172.18 | 230.86 | 17211.5 | 332.88 |
| 3924 | 13.01.2018 | 1:00:00 | | 11117.575 | 10161.4 | 9579.95 | 8765.9 | 5810.48 | 467.18 | 689.42 | 252.4 | 311.22 | 326.18 | 296.24 | 269.12 | 225.7 | 248.62 | 236.6 | 231.96 | 1180.38 | 169.94 | 172.46 | 230.94 | 16479.5 | 331.08 |
| 3925 | | 7:00:00 | | 8934.1 | 9103.65 | 8924.6 | 10882.8 | 5949.18 | 470.58 | 692.9 | 252.48 | 311.38 | 327.54 | 296.56 | 268.64 | 225.46 | 250 | 235.9 | 231.7 | 1148.76 | 169.12 | 171.84 | 230.6 | 16568.1 | 331.14 |
| 3926 | | 13:00:00 | | 9597.425 | 9084.68 | 9743.5 | 8613.62 | 5633.28 | 467.9 | 695.62 | 252.32 | 312.2 | 327.5 | 296.32 | 268.26 | 225.46 | 248.62 | 236.26 | 232.12 | 1135.36 | 169.08 | 172.02 | 230.66 | 13924.9 | 330.82 |
| 3927 | | 19:00:00 | | 8982.125 | 8468.5 | 10566.5 | 10065.6 | 5533.96 | 470.12 | 691.66 | 252.38 | 311.62 | 327.54 | 296.46 | 270.52 | 225.14 | 248.88 | 236.64 | 231.8 | 1082.96 | 168.68 | 171.96 | 230.56 | 16795.8 | 332.2 |
| 3928 | 14.01.2018 | 1:00:00 | | 9940.32 | 8897.77 | 12081.9 | 9374.6 | 5492.08 | 471.64 | 695.38 | 253.06 | 312.02 | 327.32 | 298.26 | 268.5 | 225.58 | 248.88 | 236.42 | 232.52 | 1096.26 | 168 | 171.82 | 230.72 | 17216.2 | 330.36 |

Zpracování hodnot rezistance *R* pro EIS10.