

**Modřice – ČOV,  
inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum**

**Závěrečná zpráva**

**Brno, červen 2017**

**GEOtest, a.s.**  
**Šmahova 1244/112, 627 00 Brno**  
**IČ: 46344942 DIČ: CZ46344942**

tel.: 548 125 111  
fax: 545 217 979  
e-mail: [info@geotest.cz](mailto:info@geotest.cz)

Geologické a sanační práce pro ochranu životního prostředí, geotechnický a hydrogeologický průzkum

Číslo a název zakázky: **17 7184 Modřice ČOV, IG+HG**

Objednatel: **Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. Pisárecká 551/1a, Pisárky, 603 00 Brno**

Evidenční číslo ČGS: **0459/2017**

## **Modřice – ČOV, inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum**

### **Závěrečná zpráva**

Odpovědný řešitel: **Mgr. Pavel Řezníček**

**RNDr. Jitka Novotná**

Spoluřešitelé: **Ing. Martina Bulgurovská**

**RNDr. Jaroslav Hanák**

**Mgr. Vladislava Matoušová**

**Mgr. Zdeněk Sedláček**

Prověřil: **Ing. Marek Polák, oborový manažer**

**RNDr. Lubomír Klímek, MBA**

Statutární zástupce

**GEOtest, a.s.**

Šmahova 1244/112, 627 00 Brno  
DIČ CZ46344942

15

**Brno, červen 2017**

**Výtisk č.**

# ROZDĚLOVNÍK

Výtisk č. 1 – 4: Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. Pisárecká 551/1a, Pisárky, 603 00 Brno  
5: Geofond Praha  
6: archiv GEOTest, a.s.

<b>Závěrečná zpráva .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Provedené práce.....</b>	<b>3</b>
2.1 Použité podklady .....	3
2.2 Terénní práce .....	3
2.3 Vzorkovací a laboratorní práce .....	6
2.4 Hydrogeologické práce.....	7
2.5 Geotechnické práce .....	7
2.6 Měřické práce .....	9
<b>3. Přírodní poměry .....</b>	<b>9</b>
3.1 Přehled přírodních poměrů .....	9
3.2 Hydrogeologické poměry .....	10
<b>4. Inženýrskogeologické poměry .....</b>	<b>10</b>
4.1 Zatřídění zemin dle Gtypů.....	12
4.2 Charakteristika podzemní vody .....	23
<b>5. Výsledky hydrogeologického průzkumu .....</b>	<b>24</b>
5.1 Hydrodynamická zkouška na vrtech HV-207, HV-211, HV-218, HV-226.....	24
5.1.1 Vyhodnocení hydrodynamické zkoušky na vrtu HV-218.....	25
5.2 Vsakovací zkoušky .....	32
5.2.1 Vsakovací jáma VS 1 .....	32
5.2.2 Vsakovací jáma VS 2 .....	35
5.2.3 Vsakovací jáma VS 3 .....	38
5.2.4 Problematika hospodaření se srážkovou vodou .....	41
5.3 Ověření kvality zemin .....	44
5.4 Ověření kvality podzemní vody .....	45
5.5 Výpočet přítoku podzemní vody do stavební jámy .....	47
<b>6. Zhodnocení základových poměrů a doporučení pro zakládání .....</b>	<b>48</b>
<b>7. Závěr .....</b>	<b>50</b>

# SEZNAM PŘÍLOH

- 1. Přehledná situace zájmového území** měřítko 1 : 25 000
- 2. Situace průzkumných sond** měřítko 1 : 2000
- 3. Geologická dokumentace**
  - 3.1 Geologická dokumentace jádrových vrtů M 1:100
  - 3.2 Hydrogeologická dokumentace pozorovacích vrtů
  - 3.3 Vyhodnocení penetračních sond
  - 3.4 Archivní vrty
  - 3.5 Fotodokumentace jádrových vrtů
- 4. Inženýrskogeologické řezy** měřítko 1 : 500 / 100
- 5. Výsledky laboratorních zkoušek a analýz**
  - 5.1 Laboratorní zkoušky mechaniky zemin
  - 5.2 Chemické analýzy podzemní vody
  - 5.3. Chemické analýzy zemin
- 6. Technická zpráva o hydrodynamických zkouškách**
- 7. Měřická zpráva**
- 8. Technická zpráva vrtných prací**

# 1. Úvod

Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., na základě výsledků výběrového řízení na veřejnou zakázku uzavřelo jako objednatel Smlouvu o dílo č. Z195/KAN/17 (číslo objednatele) na inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum v areálu ČOV Brno – Modřice.

Předmětem zakázky bylo provedení plošného inženýrskogeologického průzkumu pro budoucí výstavbu v areálu ČOV Modřice, ověření hloubek založení a stavu konstrukcí zrušených nádrží, plošné posouzení základových poměrů celého zájmového území o velikosti cca 7 ha a hydrogeologické posouzení parametrů vsakování srážkových vod a vydatnosti podzemní vody zájmového území.

Objednatel před zahájením prací předal zhotoviteli v digitální formě situaci zájmového území se zákresem podzemních inženýrských sítí, dále archivní podklady s vyznačením půdorysů zrušených a nefunkčních vodárenských objektů. Pro plošný inženýrskogeologický průzkum byla navržena síť průzkumných sond, která byla dne 18. dubna 2017 objednatelem odsouhlasena a téhož dne předal zástupce objednatele Ing. Martínek zhotoviteli souhlas se vstupem na dotčené pozemky a povolení pro provádění geologického průzkumu v rozsahu staveniště.

## 2. Provedené práce

### 2.1 Použité podklady

[1] ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla

[2] ČSN EN 1997-2 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy

[3] ČSN EN ISO 14688-1 Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařizování zemin - Část 1: Pojmenování a popis

[4] ČSN EN ISO 14688-2 Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařizování zemin - Část 2: Zásady pro zařizování [5] Modřice – ČOV, geologické zhodnocení, zakázkové číslo 00 0214, RNDr. I. Veselý, GEOtest Brno a.s. květen 2000

[6] Modřice – ČOV, ig rešerše, zakázkové číslo 99 8523, RNDr. I. Veselý, GEOtest Brno a.s. listopad 1999

[7] ČSN 73 6133 Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací

### 2.2 Terénní práce

Při geotechnickém průzkumu byly použity následující pracovní postupy:

- ❖ sondážní práce
  - jádrové vrty
  - vrty dynamické penetrace
  - vystrojené hydrogeologické vrty

- vsakovací jámy
- ❖ geodetické práce
  - vytýčení a zaměření sond
- ❖ vzorkovací práce
  - odběr a odvoz vzorků pro laboratorní zpracování zemin
  - odběr a odvoz vzorků vody pro stanovení agresivity na podzemní betonové a ocelové konstrukce
  - odběr a odvoz vzorků pro laboratorní zpracování kontaminace zemin
  - odběr a odvoz vzorků pro laboratorní zpracování kontaminace podzemní vody a stanovení základního fyzikálněchemického rozboru podzemní vody
- ❖ laboratorní práce
  - laboratorní zkoušky mechaniky zemin
  - fyzikálně-chemický rozbor podzemní vody
  - chemické rozborů kontaminace zemin
  - chemické rozborů kontaminace podzemní vody
  - chemické rozborů pro stanovení agresivity podzemní vody
- ❖ polní technické práce
  - sled, řízení a primární dokumentace vrtných prací
  - sled a řízení hydrodynamických a vsakovacích zkoušek
- ❖ kamerální
  - příprava programu postupu průzkumných prací
  - archivní rešerše dřívějších prací
  - zpracování sekundární dokumentace
  - vypracování závěrečné zprávy a její reprodukce
- ❖ digitalizace dat
  - zpracování textových a databázových dat
  - úprava digitalizovaných podkladů a příprava nových digitalizovaných podkladů
  - grafické zpracování a digitalizace grafických dat a výsledků
  - reprodukce digitalizovaných příloh závěrečné zprávy

Přehledná situace zájmového území je uvedena v příloze 1.

Terénní práce byly na lokalitě čistírny odpadních vod realizovány v souladu s objednávkou ve dnech 20. 4. – 3. 5. 2017.

Na lokalitě bylo provedeno 22 jádrových vrtů označených J201 – J230. Čtyři z nich byly následně vystrojeny pro pozorování hladiny podzemní vody a pro provedení hydrodynamických zkoušek. Ty byly označeny HV 207, HV 211, HV 218 a HV 226. Průzkumné jádrové vrty byly provedeny do hloubek 4,5 až 10,0 m, celkem bylo vyhloubeno 178,8 bm. Tyto vrty realizovala firma GEOSTAR s.r.o. vrtnou soupravou HVS. Hloubení vrtů bylo provedeno technologií jádrového vrtání vrtnou korunkou o průměru 175 mm. Po naražení hladiny podzemní vody bylo provedeno pažení manipulačními pažnicemi o průměru 160 mm do podloží a vrtné práce pokračovaly průměrem 137 mm. Po ukončení vrtných prací a dokumentaci jádra byly vrty zlikvidovány.

Obr. 2.2.1-2 Vrtné práce



Čtyři hydrogeologické vrty byly po odpažení vystrojeny PVC výstrojí o průměru 160 mm, obsyp byl proveden tříděným šterkem frakce 4/8. V horní bázi byly vrty odtěsněny jílovocementovou směsí. Poté byly osazeny nadzemními ocelovými chráničkami se žlutým nátěrem, opatřeny zámkem a ukotveny v betonové patce. Vystrojení pozorovacích vrtů je názorně zobrazeno v příloze 3.2.

Obr. 2.2.3



11 průzkumných děl bylo realizováno samopojízdnou penetrační soupravou PAGANI TG 63/150 – viz. obr. 2.2.3. Parametry zařízení, jakož i soupravy, odpovídají požadavkům, které jsou vyžadovány ČSN EN 1997 část 2, „Průzkum a zkoušení“. Na základě prostupu penetračního hrotu zemním prostředím byly určeny rozhraní jednotlivých typů zemin a výrazně byly průběžně s hloubkou

upřesněny jejich geotechnické vlastnosti in situ (stupeň konzistence  $I_c$ , relativní ulehlost  $I_d$ , deformační modul  $E_{def}$ , popř. totální a efektivní hodnoty). Hodnoty parametrů byly zaznamenávány v 20 cm intervalech. Vyhodnocení penetračních sond zájmového území je názorně uvedeno v příloze 3.3.

Kombinace jádrových vrtů a penetračního sondování umožnila získat komplexnější informace o geologické stavbě zájmové lokality.

Původní záměr vyhotovení průzkumných děl v místech zrušených dosazovacích nádrží a dalších podzemních objektů se setkal s neúspěchem. Železobeton tvořící dno původních nádrží se ukázal jako neprovrtnatelný, tloušťka vrtáním zastižených výztuží byla až 1 cm.

Průzkumné sondy, které toto měly ověřit, byly po předčasně ukončeném vrtání z důvodu nevrtnatelnosti konstrukce či podloží následně po domluvě s objednatelem přemístěny na místa mimo půdorys konstrukcí nádrže. Situační umístění penetračních sond bylo vždy mimo zrušené objekty, nicméně v několika případech bylo zastiženo nevrtnatelné podloží, a sondy byly po domluvě s objednatelem také přemístěny.

Přehled o hloubkách jednotlivých průzkumných vrtů a odebraných vzorcích zemin v těchto vrtech podává následující tabulka č. 1.

Tabulka č. 2.2.1

Sonda	Projekt hloubka	Reálná hloubka	Vzorky porušené	Vzorky neporušené	Vzorky technologické	Vzorky zeminy pro kontaminaci	Vzorky vody (Fe, beton)	Ustalená HPV	Naražená HPV	Výška pažnice
J201	9	4.5	4.1;2.5					-	-	
DP202	9	9						2.35		
J203	9	10.5	3.5;5.5		0.2-0.7		3.95	3.95	1.7 staré potrubí	
DP204a		2.8								
DP204b	9	2.8								
J205	9	10.5	5.5; 9.5					4.1	4.3	
DP206	9	9								
HV207	10	9	5.5	4.1	0.2-1.1	2.1		3.9	4.9	0.88
J208	9	4						-	-	
J209	9	9	4.5		0.2-1.2		4.1	4.1	4	
J210	9	5.2	2.4			3.5		3.45	3.4	
J210 a		9		2.6				3.9	3.7	
HV211	10	10	5.8	2.4				3.9	4.6	0.91
DP212	9	9								
J213	9	9	4.8; 5.5	8.8				4.3	5.4	
DP214	9	9								
J215	9	9	2.5; 3.5; 5.2					3.5	4.7	
J216	9	4.2						3.1	vlhko 4.2	
J217	9	8		3.1; 5.1				4.1	4.2	
HV218	10	10	1.0; 2.6; 5.5	9.8			4.1	4.1	4.4	0.94
J219	9	10	5.5	2.7; 9.8	0.3-1.0	3.5		4.1	5.3	
DP220	9	7								
J221	9	8.5	5.6	2.1; 8			3.75	3.75	3.4	
DP222	9	9								
DP223a	9	2.6								
DP223b		9								
DP224a	9	3.6								
DP224b		0.4								
DP225a	9	3.8								
DP225b		5								
HV226	10	9.5		4.1	0.2-1	1.8		3.54	4.3	0.89
J227	9	9		2.8; 4.2			3.7	3.7	4.7	
J228	9	9	2.5; 4.6; 5.5	9	0.1-1.0			3.75	3.7	
J229	9	4.2						-	-	
J229a		9	3.1					3.65	3.8	
J230	9	8		2.7				3.7	4.4	

## 2.3 Vzorkovací a laboratorní práce

Ze všech vrtů byly průběžně odebírány vzorky jádra v celé délce (dokumentační vzorky), které byly ukládány do strojních vzorkovnic. Jádro bylo na místě dokumentováno (verbálně a fotograficky) přítomnými geology, po přebírce pak bylo skartováno a místa průzkumných sond byla upravena do původní podoby. Fotodokumentace vrtných jader je zpracována v příloze 3.5.

V průběhu sondážních prací odebírány vzorky zemin pro laboratorní zpracování. Typy odebíraných vzorků zemin a metráže odběru byly na místě určovány přítomnými geology v závislosti na aktuálně zastižených geologických podmínkách. Následně po odběru byly vzorky převáženy do akreditovaných laboratoří mechaniky zemin a hydrochemické laboratoře firmy GEOTest, a.s. Celkem bylo na lokalitě odebráno dle projektu prací pro zpracování v laboratořích mechaniky zemin 46 vzorků, z toho 16 neporušených (N) - kategorie A 2. třídy,



24 porušených (P) a 6 technologických (T) - kategorie B 3. třídy dle normy ČSN EN ISO 22475-1 Geotechnický průzkum a zkoušení – Odběry vzorků a měření podzemní vody – Část 1: Zásady provádění. Výsledky laboratorních zkoušek zemin shrnuje příloha č. 5.1.

Výsledky jednotlivých zkoušek (příloha 5.1) jsou jednotlivě prezentovány formou grafů a souhrnně sestaveny do tabulek výsledků zkoušek. Tato příloha dále obsahuje metodiku zkoušek, odpovídající označení ČSN, podle které byla daná zkouška provedena a jejich vyhodnocení – opět v tabelární formě a grafech.

V laboratoři mechaniky zemin se uskutečnily tyto zkoušky:

- stanovení vlhkosti zemin,
- stanovení zrnitosti zemin,
- stanovení konzistenčních mezí,
- stanovení objemové hmotnosti zemin,
- stanovení zdánlivé hustoty pevných částic zemin pomocí pyknometru,
- stanovení pórovitosti,
- stanovení stupně nasycení,
- stanovení stlačitelnosti zemin v edometru,
- stanovení propustnosti,
- laboratorní stanovení zhutnitelnosti zemin (Proctor-Standard),

Z vrtů bylo dále odebráno 5 ks vzorků podzemní vody pro stanovení agresivity na beton a ocel. Rozbory provedla hydrochemická laboratoř a.s. GEOTest. Výsledky chemických analýz vzorků vody jsou obsahem přílohy č. 5.2.

Čtyři vzorky zeminy byly odebrány pro stanovení kontaminace na obsah toxických kovů (arsen, kadmium, olovo, rtuť, měď a nikl), skupiny těkavých látek BTEX (benzen, toluen, ethybenzen a xyleny), chlorované uhlovodíky (cis-1,2-dichlorethen, trichlorethen, tetrachlorethen) a látek skupiny C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>. Vyhodnocení je součástí přílohy 5.3.

## 2.4 Hydrogeologické práce

Hydrogeologické práce byly realizovány v období duben – červen 2017. Hydrogeologicko-průzkumné práce byly provedeny v následujícím rozsahu:

- rekognoskace terénu
- provedení hydrodynamických zkoušek na vrtech HV-207, HV-211, HV-218, HV-226
- odběr a analýza vzorků podzemní vody
- realizace vsakovacích zkoušek
- zhodnocení všech získaných informací v závěrečné zprávě.

Primární účelem hydrogeologického průzkumu v areálu ČOV Modřice je získání základních informací o hydrogeologických poměrech území a ověření podmínek pro vsakování srážkových vod z budoucích nadzemních objektů a zpevněných komunikací. Průběh terénních prací, metodika, vyhodnocení a závěry hydrogeologického průzkumu jsou uvedeny v kapitole 5 této zprávy.

## 2.5 Geotechnické práce

Geotechnické práce zahrnovaly komplexní a plošné zhodnocení zastižených geologických poměrů na řešeném území. Zastižené zeminy byly rozděleny na základě zjištěných vlastností a geneze do kvazihomogenních celků, tzv. geotechnických typů (G-typů). Pro každý

geotechnický typ byly vyhodnoceny laboratorně zjištěné fyzikální vlastnosti a zhodnoceny geomechanických vlastností, kterými je možno charakterizovat jednak chování zemin v přirozeném nebo zhutněném stavu v podzákladí budoucích objektů. Byly vyhodnoceny geomechanické parametry zemin s rozlišením jednotlivých geotechnických typů (včetně konzistence a ulehlosti).

Jak terénní práce sledu a dokumentace vrtných prací, tak následné práce pro vyhodnocení poznatků a laboratorních výsledků a zpracování závěrečné zprávy, probíhaly v souladu s ČSN EN 1997 – 1 „Navrhování geotechnických konstrukcí, část 1: Obecná pravidla a ČSN EN 1997 – 2 „Navrhování geotechnických konstrukcí, část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy“.

Primární geologická dokumentace, která byla dále zpřesněna v souladu s výsledky laboratorních rozborů odebraných vzorků v laboratoři mechaniky zemin, je součástí příloh 3.1 – jádrové vrty, 3.2- pozorovací hydrogeologické vrty a 3.3 sondy dynamické penetrace. Při řešení úkolu byly také použity archivní závěrečné zprávy uvedené pod číslem 5 a 6 v kapitole 2.1 Archivní dokumentace průzkumných sond tvoří přílohu 3.4.

V geologické dokumentaci je uvedena klasifikace zemin dle norem ČSN EN ISO 14688-1, ČSN EN ISO 14688-2 a ČSN 73 6133, dle poslední jmenované normy je provedeno i zařazení do tříd těžitelnosti a kritéria namrzavosti (přílohy A, D). Třída vrtatelnosti byla určena dle přílohy č. 1 TP-76.

Výsledky laboratorních zkoušek byly zhodnoceny tak, aby je bylo možno po statistickém zpracování použít jako vstupní údaje do geotechnických výpočtů. Při posuzování geotechnických charakteristik zemin byly zvažované průměrné hodnoty příslušného geotechnického typu, a to pro celé zájmové území. V případě malého počtu laboratorních zkoušek byly hodnoty definovány na základě odborného odhadu s přihlédnutím k hodnotám uvedeným v odborné literatuře a v archivních zprávách z obdobného geologického prostředí.

Dalším zdrojem pro stanovení geotechnických vlastností je interpretace sond dynamické penetrace. Ze získaných hodnot dynamického penetračního odporu a krouticího momentu byly pomocí korelačních vztahů odvozeny vybrané geotechnické vlastnosti - stupeň konzistence  $I_c$ , relativní ulehlost  $I_d$ , deformační modul  $E_{def}$ , a hodnoty totálních a efektivních parametrů.

Místa jednotlivých průzkumných sond a linie inženýrskogeologických řezů jsou přehledně vyneseny v situaci v měřítku 1 : 2 000 v příloze č. 2.

Geologická stavba a inženýrskogeologické poměry zájmového území jsou prezentovány celkem v 15 inženýrskogeologických řezech v měřítku 1 : 500/100 v příloze č. 4. Označení A-A' až FF' mají řezy prezentující směr východ západ, řezy označené 1-1' až 8-8' jsou vedeny ve směru sever jih.

Digitální zpracování popisů vrtů bylo zhotoveno pomocí softwaru GdBase s následným převodem do prostředí Microstation. Po zpětném geodetickém zaměření míst průzkumných sond a získání výsledků laboratorních zkoušek mechaniky zemin byly konstruovány řezy tak, aby plošně pokryly zájmové území. Výkresová dokumentace byla vyhotovena CAD aplikací Microstation. Výsledky závěrečné zprávy byly digitalizovány. Závěrečná zpráva byla kompletně vyhotovena v grafickém a textovém formátu na kompaktním disku ve formátu uzpůsobeném pro prohlížení na běžné pracovní stanici a ve 4 vyhotoveních předána objednateli.

## 2.6 Měřické práce

Geodetické vytyčení a následně zaměření všech 36 realizovaných průzkumných sond (včetně vsakovacích jam) provedli pracovníci geodetické skupiny akciové společnosti GEOtest v souřadném systému JTSK a výškovém systému Balt po vyrovnání. Souřadnice jednotlivých sond a metodika měření jsou prezentovány v měřické zprávě, která tvoří přílohu č. 7.

## 3. Přírodní poměry

### 3.1 Přehled přírodních poměrů

#### Geomorfologické a geologické poměry

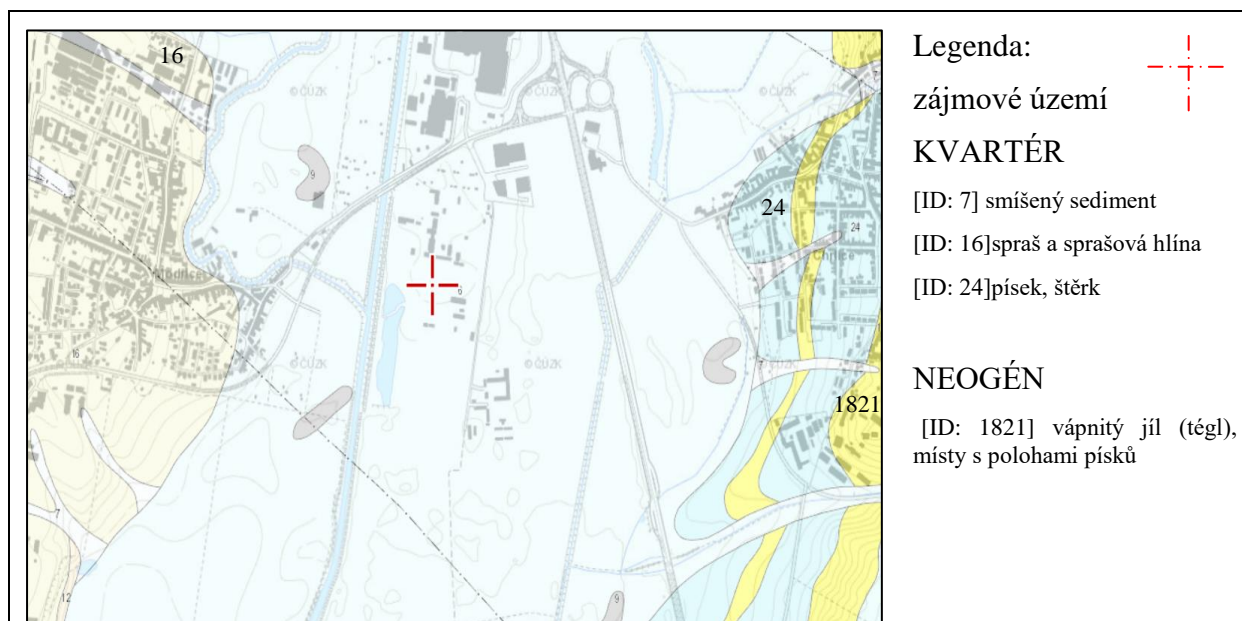
Areál ČOV v Modřicích leží v rovinném terénu Dyjskosvrateckého úvalu v podjednotce zvané Dyjskosvratecká niva. Je to akumulární rovina vytvořené podél regulovaného toku řeky Svatky, do které se 1 km severně od okraje ČOV vlévá řeka Svitava, jejíž koryto je též regulované. Regulace toků Svatky a Svitavy proběhla cca do poloviny 19. století. Zájmové území tedy leží v údolní nivě řeky Svatky a je budováno fluvialními sedimenty ležícími na neogenním podloží.

Předkvartérní podloží v zájmovém prostoru tvoří marinní neogenní jíly spodnobádenského stáří. Fluvialní sedimenty v údolní nivě tvoří říční písčité štěrky a písky svrchnopleistocenního až holocenního stáří. V jejich nadloží leží holocenní jílovité, jílovitohlinité a hlinitopísčité sedimenty.

Zájmová oblast se nachází v areálu čistírny odpadních vod a zahrnuje plochu o velikosti cca 7 ha. V zájmovém prostoru byly v minulosti vybudovány dosazovací a aktivační nádrže, jak je patrné z „Podrobné situace“ uvedené v příloze 2. Před cca 15 lety byly tyto nádrže asanovány, jejich prostory vyplněny, a to převážně místní zeminou s různým podílem hrubozrnnějších příměsí, stavebního odpadu a dalších materiálů umělého původu. Přitom byl povrch zarovnan do stávající úrovně. Betonové konstrukce nádrží byly pravděpodobně asanovány pouze zčásti a jejich zbytky ponechány na svém původním místě. Přípovrchové vrstvy do hloubky cca 5,6 m v zájmovém prostoru tedy mají antropogenní genezi a antropogenní stáří.

Geologii zájmového území ukazuje přehledná geologická mapa na obr. 3.1 v této kapitole.

*Obr. 3.1 Výřez z geologické mapy 1:25 000 s vyznačením zájmového území*



### 3.2 Hydrogeologické poměry

Zájmové území náleží do hydrogeologického rajónu svrchní vrstvy 1643 Kvartér Svatky. Řeka Svatka zde vytvořila rozsáhlou nivu a má funkci regionální drenážní báze pro území. Vlastní lokalita je tvořena antropogenními navážkami s hlínami, které jsou suché a umožňují infiltraci srážkové vody. Mělký oběh podzemní vody je vázán na fluvialní písky a štěrky, které tvoří hydrogeologický kolektor s průlinovou propustností. Nivní hlíny představují nadložní izolátor. Hladina podzemní vody je napjatá. Generální směr proudění podzemní vody je ve směru S-J. Podložní izolátor je tvořen neogenními jíly.

## 4. Inženýrskogeologické poměry

Inženýrskogeologické poměry v zájmovém prostoru jsou v této kapitole popsány na základě údajů získaných z realizovaných jádrových vrtů, penetračních sond a z vrtů archivních zpráv. Geologická stavba v prostoru uvažované výstavby je prezentována v sérii inženýrskogeologických řezů ve směru východ západ (A-A' až F-F') a ve směru sever jih (1-1' až 8-8'), které tvoří obsah přílohy č. 4 této závěrečné zprávy.

Zájmový prostor, ležící v údolní nivě regulované řeky Svatky má geologickou stavbu charakteristickou pro tuto oblast, jak je patrné z uvedených inženýrskogeologických řezů, pokrývajících v přibližně ortogonální síti celou oblast. Zároveň je přípovrchová část do hloubky i více než 5 m postižena antropogenními zásahy v podobě vestavěných konstrukcí stavebních objektů a s výstavbou spojenými terénními úpravami. Ze srovnání s archivními vrty vyplývá, že úroveň povrchu stávajícího terénu se oproti minulosti zvýšila cca o 1 m. Rovinný povrch zájmového území se v čase průzkumu nacházel v rozmezí 190,1 – 191,7 m n.m.

Předkvartérní podloží v celém prostoru tvoří souvrství neogenního jílu, jehož mocnost je řádově minimálně v desítkách metrů a jeho povrch leží v celé oblasti v hloubce 7,3 až 10,5 m od povrchu stávajícího terénu (tj. v nadmořské výšce cca 180,4 – 184,1 m n.m.). V neogenních jílech byly ve vrtech HV211 a J203 ve východní části areálu zastiženy zvodnělé jemnozrnné jílovité písky o mocnosti až 1,2 m. Tyto vrstvy nejsou dle dosavadních

poznatků průběžné, když tvoří uzavřené čočky. Z hlediska geotechnických vlastností jsou tyto dílčí polohy kvalitativně srovnatelné nebo i lepší a z toho důvodu nebyly vydělovány jako samostatný geotechnický typ.

V nadloží neogenních sedimentů je vyvinuto kvartérní souvrství údolní nivy tvořené štěrky, místy s málo mocnými písky na povrchu. Mocnost štěrkového souvrství se pohybuje v rozmezí 0,9 m ve vrtu J217 až 5,4 m, přičemž jeho povrch se nachází v nadmořských výškách 184,06 – 187,0 m n.m a jeho báze v nadmořských výškách 181,81 – 183,92 m n.m. Nesoudržné písčité sedimenty v nadloží štěrků mají ověřenou mocnost 0,2 až 1,0, výjimečně až 1,5 m (vrt J209), přičemž, v některých částech úplně chybí. Toto souvrství je nasycené vodou a tvoří hlavní hydrogeologický kolektor v oblasti. Ustálená hladina podzemní vody zaznamenaná současným průzkumem tvoří souvislou kvartérní zvědeň ve fluvialních sedimentech v hloubce 3,1 – 4,3 m pod terénem, tj. v rozmezí 186,5 – 187,9 m n. m. Nadložní jílovitohlinita, téměř nepropustná poloha kvartérních sedimentů způsobuje její mírné napětí.

V nadloží klastických souvrství údolní nivy je vyvinuto souvrství soudržných zemin. Až 1,8 m mocné polohy plastičtějších jílu měkké až tuhé konzistence se nachází v hloubce 3,0 – 5,7 m pod terénem (185,7 – 188,3 m n. m). Na ně nasedá souvrství jílovitohlinité (mocné až 2,5 m), situované v úrovni 186,4 až 190,3 m n. m.

Souvrství soudržných kvartérních zemin je v oblasti bývalých, nyní asanovaných nádrží nahrazené souvrstvím navážek tvořených převážně soudržnými zeminami vyplňujícími prostory asanovaných nádrží. Nádrže se vyskytují na větší ploše zájmového prostoru. Současný průzkum měl také snahu ověřit bodově hloubku jejich založení a stav zrušených konstrukcí. Zvolená technologie jádrového vrtání neumožnila průnik skrze konstrukce z vysoce kvalitního železobetonu. Provrtat betonové dno nádrží a ověřit zeminu v podzákladí se tak podařilo pouze ve vrtu J230, kde byla zjištěna tloušťka betonového dna 80 cm s úrovní spodního líce 4,5 m pod terénem. V ostatních vrtech a sondách situovaných do půdorysu jednotlivých nádrží bylo vrtání ukončeno na povrchu betonu nebo v betonu po prvních metrech. Nicméně lze konstatovat, že úroveň zastiženého povrchu dna původních nádrží odpovídá archivním údajům. Mocnost navážek ověřená průzkumem činí 1,1 m až 5,2 m, jejich báze se nachází v nadmořské výšce 190,0 – 186,18 m nad mořem.

Pro představu jsou zrušené nádrže promítnuty do řezů (tence červeně čárkované). Tlustě červenou čarou je zakreslena linie označující předpokládanou úroveň v minulosti prováděných stavebních prací. Tato linie vymezuje rozhraní mezi zeminami rostlými a stavebními konstrukcemi a zeminami dotčenými a ovlivněnými výstavbou. Nad touto linií byly kromě navážek zastiženy i rostlé soudržné zeminy. Jejich rozsah a mocnost však bodovým průzkumem nelze postihnout. Tyto zeminy mají oproti podložním nesoudržným zeminám (resp. štěrům) horší geotechnické parametry a jak je z inženýrskogeologických řezů patrné, zrušené konstrukce nádrží měly základovou spáru až v souvrství štěrku..

Pro přehlednost bylo zájmové území rozděleno na tři dílčí prostory označené I – III.

Část I se nachází v západní části území plánovaného pro výstavbu, mezi retenční nádrží na kal komunikaci a ze západu je omezena rybníky V části tohoto prostoru se nacházejí zrušené dosazovací nádrže. Střední část označená II se nachází v prostoru zrušených dosazovacích nádrží a je omezena komunikacemi. Ve východní části označené III se v podloží nachází zrušené aktivací nádrže. Názorně jsou tyto části území vyznačeny v situaci v příloze 2.

## 4.1 Zatřídění zemin dle Gtypů

S přihlédnutím ke stratigrafii, litologii a výsledkům fyzikálně – mechanických rozborů vzorků zemin byly zeminy rozčleněny na charakteristické skupiny – geotechnické typy zemin (tzv. GT typy), reprezentující fyzikálně a mechanicky kvazi homogenní celky. Přehled geotechnických typů je přehledně zobrazen v tabulce 4.1.1.

**Tab. 4.1.1: Přehled geotechnických typů**

Základní stratigrafické rozdělení	Geneze	Litologický popis zemin a hornin	Zatřídění dle ČSN 73 6133	Geotechnický typ
kvartér	Antropogenní	Přemístěná místní soudržná zemina - prachovitopísčité jílovité hlíny (ojediněle až jíly) s kolísavou příměsí štěrkové frakce, převážně pevné konzistence	F4 CS, F3 MS, F6 CI a F8 CH	<b>1a</b>
		Stavební odpad – beton, dřevo		<b>1b</b>
		Podsypy - štěrky s jemnozrnnou příměsí	G3 G-F	<b>1c</b>
	Fluviální	Jílovitoprachovité zeminy s velmi kolísavou příměsí pískové frakce (siCl, saCl) tuhé konzistence	F8 CH, ojediněle F6 CI	<b>2</b>
		Jíly, prachovitopísčité jíly, ojediněle jíly prachovité (Cl, sasiCl, siCl)	F8 CV, F8 CH, ojediněle F6 CI a F4 CS	<b>3</b>
		Jíly písčité, písčité hlíny až jílovité písky, s nízkým podílem štěrku (symbol sasiCl, clSa)	F3 MS, F4 CS, F6 CI	<b>4</b>
		Písčité štěrky s jemnozrnnou příměsí	G3 G-F	<b>5</b>
	marinní	jíl vápnitý, tuhé konzistence a vysoké a velmi vysoké plasticity (symbol Cl)	F8 CV, F8 CH	<b>6</b>

Pro jednotlivé geotechnické typy zemin jsou zpracovány grafy obalových křivek zrnitosti.

Do **GT1a** byly zařazeny navážky, charakteru převážně hlíny prachovitopísčité, jílovité (ojediněle až jíly) s příměsí kolísavé štěrkové frakce.

Jejich odlišení od následujících geotechnických typů reprezentujících přirozeně uložené jemnozrnné fluviální uloženiny (GT2 a GT3) bylo někdy velmi obtížné. Vzhled, ale i geotechnické vlastnosti těchto GT typů jsou velmi podobné.

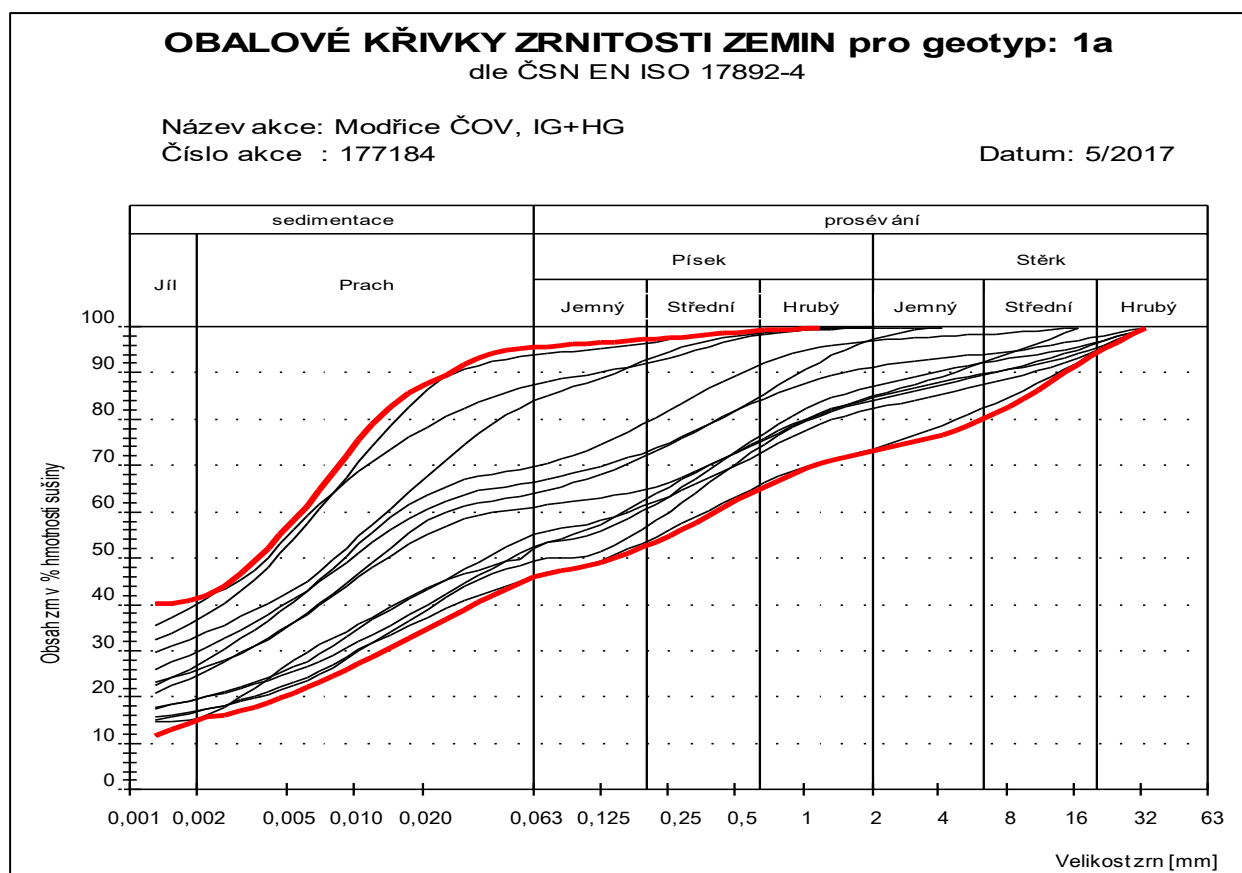
Navážky jsou ulehlé, zavlhlé, barevně pak světle až tmavěji hnědé, šedo hnědé Soudržná složka navážek má konzistenci převážně pevnou. Poloostrohranné, poloopracované úlomky betonu, cihel a horniny jsou do maximální velikosti několika cm. Písčítá složka byla zastižena jemně až hrubozrnná. Dle klasifikace ČSN 73 6133 odpovídá třídě F4 CS, F8 CH, ojediněle F3 MS a F6 CI, dle EN ISO 14688-2 je zatříděna jako sasiCl, grsasiCl, siCl až Cl.

Dále byly navážky zastiženy ve formě železobetonových konstrukcí (GT1b) a podsypového písku hlinitého se šterkem, hnědý, suchý, ulehlý, s úlomky betonu (GT1c).

Mocnost navážek je velmi proměnlivá. Maxima dosahují v oblastech bývalých objektů a jejich blízkém okolí, kde lze očekávat jejich mocnost až 5,6 m. Obecně lze definovat tyto zeminy jako zeminy podmíněčně vhodné k založení stavebních objektů, jejich případnou vhodnost, resp. návrh jejich úpravy nebo náhrady zeminou vhodnou je třeba odborně posoudit při odkrytí základové spáry při geotechnické sledu. Zbytky stavebních konstrukcí (beton, železobeton, dřevo), částečně ponechaných po asanaci na místě bude nutné jako nevhodný materiál odstranit.

Znázornění obalových křivek geotechnického typu **GT1a** je na následujícím obr. 4.1.1.

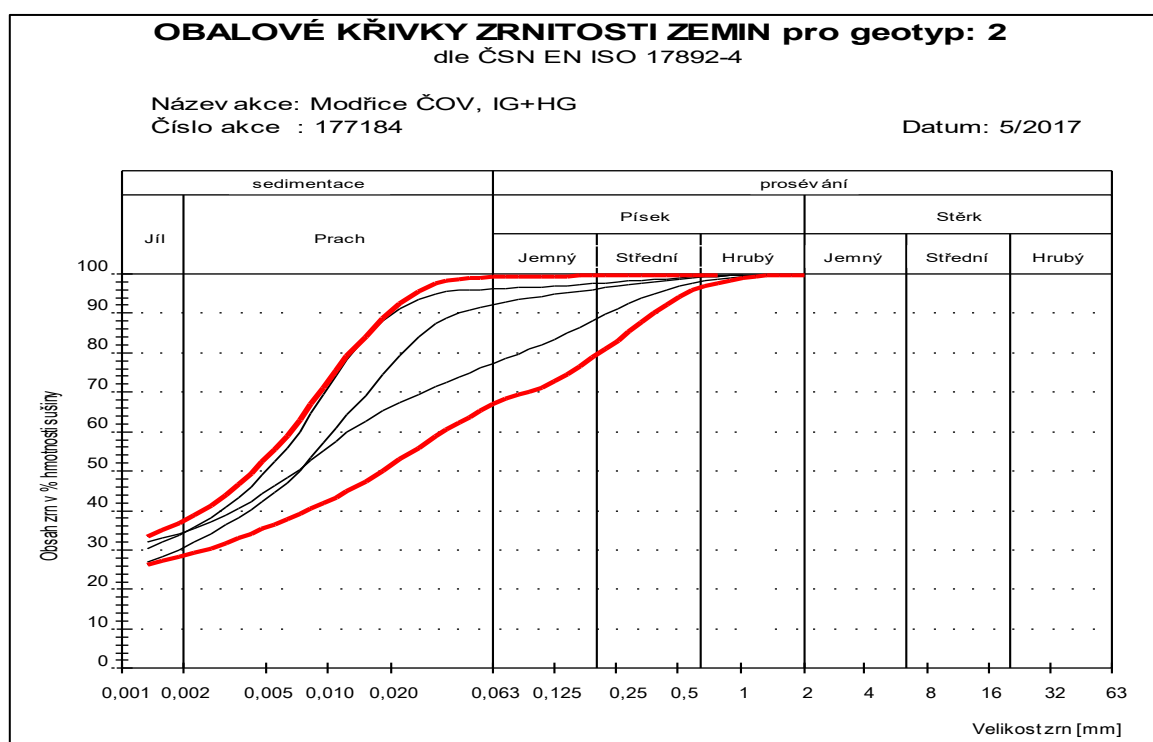
Obr. 4.1.1



Souvrství fluvialních hlinitých sedimentů je dle zrnitostního složení rozděleno do dvou geotechnických typů GT2 a GT3.

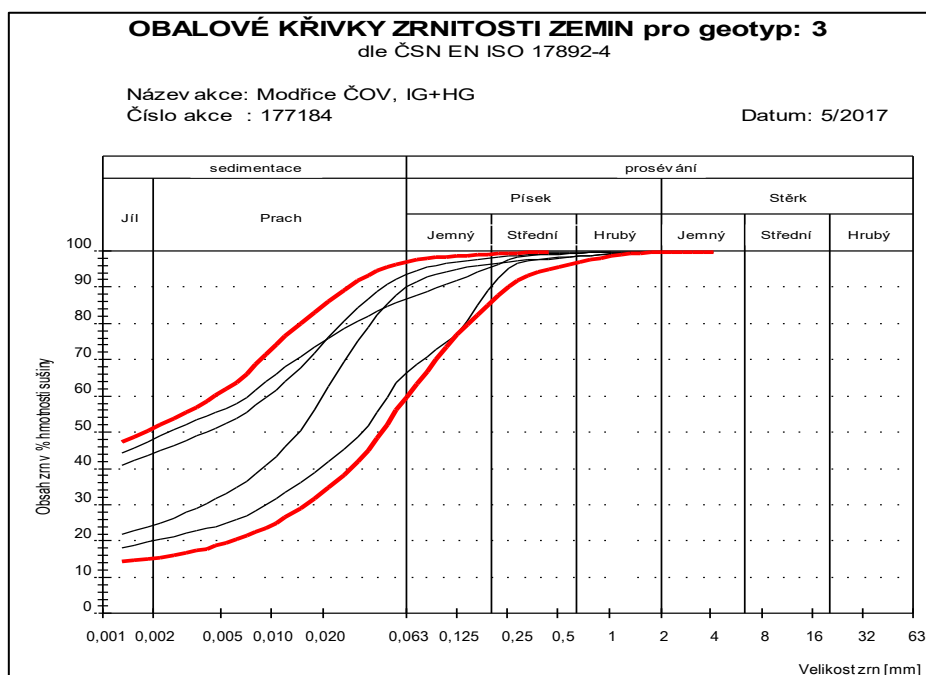
Do **GT2** řadíme zeminy s charakterem jílovitoprachovitých zemin s kolísavou příměsí písčité frakce. Barva těchto zemin byla převážně hnědá, šedo hnědá, tmavě hnědá, konzistence tuhá. Zemina byla vápnitá. Písčítá složka byla zastižena jemně až středozrná. Dle klasifikace ČSN 73 6133 odpovídá třídě F8 CH, F6 CI, dle EN ISO 14688-2 je zatříděna jako siCl, ojediněle saCl. Ve vrtech J217, J219 a J216 byla zastižena jílovitá hlína s příměsí organických částic. Znázornění obalových křivek GT2 je na obr. 4.1.2.

Obr. 4.1.2 Obalové křivky GT2



Jíly, prachovitopísčité jíly, ojediněle jíly prachovité byly zařazeny do geotechnického typu **GT3**. Barevná škála zemin se pohybovala v rozmezí šedo zelenorezavě smouhované, hnědorezavé, rezavošedohnědé, zelenošedé, hnědé s rezavě černým smouhováním. Tato vrstva se nachází v blízkosti hladiny podzemní vody, její konzistence byla tuhá, případně měkká až tuhá. Písčité frakce byla jemnozrná. Dle klasifikace ČSN 73 6133 odpovídá třídě F8 CV a CH, ojediněle F6 CI a F4 CS, dle EN ISO 14688-2 je zatříděna jako Cl, sasiCl, siCl. Znázornění obalových křivek GT3 je na obr. 4.1.4

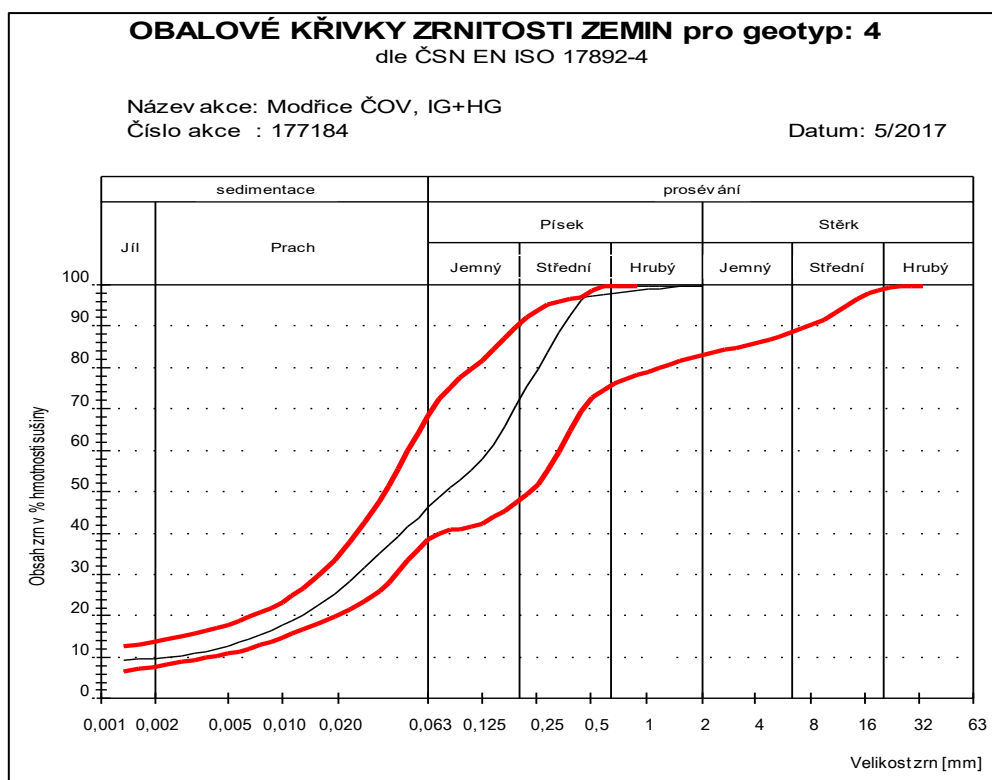
Obr. 4.1.4 Obalové křivky GT3





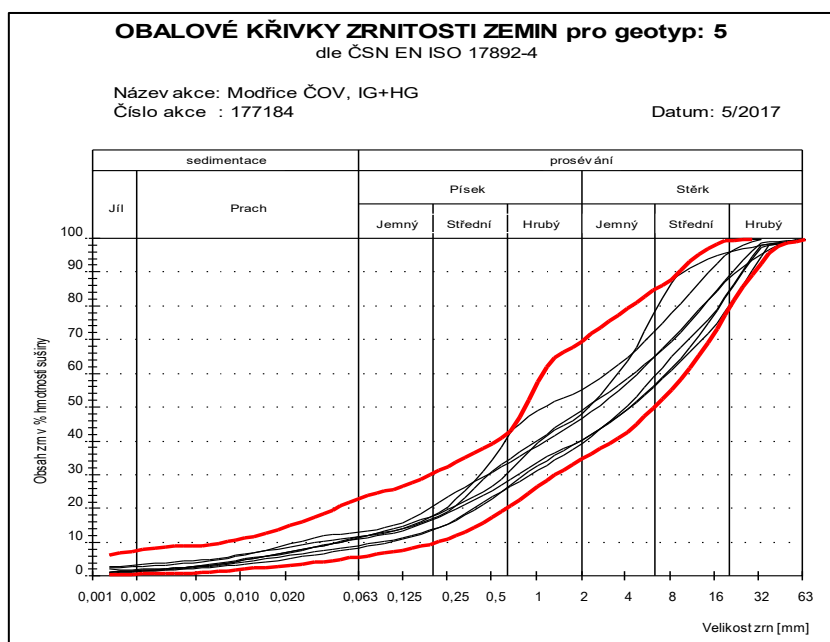
Fluviální písčité sedimenty v podloží hlín a v nadloží štěrků. Tyto zeminy netvoří v zájmovém prostoru souvislou vrstvu. Jedná se o nesoudržné zeminy, které však ze zrnitostního hlediska popisujeme jako písčité jíly, písčité hlíny až jílovité písky, místy s nízkým podílem štěrku. Barevná škála zemin se pohybovala v rozmezí hnědé, šedohnědé, hnědorezavé a šedé. V současném průzkumu byla na jejich bázi zastižena hladina podzemní vody. Zemina byla vlhká i zvodnělá, středně ulehlá. Písčítá frakce byla jemně až středozrnná. Dle klasifikace ČSN 73 6133 odpovídá třídě F3 MS, F4 CS, S3 S-F a S4 SM v závislosti na proměnlivosti jednotlivých frakcí, místy i F6 CI, dle EN ISO 14688-2 je zaříděna jako sasiCl, ciSa. Znázornění obalových křivek GT4 je na obr. 4.1.6

Obr. 4.1.6 Obalové křivky GT4



Fluviální štěrkovité sedimenty byly zastiženy v celém zájmovém prostoru. Řadíme je do geotechnického typu **GT5**, který tvoří písčité a hlinitopísčité štěrky. Barva těchto zemin byla převážně hnědá, šedá, šedohnědá, rezavá. Písčítá složka je dobře zrněná, štěrkový podíl je tvořen polozaoblenými valouny skalních hornin (granodiorit, diorit, křemeny) převážně do velikosti 8 cm, místy až 12 cm. Dle klasifikace ČSN 73 6133 odpovídá třídě G3 G-F jako štěr s jemnozrnnou příměsí, ojediněle G4 GM, dle EN ISO 14688-2 je zaříděna jako saGr. Štěrkové souvrství je dobře propustné, zvodnělé v celé mocnosti. Znázornění obalových křivek GT5 je na obr. 4.1.7.

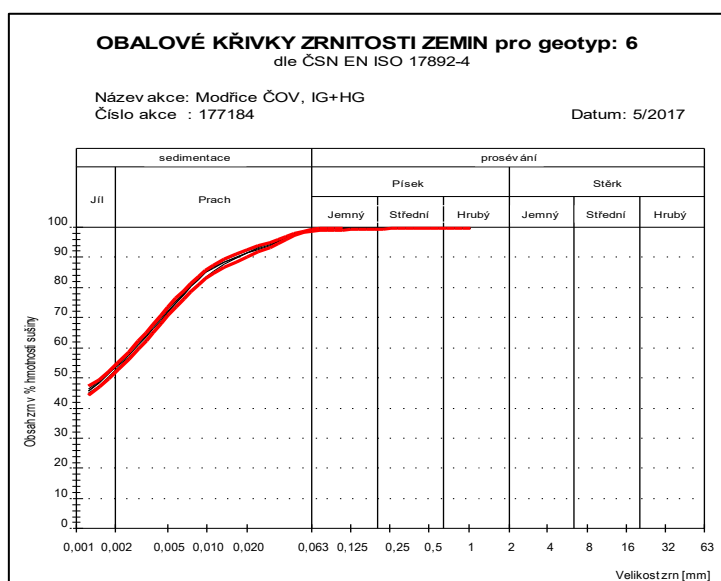
Obr. 4.1.7 Obalové křivky GT5



Povrch vápnatých neogenních jíílů (tzv. téglu) byl zastižen v nadmořské výšce cca 179,9 – 183,4 m nad mořem, tj. 8 – 11 m pod terénem. Mocnost neogenního souvrství v zájmové oblasti nebyla průzkumnými pracemi ověřena. Neogenní jíly jsou řazeny ke geotechnickému typu **GT6**.

Barva těchto zemin byla převážně šedozelená až zelenošedá, konzistence zastižená současným průzkumem tuhá, k bázi vrtů přecházela v konzistenci tuhou až pevnou. Obsah písčité složky byl zastižen na území I. v mocnosti 0,1 – 1,2 m. Dle klasifikace ČSN 73 6133 odpovídá jíílům s vysokou až velmi vysokou plasticitou a to je řadí do třídy F8 a k symbolům CH až CV. Dle normy EN ISO 14688-2 těmto zeminám náleží symbol Cl. Polohy jemnozrnného jílovitého písku se řadí do třídy S5 symbolu SC. Souvrství je prakticky nepropustné a vytváří spodní izolátor kvartérní zvodni ve štěrkovém souvrství. Znázornění obalových křivek GT5 je na obr. 4.1.8

Obr. 4.1.8 Obalové křivky GT6



Charakteristické hodnoty geotechnických vlastností zemin v přirozeném uložení a jejich vhodnosti pro další využití jako materiálů pro zemní konstrukce uvádějí dále v textu tabulky č. 4.1.1 až 4.1.6.

Tabulka 4.1.1 Odvozené a doporučené hodnoty geotechnických vlastností geotechnického typu 1a

Geotechnický typ GT 1a			Hodnoty odvozené				Hodnoty doporučené
			průměr	max.	min.	koef. var. [%]	
obsah jílu.	$c_l$	[%]	25	41	8	40	-
obsah prachu	$s_i$		40	60	29	24	-
obsah písku	$s_a$		25	44	4	44	-
obsah štěrku	$g_r$		10	27	0	87	-
obsah jemné frakce	$f$		66	96	39	29	-
vlhkost	$w$	[%]	18,1	28,0	11,8	26	
stupeň nasycení	$S_r$	[%]	98	100	95	-	
stupeň konzistence reduk.	$I_{Cr}$	[-]	1,04	1,36	0,76	15	
propustnost z křiv. zrnitosti	$k$	[m.s <sup>-1</sup> ]	<3,0E-8				<3,0E-8
objemová tíha zeminy	$\gamma$	[kN.m <sup>-3</sup> ]	1,96	2,03	1,91	3	1,95
modul přetvárnosti	$E_{oed}$	[MPa]					
pro obory napětí [kPa]		<100	8,7	-	-	-	8,7
		100-200	12,3	16,4	9,8	-	12,5
		>200	11,3	11,6	11,1	-	11,3
Poissonovo číslo	$\nu$	[-]		-	-	-	0,35
součinitel	$\beta$	[-]	0,62*	-	-	-	0,62
smyková pevnost							
- totální soudržnost	$c_u$	[kPa]	-	-	-	-	60*
- totální úhel vnitřního tření	$\phi_u$	[°]	-	-	-	-	6*
- efektivní soudržnost	$c_{ef}$	[kPa]	18	-	-	-	18
- efektivní úhel vnitřního tření	$\phi_{ef}$	[°]	24,5	-	-	-	25
zhutnitelnost (Proctor standard)							
zhutnitelnost v přirozeném stavu	$r_{dmax}$	kg.m <sup>-3</sup>	1760	1837	1710	2	1760
	$w_{opt}$	%	16,6	17,7	14,6	6	16,6
zhutnitelnost po přidání CaO	$r_{dmax}$	kg.m <sup>-3</sup>	1672	1697	1631	2	1670
	$w_{opt}$	%	19,2	20,7	18,3	7	19,2

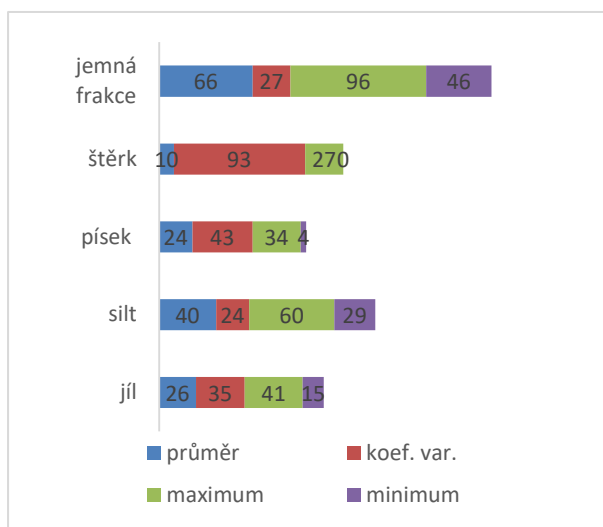
\*hodnota dle zkušenosti, nebo s přihlédnutím k ostatním zkouškám

#### Zatřídění zemin

Dle ČSN EN ISO 14688-2 se jedná o prachovitopísčité jílové materiály (ojediněle až jíly) s příměsí velmi kolísavé štěrkové frakce (symboly sasiCl, grsasiCl, siCl až Cl).

Dle ČSN 73 6133 převažuje třída a symbol F4 CS, méně F8 CH, ojediněle F3 MS a F6 Cl, jíly písčité, jíly s vysokou plasticitou, hlíny písčité a jíly se střední plasticitou.

## Statistika zrnitostního složení



**Namrzavost:** převažuje nebezpečná namrzavost.

**Vhodnost do násypu:** převažují zeminy k přímému použití podmíněčně vhodné, místy se vyskytují jílové zeminy, které jsou nevhodné k přímému použití bez úpravy. Do poddajných vrstev vrstevnatých násypů lze uvažovat s použitím těchto zemin i bez úpravy,

**Vhodnost do aktivní zóny:** zeminy tohoto Gtypu jsou pro použití do aktivní zóny bez úpravy převážně nevhodné a bude nutná vždy jejich úprava.

Tabulka. 4.1.2 Odvozené a doporučené hodnoty geotechnických vlastností geotechnického typu 2

Geotechnický typ GT 2			Hodnoty odvozené				Hodnoty doporučené
			průměr	max.	min.	koef. var. [%]	
obsah jílu.	$cl$	[%]	33	37	29	3	-
obsah prachu	$si$		53	65	38	23	-
obsah písku	$sa$		14	33	1	99	-
obsah štěrku	$gr$		0	-	-	-	-
obsah jemné frakce	$f$		86	99	67	16	-
vlhkost	$w$	[%]	29,0	42,9	18,3	31	
stupeň nasycení	$S_r$	[%]	96	94	99	4	
stupeň konzistence reduk.	$I_{Cr}$	[-]	0,81	0,96	0,49	24	
propustnost z křiv. zrnitosti	$k$	[m.s <sup>-1</sup> ]	<3,0E-8				<3,0E-8
objemová tíha zeminy	$\gamma$	[kN.m <sup>-3</sup> ]	1,93	1,97	1,91	2	1,91
modul přetvárnosti	$E_{oed}$	[MPa]					
pro obory napětí [kPa]		<100	8,5	-	-	-	8,5
		100-200	8,5	-	-	-	8,5
		>200	10,6	-	-	-	10,6
Poissonovo číslo	$\nu$	[-]		-	-	-	0,42*
součinitel	$\beta$	[-]	0,37*	-	-	-	0,37*
smyková pevnost							
- totální soudržnost	$c_u$	[kPa]	-	-	-	-	40*
- totální úhel vnitřního tření	$\phi_u$	[°]	-	-	-	-	4*
- efektivní soudržnost	$c_{ef}$	[kPa]	12	15	8	-	10*
- efektivní úhel vnitřního tření	$\phi_{ef}$	[°]	26	27	25	-	25*

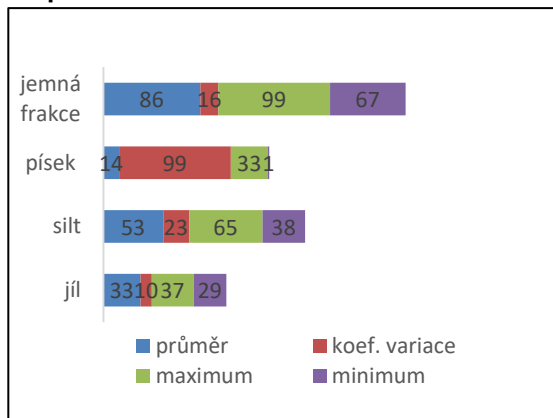
\*hodnota dle zkušenosti, nebo s přihlédnutím k ostatním zkouškám

## Zatřídění zemin

Dle ČSN EN ISO 14688-2 se jedná o jílovovitoprachovité zeminy s velmi kolísavou příměsí pískové frakce (symboly siCl ojediněle saCl).

Dle ČSN 73 6133 převažuje třída a symbol F8 CH (jíl s vysokou plasticitou), ojediněle se vyskytuje F6 Cl (jíl se střední plasticitou).

### Popisná statistika zrnitostního složení



**Namrzavost:** zeminy jsou nebezpečně namrzavé.

**Vhodnost do násypu:** Tyto jílové zeminy jsou nevhodné k přímému použití bez úpravy. Do poddajných vrstev vrstevnatých násypů lze uvažovat s použitím těchto zemin i bez úpravy.

**Vhodnost do aktivní zóny:** zeminy tohoto Gtypu jsou pro použití do aktivní zóny bez úpravy nevhodné a bude nutná vždy jejich úprava.

Tab. 4. 3 Odvozené a doporučené hodnoty geotechnických vlastností geotechnického typu 3

Geotechnický typ GT 3			Hodnoty odvozené				Hodnoty doporučené
			průměr	max.	min.	koef. var. [%]	
obsah jílu.	<i>cl</i>	[%]	34	51	15	47	-
obsah prachu	<i>si</i>		49	66	39	19	-
obsah písku	<i>sa</i>		18	40	3	87	-
obsah štěrku	<i>gr</i>		0	-	-	-	-
obsah jemné frakce	<i>f</i>		83	97	60	19	-
vlhkost	<i>w</i>	[%]	30,0	43,3	22,2	32	
stupeň nasycení	<i>S<sub>r</sub></i>	[%]	100	-	-	-	
stupeň konzistence reduk.	<i>I<sub>Cr</sub></i>	[-]	0,76	0,90	0,64	15	
propustnost z křiv. zrnitosti	<i>k</i>	[m.s <sup>-1</sup> ]	<3,0E-8				<b>&lt;3,0E-8</b>
objemová tíha zeminy	<i>γ</i>	[kN.m <sup>-3</sup> ]	1,94	2,11	1,79	7	<b>1,87</b>
modul přetvárnosti	<i>E<sub>oed</sub></i>	[MPa]					
pro obory napětí [kPa]		<100	11,4	8,5	13,1	-	<b>11,0</b>
		100-200	9,0	9,7	8,2	-	<b>9</b>
		>200	10,4	10,7	10,0	-	<b>10,5</b>
modul přetvárnosti	<i>E<sub>def</sub></i>	[MPa]	4*	-	-	-	<b>4*</b>
Poissonovo číslo	<i>ν</i>	[-]		-	-	-	<b>0,42*</b>
součinitel	<i>β</i>	[-]	0,37*	-	-	-	<b>0,37*</b>
smyková pevnost							
- totální soudržnost	<i>c<sub>u</sub></i>	[kPa]	60*	-	-	-	<b>60*</b>
- totální úhel vnitřního tření	<i>φ<sub>u</sub></i>	[°]	0*	-	-	-	<b>0*</b>
- efektivní soudržnost	<i>c<sub>ef</sub></i>	[kPa]	20	21	18	9	<b>19*</b>
- efektivní úhel vnitřního tření	<i>φ<sub>ef</sub></i>	[°]	18,8	22,0	16,5	15	<b>18*</b>

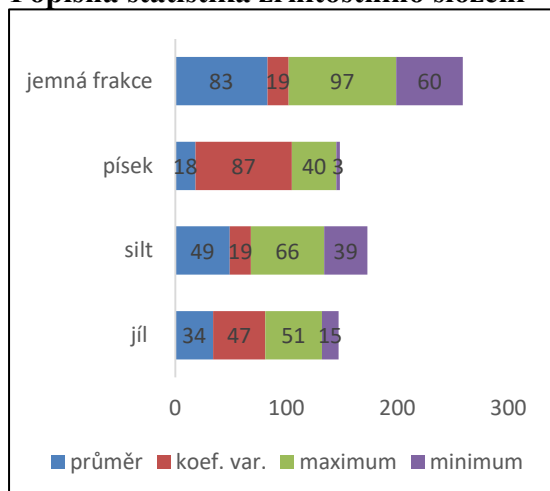
\*hodnota dle zkušenosti, nebo s přihlédnutím k ostatním zkouškám

### Zatřídění zemín

Dle ČSN EN ISO 14688-2 se jedná o jíly, prachovitopísčité jíly ojediněle jíly prachovité (symboly Cl, sasiCl, siCl).

Dle ČSN 73 6133 se jedná o třídu a symbol F8 CV a CH (jíly s vysokou a velmi vysokou plasticitou), ojediněle F6 Cl a F4 CS (jíly se střední plasticitou a jíly písčité).

### Popisná statistika zrnitostního složení



**Namrzavost:** zeminy jsou nebezpečně až vysoce namrzavé.

**Vhodnost do násypu:** zeminy jsou k přímému použití podmíněčně vhodné až nevhodné a dle dalších vlastností se rozhodne, zda je možné je použít přímo bez úpravy, nebo zda se musí upravit. Do poddajných vrstev vrstevnatých násypů lze uvažovat s použitím těchto zemín i bez úpravy.

**Vhodnost do aktivní zóny:** zeminy tohoto Gtypu jsou pro použití do aktivní nevhodné a budou vyžadovat úpravu.

Tab. 4. 4 Odvozené a doporučené hodnoty geotechnických vlastností geotechnického typu 4

Geotechnický typ GT 4			Hodnoty odvozené				Hodnoty doporučené
			průměr	max.	min.	koef. var. [%]	
obsah jílu.	<i>cl</i>	[%]	25	41	8	40	-
obsah prachu	<i>si</i>		40	60	29	24	-
obsah písku	<i>sa</i>		25	44	4	44	-
obsah šterku	<i>gr</i>		10	27	0	87	-
obsah jemné frakce	<i>f</i>		66	96	39	29	-
vlhkost	<i>w</i>	[%]	18,1	28,0	11,8	26	
stupeň nasycení	<i>S<sub>r</sub></i>	[%]	98	100	95	-	
stupeň konzistence reduk.	<i>I<sub>Cr</sub></i>	[-]	1,04	1,36	0,76	15	
propustnost z křiv. zrnitosti	<i>k</i>	[m.s <sup>-1</sup> ]	-	<3,0E-8	<3,0E-8	-	<3,0E-8
objemová tíha zeminy	<i>γ</i>	[kN.m <sup>-3</sup> ]	1,96	2,03	1,91	3	1,95
modul přetvárnosti	<i>E<sub>def</sub></i>	[MPa]	12,3	16,4	9,8	-	12,5
Poissonovo číslo	<i>ν</i>	[-]	0,35*	-	-	-	0,38*
součinitel	<i>β</i>	[-]	0,62*	-	-	-	-
smyková pevnost							
- totální soudržnost	<i>c<sub>u</sub></i>	[kPa]	-	-	-	-	60*
- totální úhel vnitřního tření	<i>φ<sub>u</sub></i>	[°]	-	-	-	-	6*
- efektivní soudržnost	<i>c<sub>ef</sub></i>	[kPa]	18*	-	-	-	18*
- efektivní úhel vnitřního tření	<i>φ<sub>ef</sub></i>	[°]	24,5*	-	-	-	25*

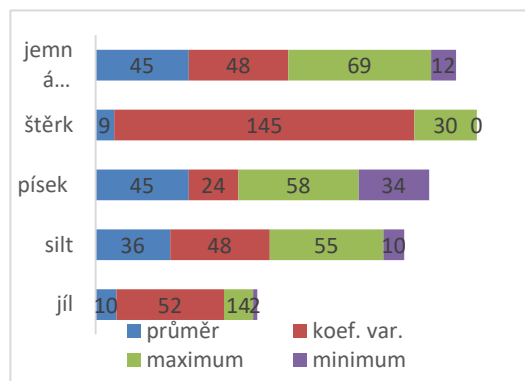
\*hodnota dle zkušenosti, nebo s přihlédnutím k ostatním zkouškám

## Zatřídění zemin

Dle ČSN EN ISO 14688-2 se jedná o písčité jíly, písčité hlíny až jílovité písky, místy s nízkým podílem šterku (symbol  $s_{ci}, cl_{sa}$ ).

Dle ČSN 73 6133 se jedná o třídu a symbol F3 MS (hlína písčitá) a F4 CS (jíl písčitý) a F6 Cl (jíl se střední plasticitou).

## Popisná statistika zrnitostního složení



**Namrzavost:** zeminy jsou nebezpečně namrzavé.

**Vhodnost do násypu:** zeminy jsou k přímému použití podmíněčně vhodné a dle dalších vlastností se rozhodne, zda je možné je použít přímo bez úpravy, nebo zda se musí upravit. Do poddajných vrstev vrstevnatých násypů lze uvažovat s použitím těchto zemin i bez úpravy.

**Vhodnost do aktivní zóny:** zeminy tohoto Gtypu jsou pro použití do aktivní nevhodné a budou vyžadovat úpravu.

Tab. 4. 5 Odvozené a doporučené hodnoty geotechnických vlastností geotechnického typu 5

Geotechnický typ GT 5			Hodnoty odvozené				Hodnoty doporučené
			průměr	max.	min.	koef. var. [%]	
obsah jílu	$cl$	[%]	3	8	1	74	-
obsah prachu	$si$		9	15	5	31	-
obsah písku	$sa$		36	58	29	25	-
obsah šterku	$gr$		53	65	30	20	-
obsah jemné frakce	$f$		12	23	6	40	-
vlhkost	$w$	[%]	9,4	13,8	6,2	29	
stupeň nasycení	$S_r$	[%]	100*	-	-	-	
ulehlost	$I_d$	[1]	-	0,33	0,67	-	
propustnost z křiv. zrnitosti	$k$	[m.s <sup>-1</sup> ]	3,0E-4	1,2E-3	2,1E-6	121	<b>3,0E-4</b>
objemová tíha zeminy	$\gamma$	[kN.m <sup>-3</sup> ]	19,0*	-	-	-	<b>19,0*</b>
modul přetvárnosti	$E_{def}$	[MPa]	80*	-	-	-	<b>80*</b>
Poissonovo číslo	$\nu$	[-]	0,25*	-	-	-	<b>0,25*</b>
součinitel	$\beta$	[-]	--	-	-	-	-
smyková pevnost							
- totální soudržnost	$c_u$	[kPa]	-	-	-	-	-
- totální úhel vnitřního tření	$\phi_u$	[°]	-	-	-	-	-
- efektivní soudržnost	$c_{ef}$	[kPa]	0*	-	-	-	<b>0*</b>
- efektivní úhel vnitřního tření	$\phi_{ef}$	[°]	32*	-	-	-	<b>32*</b>

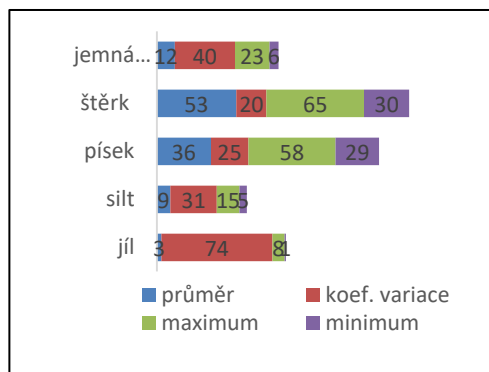
\*hodnota dle zkušenosti, nebo s přihlédnutím k ostatním zkouškám

## Zatřídění zemin

Dle ČSN EN ISO 14688-2 se jedná o převážně o písčité šterky (symbol saGr).

Dle ČSN 73 6133 se jedná převážně o třídu a symbol G3 G-F (šterk s příměsí jemnozrnné zeminy) a ojediněle G4 GM (šterk hlinitý).

## Popisná statistika zrnitostního složení



**Namrzavost:** zeminy jsou převážně mírně namrzavé.

**Vhodnost do násypu:** zeminy jsou k přímému použití převážně vhodné.

**Vhodnost do aktivní zóny:** zeminy tohoto Gtypu jsou pro použití do aktivní vhodné a lze je přímo použít bez úpravy.

Tab. 4. 6 Odvozené a doporučené hodnoty geotechnických vlastností geotechnického typu 6

Geotechnický typ GT 6			Hodnoty odvozené				Hodnoty doporučené
			průměr	max.	min.	koef. var. [%]	
obsah jílu.	<i>cl</i>	[%]	53	52	51	2	-
obsah prachu	<i>si</i>		46	47	45	2	-
obsah písku	<i>sa</i>		1	1	0	49	-
obsah šterku	<i>gr</i>		0	-	-	-	-
obsah jemné frakce	<i>f</i>		99	100	99	0	-
vlhkost	<i>w</i>	[%]	34,9	36,9	32,1	5	
stupeň nasycení	<i>S<sub>r</sub></i>	[%]	100	-	-	-	
stupeň konzistence reduk.	<i>I<sub>Cr</sub></i>	[-]	0,87	0,96	0,81	7	
propustnost z křiv. zrnitosti	<i>k</i>	[m.s <sup>-1</sup> ]	<3,0E-8				<3,0E-8
objemová tíha zeminy	<i>γ</i>	[kN.m <sup>-3</sup> ]	1,87	1,92	1,86	1	1,87
modul přetvárnosti	<i>E<sub>oed</sub></i>	[MPa]					
pro obory napětí [kPa]		<100	25,0	28,9	21,1	-	25
		100-200	9,0	9,7	8,2	-	9
		>200	10,4	10,7	10,0	-	10,5
modul přetvárnosti	<i>E<sub>def</sub></i>	[MPa]	4*	-	-	-	4*
Poissonovo číslo	<i>ν</i>	[-]		-	-	-	0,42*
součinitel	<i>β</i>	[-]	0,37*	-	-	-	0,37*
smyková pevnost							
- totální soudržnost	<i>c<sub>u</sub></i>	[kPa]	102	124	80	-	95*
- totální úhel vnitřního tření	<i>φ<sub>u</sub></i>	[°]	1	2	1	-	1
- efektivní soudržnost	<i>c<sub>ef</sub></i>	[kPa]	37	-	-	-	25*
- efektivní úhel vnitřního tření	<i>φ<sub>ef</sub></i>	[°]	19,5	-	-	-	19*

\*hodnota dle zkušenosti, nebo s přihlédnutím k ostatním zkouškám

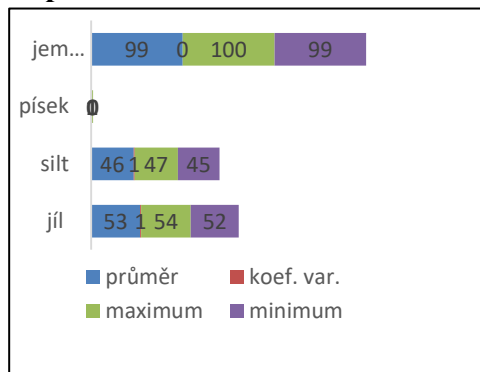


## Zatřídění zemin

Dle ČSN EN ISO 14688-2 se jedná o jíly místy s akcesorickou příměsí pískové frakce (symbol CI)

Dle ČSN 73 6133 se jedná o třídu a symbol F8 CV a F8 CH, jíly s vysokou plasticitou a jíly s velmi vysokou plasticitou. Pro písčité polohy platí zařazení do třídy S5 symbolu SC písek jílovitý.

### Popisná statistika zrnitostního složení



**Namrzavost:** zeminy jsou vysoce namrzavé.

**Vhodnost do násypu:** zeminy jsou k přímému použití podmíněčně nevhodné a je vždy nutné tyto zeminy upravit. Do poddajných vrstev vrstevnatých násypů lze uvažovat s použitím těchto zemin i bez úpravy.

**Vhodnost do aktivní zóny:** zeminy tohoto Gtypu jsou pro použití do aktivní k přímému použití bez úpravy nevhodné a budou vždy vyžadovat úpravu.

### Těžitelnost a vrtatelnost

Z hlediska těžitelnosti dle Přílohy D ČSN 73 6133 lze všechny zastižené zeminy zahrnout do třídy I s výjimkou betonových konstrukcí (G-typ 1b), kde je nutné počítat s třídou III. Obdobně z hlediska vrtatelnosti dle katalogu ÚRS 800-2 řadíme všechny zastižené zeminy do třídy I, pouze souvrství štěrků (G-typ 5) do třídy II a betonové konstrukce (G-typ 1b) do třídy VI z důvodu hustého vyztužení.

## 4.2 Charakteristika podzemní vody

Hladina podzemní vody byla průzkumnými sondami naražena ve vrstvě fluvialních písčitých a štěrkovitých sedimentů, v hloubce 3,4 – 5,4 m pod terénem, tj. v rozmezí 185,7 – 188,0 m n. m., ustálená hladina podzemní vody byla změřena v hydrogeologických vrtech v úrovni 3,54 – 4,1 m pod terénem, tj. 187,28 – 187,51 m n. m.

V rámci posouzení agresivity podzemní vody na betonové konstrukce bylo odebráno 5 vzorků podzemní vody. Odběry byly provedeny přítomným vrtmistrem a analyzovány v hydrochemických laboratořích GEOTestu, a.s. (zkušební laboratoř č. 1270 akreditovaná ČIA) v požadovaném rozsahu (rozběr vody k posouzení pro stavební účely). Protokoly s výsledky rozborů a posouzení chemického působení vody na beton a na ocel, včetně zařazení podle příslušných norem, jsou uvedeny v příloze č. 5.2 této zprávy a jsou shrnuty v následující tabulce č. 4.2.1.

Tabulka č. 4.2.1 Chemické rozborů vody jednotlivých vzorků

Sonda	Agresivita prostředí z hlediska chemického působení vody na beton podle tabulky č. 2 ČSN EN 206-1	Agresivita prostředí z hlediska chemického působení vody na ocel dle ČSN 03 8375
<b>J203, J209, HV 218, J221, J227</b>	slabě agresivní chemické prostředí (XA1)	velmi vysoká (IV.)

Pro betonové konstrukce podzemních staveb je nutné dodržet požadavky na kvalitu a trvanlivost betonu dle ČSN EN 206-1/Z3, tabulky NA.F.1 - Mezní hodnoty pro složení

a vlastnosti betonu platné v ČR (předpokládaná životnost 50 let) a je také nutné dodržet výběr cementu pro beton podle tabulky F.4 pro daný stupeň chemicky agresivního prostředí.

## 5. Výsledky hydrogeologického průzkumu

### 5.1 Hydrodynamická zkouška na vrtech HV-207, HV-211, HV-218, HV-226

Na hydrogeologických vrtech HV-207, HV-211, HV-218, HV-226 byla pro zjištění základních hydraulických parametrů (transmisivita, koeficient hydraulické vodivosti) zvodně realizována krátkodobá hydrodynamická zkouška v délce trvání 3+1 den. Na vrtech HV-218 a HV-207 byla zkouška realizována samostatně, společná zkouška probíhala na vrtech HV-211 a HV-226.

Samostatná čerpací zkouška na vrtu HV-218 byla zahájena dne 29. 5. 2017 na hladině podzemní vody 4,81 m od odměrného bodu, který představoval horní okraj kovové ochranky. Zkouška probíhala s konstantní vydatností 0,96 l/s. Na konci čerpací zkoušky poklesla hladina podzemní vody na hodnotu 5,06 m (snížení 0,25 m) od odměrného bodu. Bezprostředně po ukončení čerpání byla zahájena stoupací zkouška, která byla ukončena na hladině podzemní vody 4,82 m od odměrného bodu. Hladina podzemní vody po ukončení hydrodynamické zkoušky nedostoupila o pouhý 1 cm oproti původní neovlivněné hladině ustálené po dokončení vrtu (1-2 cm je chyba měření hladinoměrem).

Společná čerpací zkouška na vrtech HV-211 a HV-226 byla zahájena dne 5. 6. 2017 na hladině podzemní vody 5,02 m (pro vrt HV-211) od odměrného bodu, který představoval horní okraj kovové ochranky. Zkouška probíhala s proměnlivou vydatností 2,35 až 2,9 l/s. Na konci čerpací zkoušky poklesla hladina podzemní vody na hodnotu 5,81 m (snížení 0,79 m) od odměrného bodu. Bezprostředně po ukončení čerpání byla zahájena stoupací zkouška, která byla ukončena na hladině podzemní vody 5,1 m od odměrného bodu. Hladina podzemní vody po ukončení hydrodynamické zkoušky nedostoupila o pouhých 0,1 m oproti původní neovlivněné hladině ustálené po dokončení vrtu.

V případě vrtu HV-266 byla zkouška zahájena na hladině podzemní vody 4,58 m od odměrného bodu, který představoval horní okraj kovové ochranky. Zkouška probíhala s proměnlivou vydatností 2,15 až 2,9 l/s. Na konci čerpací zkoušky poklesla hladina podzemní vody na hodnotu 7,56 m (snížení 2,98 m) od odměrného bodu. Bezprostředně po ukončení čerpání byla zahájena stoupací zkouška, která byla ukončena na hladině podzemní vody 4,68 m od odměrného bodu. Hladina podzemní vody po ukončení hydrodynamické zkoušky nedostoupila o pouhých 0,1 m oproti původní neovlivněné hladině ustálené po dokončení vrtu.

Samostatná čerpací zkouška na vrtu HV-207 byla zahájena dne 12. 6. 2017 na hladině podzemní vody 4,91 m od odměrného bodu, který představoval horní okraj kovové ochranky. Zkouška probíhala s konstantní vydatností 0,7 l/s. Na konci čerpací zkoušky poklesla hladina podzemní vody na hodnotu 7,86 m (snížení 2,95 m) od odměrného bodu. Bezprostředně po ukončení čerpání byla zahájena stoupací zkouška, která byla ukončena na hladině podzemní vody 4,93 m od odměrného bodu. Hladina podzemní vody po ukončení hydrodynamické zkoušky nastoupila o 2 cm výše oproti původní neovlivněné hladině ustálené po dokončení vrtu (1-2 cm je chyba měření hladinoměrem).

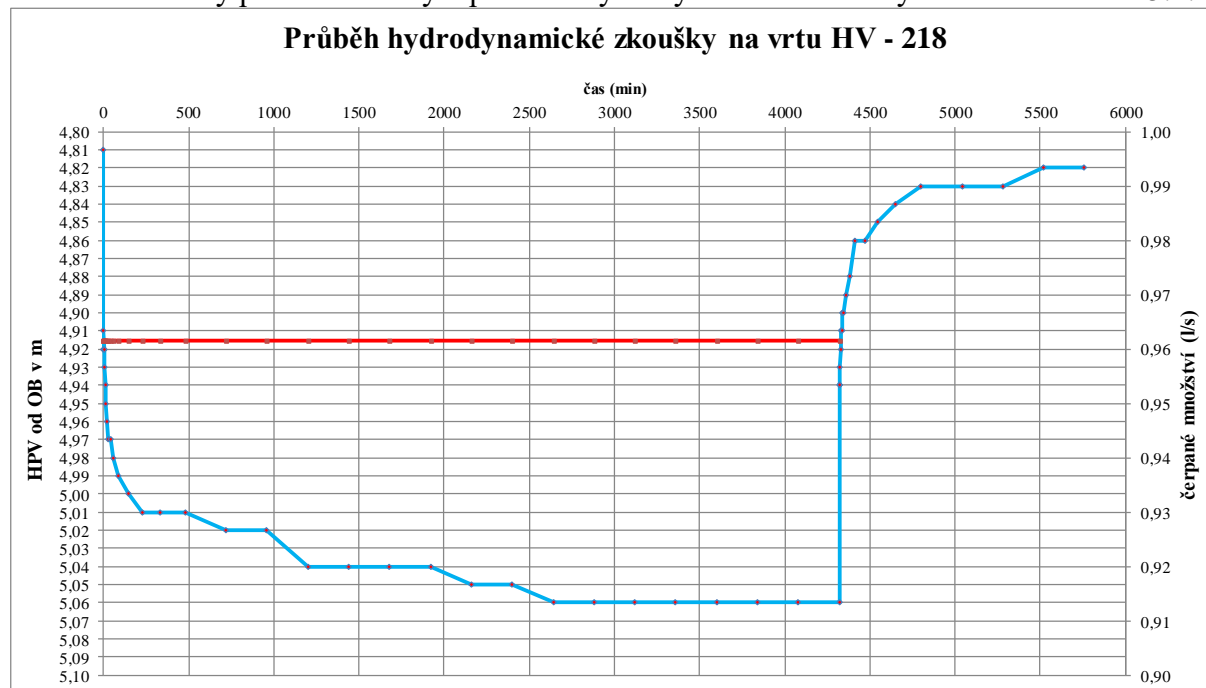
V průběhu hydrodynamické zkoušky na každém vrtu byla měřena hladina podzemní vody a vydatnost podle požadavků na příslušný způsob vyhodnocení podle teorie neustáleného proudění podzemní vody v minutových a hodinových intervalech podle ČSN 73 6614 Zkoušky zdrojů podzemní vody. Prvotní technická dokumentace zkoušky je uložena v archivu zpracovatele.

### 5.1.1 Vyhodnocení hydrodynamické zkoušky na vrtu HV-218

V průběhu čerpací zkoušky při vydatnosti 0,96 l/s byl pokles hladiny nejdříve velmi rychlý, po 4 hodinách se začal pokles hladiny zmírňovat, a po 48 hodinách došlo k ustálení hladiny, které se udrželo do konce čerpací zkoušky. Celkové snížení hladiny během čerpací zkoušky bylo pouze 0,25 m. Nástup hladiny během stoupací zkoušky byl velmi rychlý, k úplnému nástupu hladiny chyběl jen 0,01 m. Prítok podzemní vody do prostoru vrtu je vyšší než čerpané množství. Grafický průběh hydrodynamické zkoušky na vrtu HV-218 je zobrazen v následujícím grafu č. 5.1.1.

Závislost hladiny podzemní vody v průběhu hydrodynamické zkoušky

Graf č. 5.1.1



#### Výpočet podle teorie neustáleného proudění

Vyhodnocení hydrodynamické zkoušky bylo provedeno semilogaritmickou metodou dle Jacobova (metoda přímkové transformace). Jedna z jejích možností je grafická interpretace „snížení – čas“, kdy se snížení vynese v normálním měřítku proti logaritmu času. Tato modifikace je aplikovaná pro neustálené proudění v průlinovém prostředí a popis je následující:

Po vynesení změny hladiny v čase do grafu se odečte parametr  $\Delta s$ , který charakterizuje hodnotu snížení hladiny v jednom logaritmickém cyklu času, dalším krokem je výpočet základních hydraulických parametrů zvodněného horninového prostředí – transmisivity (průtočnosti)  $T$  a koeficientu hydraulické vodivosti ( $k_f$ ).

Postup je podle vzorce:

$$T = \frac{2,303 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta s}$$

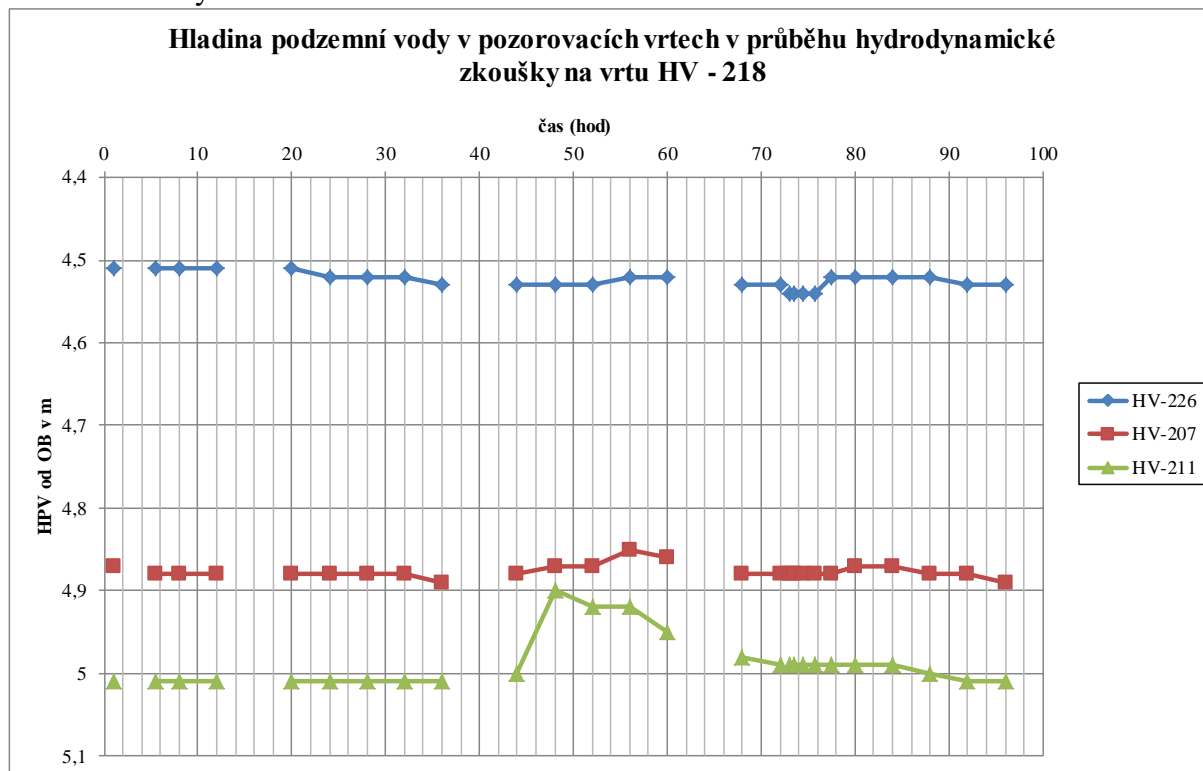
kde  $Q$  – čerpané množství a  $\Delta s$  - snížení v jednom logaritmickém cyklu času

Po dosazení obdržíme hodnotu transmisivity  $T = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Koeficient hydraulické vodivosti vypočteme jako  $k_f = T/M$ . Parametr  $M$  představuje mocnost hydrogeologického kolektoru, v tomto případě 2,6 m. Po výpočtu dostaneme koeficient hydraulické vodivosti (koeficient filtrace)  $k_f = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ .

Jako pozorovací objekty byly měřeny vrty HV-226, HV-207 a HV-211. Pohyb hladiny byl v řádu prvních cm a nesouvisel s čerpáním vrtu HV-218.

Pozorovací vrty

Graf č. 5.1.2

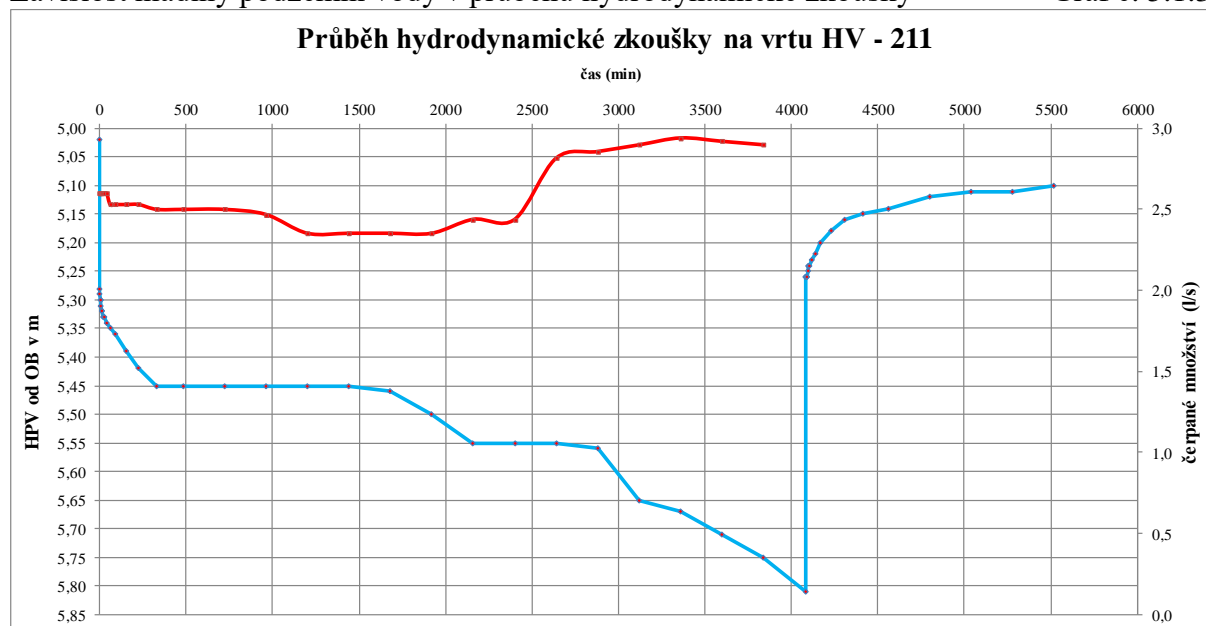


### Vyhodnocení hydrodynamické zkoušky na vrtu HV-211

V průběhu čerpací zkoušky při vydatnosti 2,35 až 2,9 l/s docházelo v závislosti na čerpaném množství k střídání poklesu hladiny a stavu dočasněho ustálení. Ke konečnému ustálení hladiny nedošlo v důsledku navýšení čerpaného množství vody. Pokles vydatnosti byl způsoben technickými problémy (prasklá spojka na hadici), které po odstranění vedly k opětovnému zvýšení vydatnosti. Celkové snížení hladiny bylo 0,79 m. Nástup hladiny během stoupací zkoušky byl velmi rychlý, k úplnému nástupu hladiny chybělo 0,08 m. Grafický průběh hydrodynamické zkoušky na vrtu HV-211 je zobrazen v následujícím grafu č. 5.1.3.

## Závislost hladiny podzemní vody v průběhu hydrodynamické zkoušky

Graf č. 5.1.3

**Výpočet podle teorie neustáleného proudění**

Vyhodnocení hydrodynamické zkoušky bylo provedeno semilogaritmickou metodou dle Jacobova (metoda přímkové transformace). Jedna z jejích možností je grafická interpretace „snížení – čas“, kdy se snížení vynese v normálním měřítku proti logaritmu času. Tato modifikace je aplikovaná pro neustálené proudění v průlinovém prostředí a popis je následující:

Po vynesení změny hladiny v čase do grafu se odečte parametr  $\Delta s$ , který charakterizuje hodnotu snížení hladiny v jednom logaritmickém cyklu času, dalším krokem je výpočet základních hydraulických parametrů zvodněného horninového prostředí – transmisivity (průtočnosti)  $T$  a koeficientu hydraulické vodivosti ( $k_f$ ).

Postup je podle vzorce:

$$T = \frac{2,303 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta s}$$

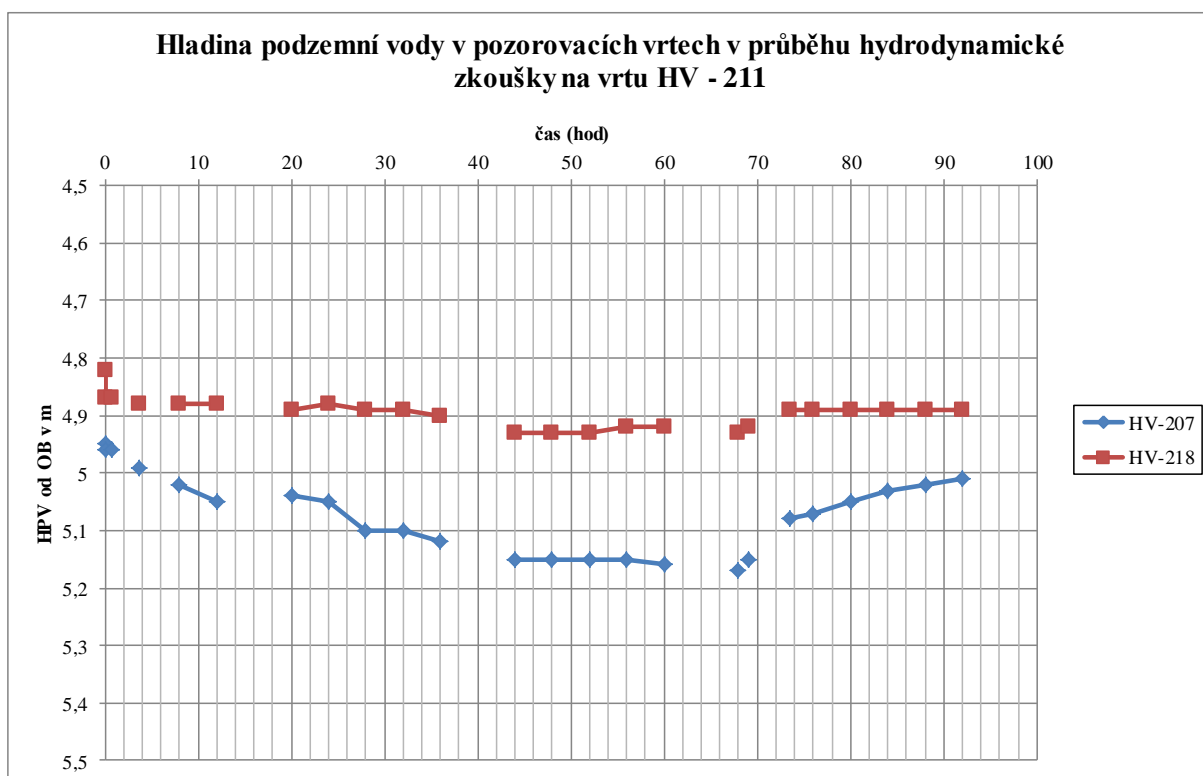
kde  $Q$  – čerpané množství a  $\Delta s$  - snížení v jednom logaritmickém cyklu času

Po dosazení obdržíme hodnotu transmisivity  $T = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Koeficient hydraulické vodivosti vypočteme jako  $k_f = T/M$ . Parametr  $M$  představuje mocnost kolektoru, v tomto případě 3,5 m. Po výpočtu dostaneme koeficient hydraulické vodivosti  $k_f = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ .

Jako pozorovací objekty byly měřeny vrty HV-207 a HV-218. Dosah depresního kužele čerpaného objektu se projevil na hladině ve vrtu HV-207, tj. ve vzdálenosti 119 m od čerpaného vrtu HV-211.

## Pozorovací vrty

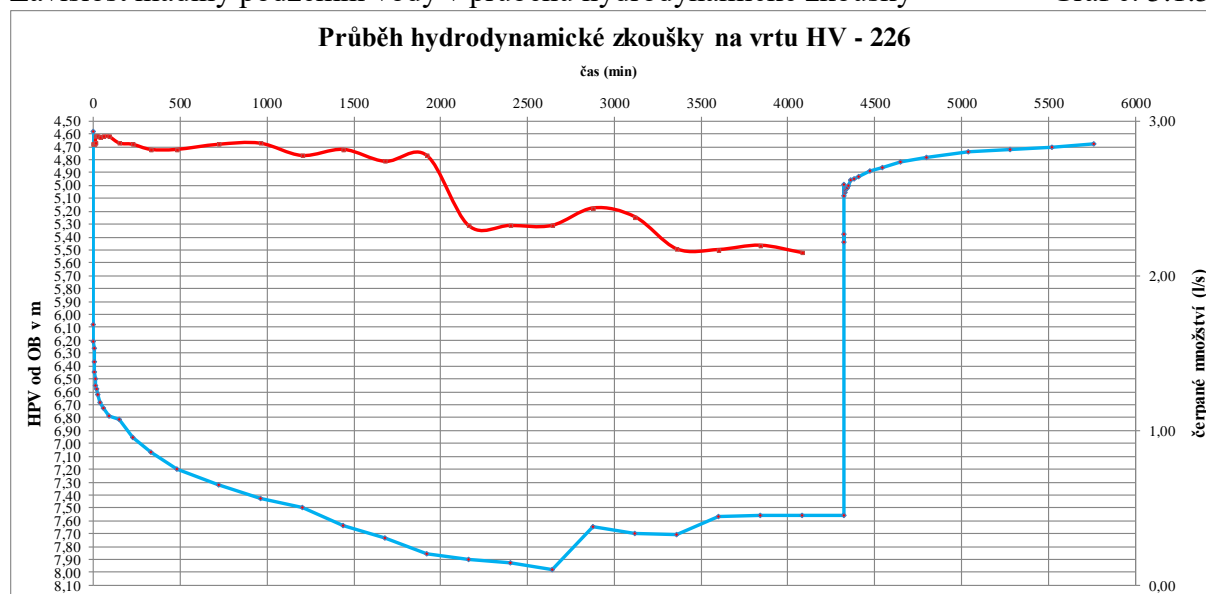
## Graf č. 5.1.4

**Vyhodnocení hydrodynamické zkoušky na vrtu HV-226**

V průběhu čerpací zkoušky při vydatnosti 2,15 až 2,9 l/s došlo v závislosti na poklesu čerpaného množství k mírnému nástupu hladiny v poslední třetině čerpací zkoušky. Nakonec hladina dosáhla rovnovážného stavu při čerpání 2,15 l/s. Celkové snížení bylo 2,98 m. Při čerpání vody došlo k vzniku dvoufázového prostředí, kdy čerpaná kapalina byla směs podzemní vody a plynu (mléčné zbarvení vody). Při objemových měřeních vydatnosti byl měřen pouze objem podzemní vody. Původ plynu a jeho podíl v čerpané kapalině nebyl řešen. Plyn byl bez zápachu, lze předpokládat, že šlo o metan. Nástup hladiny během stoupací zkoušky byl velmi rychlý, po hodině trvání stoupací zkoušky se začal nástup zpomalovat. K úplnému nástupu hladiny chybělo 0,1 m. Grafický průběh hydrodynamické zkoušky na vrtu HV-226 je zobrazen v následujícím grafu č. 5.1.5.

## Závislost hladiny podzemní vody v průběhu hydrodynamické zkoušky

Graf č. 5.1.5

**Výpočet podle teorie neustáleného proudění**

Vyhodnocení hydrodynamické zkoušky bylo provedeno semilogaritmickou metodou dle Jacobova (metoda přímkové transformace). Jedna z jejích možností je grafická interpretace „snížení – čas“, kdy se snížení vynese v normálním měřítku proti logaritmu času. Tato modifikace je aplikovaná pro neustálené proudění v průřinovém prostředí a popis následující:

Po vynesení změny hladiny v čase do grafu se odečte parametr  $\Delta s$ , který charakterizuje hodnotu snížení hladiny v jednom logaritmickém cyklu času, dalším krokem je výpočet základních hydraulických parametrů zvodněného horninového prostředí – transmisivity (průtočnosti)  $T$  a koeficientu hydraulické vodivosti ( $k_f$ ).

Postup je podle vzorce:

$$T = \frac{2,303 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta s}$$

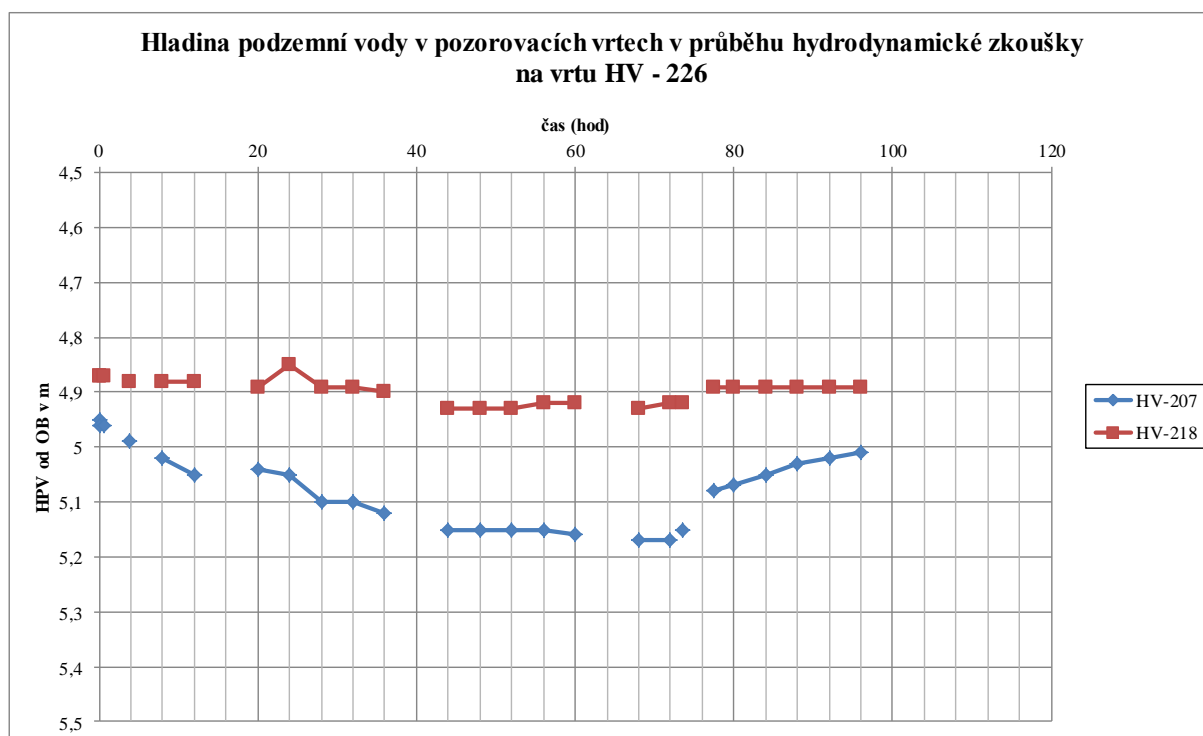
kde  $Q$  – čerpané množství a  $\Delta s$  - snížení v jednom logaritmickém cyklu času

Po dosazení obdržíme hodnotu transmisivity  $T = 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . Koeficient hydraulické vodivosti vypočteme jako  $k_f = T/M$ . Parametr  $M$  představuje mocnost kolektoru, v tomto případě 3,1 m. Po výpočtu dostaneme koeficient hydraulické vodivosti  $k_f = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ .

Jako pozorovací objekty byly měřeny vrty HV-207 a HV-218. Dosah depresního kužele čerpaného objektu se projevil na hladině ve vrtu HV-207, tj. ve vzdálenost 104 m od čerpaného vrtu HV-226.

## Pozorovací vrty

Graf č. 5.1.6

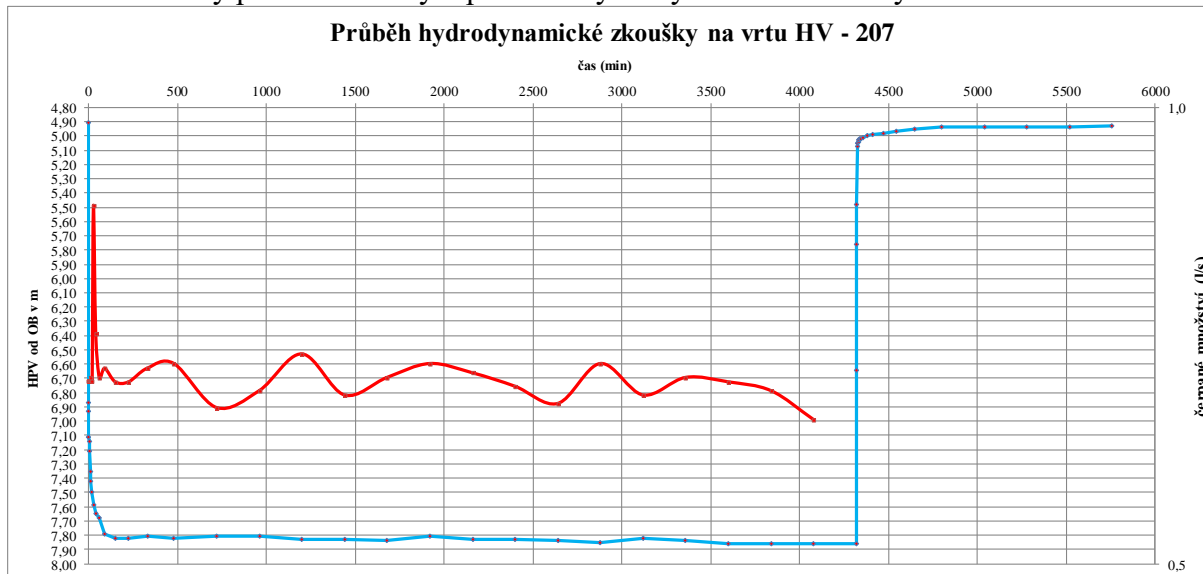


## Vyhodnocení hydrodynamické zkoušky na vrtu HV-207

Při nastavení vydatnosti (cca 3 l/s) došlo na vrtu HV-207 k poklesu hladiny na sací koš čerpadla. Proto bylo čerpání nastaveno k hodnotě 1 l/s. Reálné čerpané množství bylo cca 0,7 l/s, které trvalo po celou dobu zkoušky. Došlo k ustálení hladiny, ale při velkém snížení (2,95 m). Nástup hladiny během stoupací zkoušky byl velmi rychlý až skokový. K úplnému nástupu hladiny chybělo 0,02 m. Grafický průběh hydrodynamické zkoušky na vrtu HV-207 je zobrazen v následujícím grafu č. 5.1.7.

## Závislost hladiny podzemní vody v průběhu hydrodynamické zkoušky

Graf č. 5.1.7





### Výpočet podle teorie neustáleného proudění

Vyhodnocení hydrodynamické zkoušky bylo provedeno semilogaritmickou metodou dle Jacobova (metoda přímkové transformace). Jedna z jejích možností je grafická interpretace „snížení – čas“, kdy se snížení vynese v normálním měřítku proti logaritmu času. Tato modifikace je aplikovaná pro neustálené proudění v průlinovém prostředí a popis následující:

Po vynesení změny hladiny v čase do grafu se odečte parametr  $\Delta s$ , který charakterizuje hodnotu snížení hladiny v jednom logaritmickém cyklu času, dalším krokem je výpočet základních hydraulických parametrů zvodněného horninového prostředí – transmisivity (průtočnosti)  $T$  a koeficientu hydraulické vodivosti ( $k_f$ ).

Postup je podle vzorce:

$$T = \frac{2,303 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta s}$$

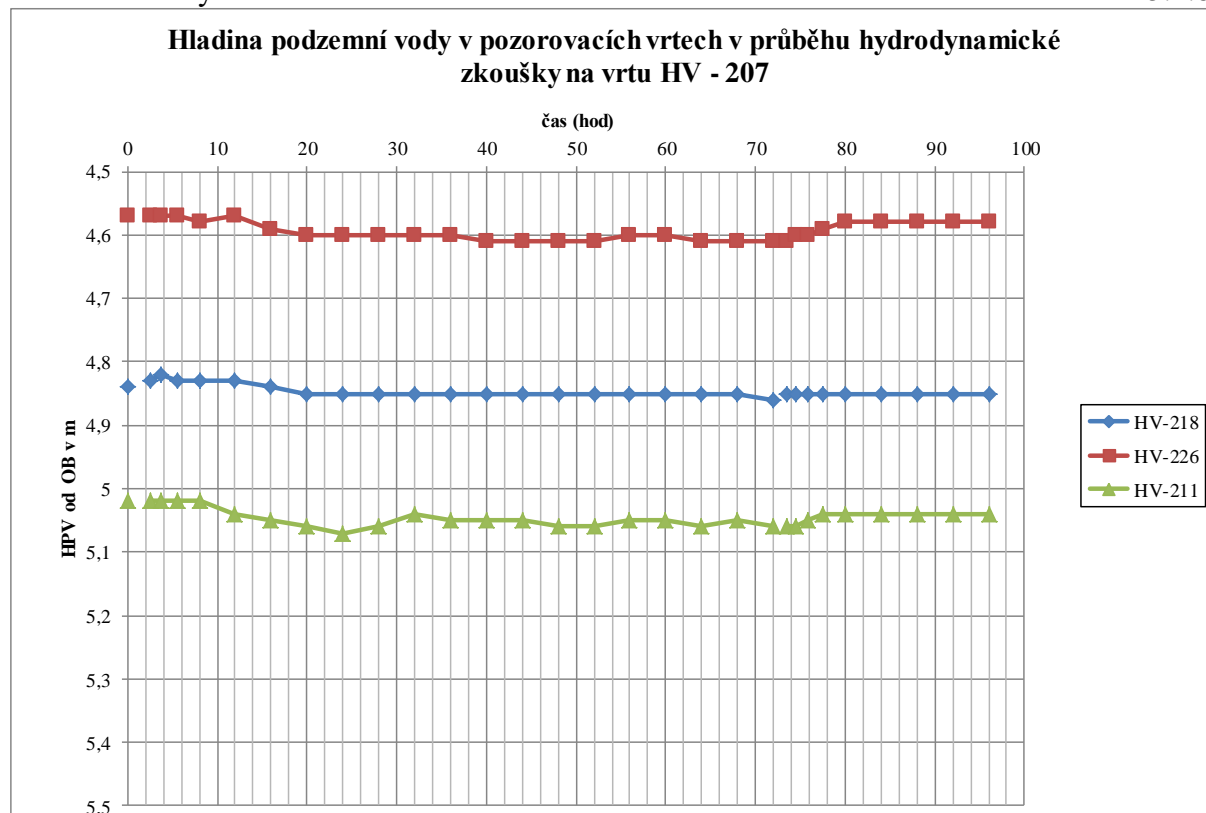
kde  $Q$  – čerpané množství a  $\Delta s$  - snížení v jednom logaritmickém cyklu času

Po dosazení obdržíme hodnotu transmisivity  $T = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . Koeficient hydraulické vodivosti vypočteme jako  $k_f = T/M$ . Parametr  $M$  představuje mocnost kolektoru, v tomto případě 2,6 m. Po výpočtu dostaneme koeficient hydraulické vodivosti  $k_f = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ .

Jako pozorovací objekty byly měřeny vrty HV-211, HV-218 a HV-226. Pohyb hladiny byl v řádu prvních cm a nesouvisel s čerpáním vrtu HV-207.

Pozorovací vrty

Graf č. 5.1.8



Zhodnocením hydrodynamických zkoušek lze konstatovat, že koeficient hydraulické vodivosti v řádu  $n \times 10^{-4} \text{ m/s}$  odpovídá prostředí, ve které jsou hydrogeologické průzkumné vrty vybudovány.

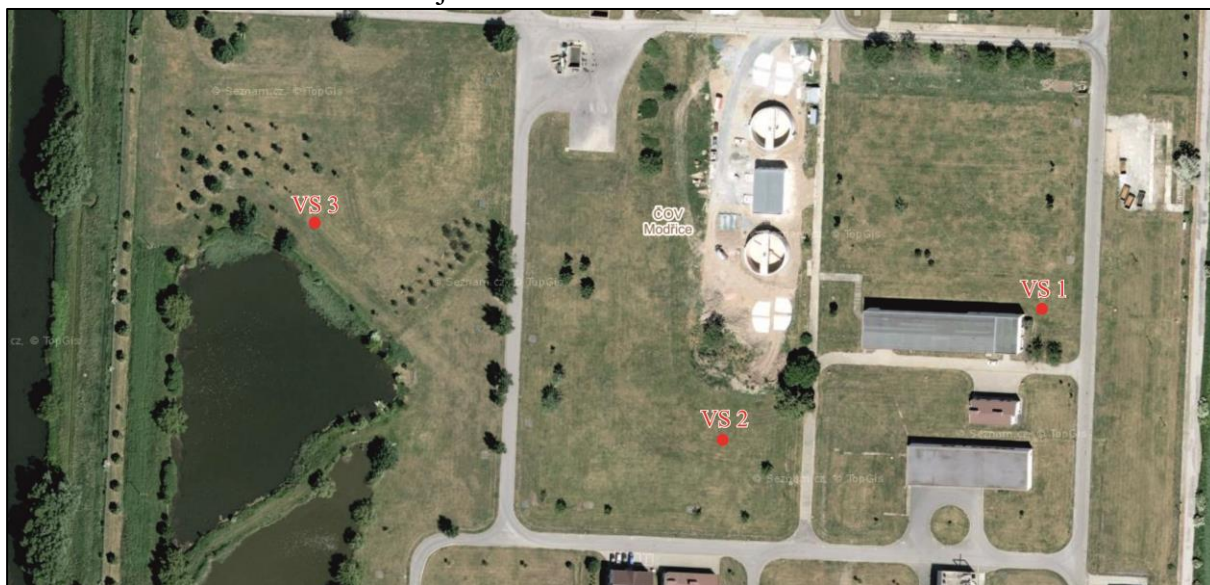
## 5.2 Vsakovací zkoušky

V areálu ČOV Modřice se plánuje výstavba zastřešených objektů a navazujících zpevněných komunikací. Srážková voda, která bude na těchto plochách vznikat, by měla být infiltrována do horninového prostředí. Za účelem ověření infiltrační schopnosti horninového prostředí byla na třech místech realizována vsakovací zkouška. Dne 6. 6. 2017 byly v blízkosti hydrogeologických vrtů HV-218, HV-226 a HV-211 bagrem vyhloubeny vsakovací jámy (VS 1, VS 2, VS 3) a vlastní realizace vsakovacích zkoušek proběhla dne 8. 6. 2017. Dovoz pitné vody pro účely vsakovací zkoušky byl zajištěn cisternou. Schematická situace vsakovacích sond je znázorněna na obr. č. 5.2.1.

Vsakovací jámy VS 1, VS 2 a VS 3 byly bagrem vyhloubené jámy o rozměrech 2 m (délka) × 0,8 m (šířka) × 2 m (hloubka). Celkový objem vsakovacích jam byl tedy 3,2 m<sup>3</sup>. Nalítí vody probíhalo do výšky hladiny 0,5 – 0,7 m pod terénem.

Schematická situace vsakovacích jam

Obr. 5.2.1



Zdroj: Podkladová data © ČÚZK (ZM10); <http://geoportal.cuzk.cz>

### 5.2.1 Vsakovací jáma VS 1

Vsakovací jáma VS 1, která byla vyhloubena do volné zatravněné plochy na pozemku p. č. 2074/3 v k. ú. Chrlice, měla tento geologický profil, (podle vrtu HV-218):

metráž (m)	popis
0,0 - 0,1	hlína tmavě hnědá, tuhá, s kořínky
0,1 – 1,8	navážka charakteru písčité hlíny se štěrskem
1,8 – 2,0	navážka charakteru písku se štěrskem

Na následujícím obr. č. 5.2.2 je zachycena napouštění vody do jámy. Jako zdroj vody pro vsakovací zkoušku byla využita pitná voda dovezená cisternou. Z výpustního kohoutu cisterny byla voda hadicí přepouštěna do vsakovací jámy. Během 8 minut bylo do jámy nalito 4500 l vody, vydatnost vypouštění tedy byla 9,4 l/s. Hladina vody se ve vsakovací jámě VS 1 nacházela po vypuštění 4 500 l vody z cisterny v hloubce 0,60 m od odměrného bodu, z toho plyne, že zabírala objem 2,0×0,8×1,40 m (půdorys jámy + hloubka jámy 2,0 m –

nesaturovaná část jámy 0,60 m) = 2,24 m<sup>3</sup> = 2 240 l. Během 8 minut napouštění vody o objemu 4 500 l se vsakovalo do horninového prostředí 2 260 l vody rychlostí 4,7 l/s. Voda přitom vsakovala jak stěnami, tak i dnem jámy.

Plnění vsakovací jámy VS 1 vodou z cisterny Obr. č. 5.2.2



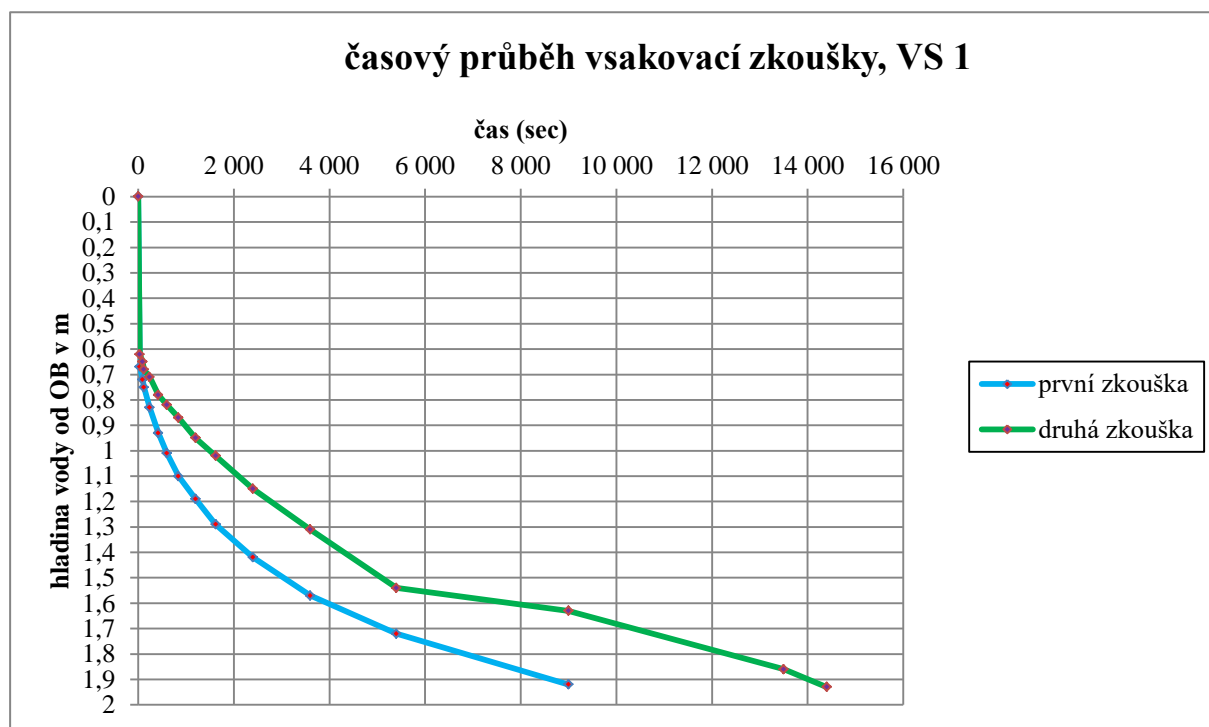
Vrchní hrana dřevěné latky položené přes jámu VS 1 sloužila jako odměrný bod pro měření hladiny vody v jámě. Hladina vody se po 2 h a 30 minutách snížila o 1,32 m na hodnotu 1,92 m, proto byla zkouška opakována, jak názorně ukazuje tabulka č. 5.2.1. a graf č. 5.2.1 (průběh vsakovacích zkoušek).



## Vsakovací zkouška v sondě VS 1

Tabulka č. 5.2.1

Časový průběh vsakovací zkoušky (8. 6. 2017)				
ČOV Modřice, z.č. 17 7184, VS-1				
čas (s)	čas (min)	HPV od OB v m	HPV od OB v m	poznámky
0	0	0	0	začátek plnění jámy: 8:02
30	0,5	0,67	0,62	konec plnění jámy: 8:10
90	1,5	0,72	0,65	nalito 4 500 l vody
120	2	0,75	0,68	vydatnost napouštění jámy: 9,4 l/s
240	4	0,83	0,71	zkouška ukončena po 2,5 hodinách, voda se vsákla
420	7	0,93	0,78	zkouška byla opakována
600	10	1,01	0,82	začátek plnění jámy: 10:43
840	14	1,1	0,87	konec plnění jámy: 10:50
1 200	20	1,19	0,95	nalito 3000 l vody
1 620	27	1,29	1,02	vydatnost napouštění jámy: 7,1 l/s
2 400	40	1,42	1,15	
3 600	60	1,57	1,31	
5 400	90	1,72	1,54	
9 000	150	1,92	1,63	
13 500	225	-	1,86	
14 400	240	-	1,93	



Z průběhu zkoušky je vidět, jak při první zkoušce byla křivka poklesu hladiny strmější, do navážek a hlín se vsakovala voda velmi rychle. Při druhé zkoušce došlo po 90 minutách ke zpomalení vsaku. Obě zkoušky byly ukončeny v době, kdy v jámě zbývalo cca 10 cm vody.

Vsakovací zkouškou jsme simulovali činnost vsakovacího zařízení, podle rovnice:

$$K_v = Q_{zk} / A_{zk}, \text{ kde je}$$

$K_v$  koeficient vsaku v m/s

$Q_{zk}$  přítok vody do vsakovací jámy v m<sup>3</sup>/s

$A_{zk}$  zkušební vsakovací plocha během zkoušky v m<sup>2</sup>

Přibližný koeficient vsaku ve vsakovací jámě **VS 1** podle rovnice vychází na hodnotu  $K_v = 9,9 \times 10^{-4}$  m/s. Koeficient hydraulické vodivosti horninového prostředí (navážka, hlína) v místě vsaku odhadujeme průměrně na  $k_f = n \times 10^{-4}$  až  $n \times 10^{-5}$  m/s. Ten by také odpovídal měřeným hodnotám při vsakovací zkoušce.

Pro velmi rychlý průběh vsaku byla zkouška opakována. Během 7 minut a 2 vteřin bylo do jámy nalito 3 000 l vody, vydatnost vypouštění tedy byla 7,1 l/s. Hladina vody ve vsakovací jámě VS 1 nacházela po vypuštění 3 000 l vody z cisterny v hloubce 0,60 m od odměrného bodu, z toho plyne, že zabírala objem  $2,0 \times 0,8 \times 1,40$  m (půdorys jámy + hloubka jámy 2,0 m – nesaturovaná část jámy 0,60 m) =  $2,24 \text{ m}^3 = 2\,240$  l. Během 422 vteřin napouštění vody o objemu 3 000 l tedy vsakovalo do horninového prostředí 760 l vody rychlostí 1,8 l/s. Voda přitom vsakovala jak stěnami, tak i dnem jámy.

Vsakovací zkouškou jsme simulovali činnost vsakovacího zařízení, podle rovnice:

$$K_v = Q_{zk} / A_{zk}, \text{ kde je}$$

$K_v$  koeficient vsaku v m/s

$Q_{zk}$  přítok vody do průzkumného objektu v m<sup>3</sup>/s

$A_{zk}$  zkušební vsakovací plocha během zkoušky v m<sup>2</sup>

Přibližný koeficient vsaku ve vsakovací jámě **VS 1** vychází na hodnotu  $K_v = 7,5 \times 10^{-4}$  m/s. Koeficient hydraulické vodivosti horninového prostředí (navážka, hlína) v místě vsaku odhadujeme průměrně na  $k_f = n \times 10^{-4}$  až  $n \times 10^{-5}$  m/s. Ten by také odpovídal měřeným hodnotám při vsakovací zkoušce.

Na dně výkopu byla viditelná ochranka podzemní sítě vedení. Její funkčnost neznáme. V průběhu vsaku vody došlo k částečnému zborcení stěny jámy na straně ochranky. Voda měla tendenci k ochrance natékat, podemílat stěnu. Obsyp ochranky nebyl viditelný, ale zjevně šlo o propustnější místo pro vodu v antropogenním materiálu, v němž byla jáma vyhloubena. Rychlost vsaku vody v této jámě i při opakovaném pokusu byla vyšší při srovnání v jámách VS 2 a VS 3.

### 5.2.2 Vsakovací jáma VS 2

Vsakovací jáma VS 2, která byla vyhloubena do volné zatravněné plochy na pozemku p. č. 1977/48 v k. ú. Modřice, měla tento geologický profil, (podle vrtu HV-226):

metráž (m)	popis
0,0 - 0,1	hlína tmavě hnědá, tuhá, s kořínky
0,1 – 1,8	navážka charakteru písčité hlíny se štěrkem
1,8 – 2,0	navážka charakteru písku se štěrkem a betonem

Na následujícím obr. č. 5.2.3 je zachycena napouštění vody do jámy. Jako zdroj vody pro vsakovací zkoušku byla využita pitná voda dovezená cisternou. Z výpustného kohoutu cisterny byla voda hadicí přepouštěna do vsakovací jámy. Během 362 s bylo do jámy nalito 3500 l vody, vydatnost vypouštění tedy byla 9,6 l/s. Hladina vody ve vsakovací jámě VS 2 nacházela po vypuštění 3 500 l vody z cisterny v hloubce 0,70 m od odměrného bodu, z toho plyne, že zabírala objem  $2,0 \times 0,8 \times 1,30 \text{ m}$  (půdorys jámy + hloubka jámy 2,0 m – nesaturovaná část jámy 0,70 m) =  $2,08 \text{ m}^3 = 2\,080 \text{ l}$ . Během 362 s napouštění vody o objemu 3 500 l tedy vsakovalo do horninového prostředí 1 420 l vody rychlostí 3,9 l/s. Voda přitom vsakovala jak stěnami, tak i dnem jámy.

Plnění vsakovací jámy VS 2 vodou z cisterny Obr. č. 5.2.3

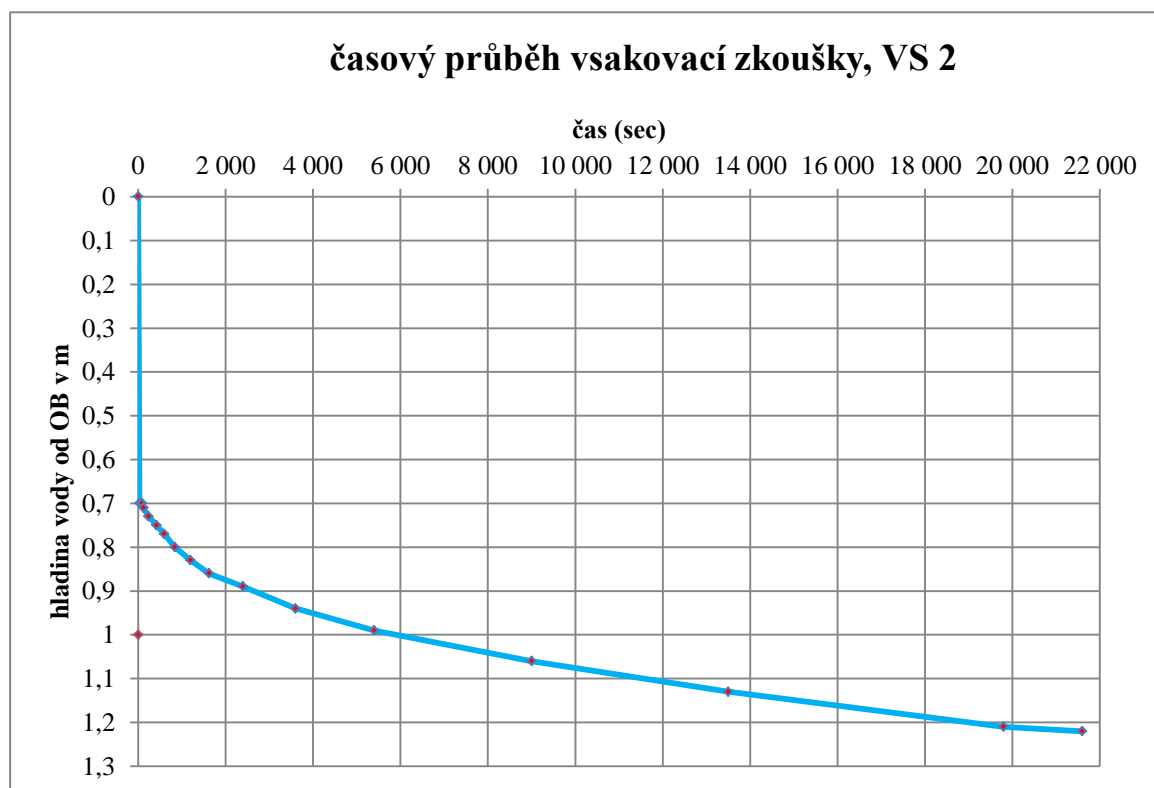


Vrchní hrana dřevěné latky položené přes jámu VS 2 sloužila jako odměrný bod pro měření hladiny vody v jámě. V této jámě byl vizuálně zastoupen větší podíl hlíny oproti navážce, celkový pokles hladiny během 6 hodin byl pouze 0,52 m. Tabelární a grafický průběh vsakovací zkoušky dokládá tabulka č. 5.2.2. a graf č. 5.2.2 (průběh vsakovací zkoušky).

## Vsakovací zkouška v sondě VS 2

Tabulka č. 5.2.2

Časový průběh vsakovací zkoušky (8. 6. 2017)			
ČOV Modřice, z.č. 17 7184, VS-2			
čas (s)	čas (min)	HPV od OB v m	poznámky
0	0	0	začátek plnění jámy: 8:35
30	0,5	0,7	konec plnění jámy: 8:41
90	1,5	0,7	nalito 3 500 l vody
120	2	0,71	vydatnost napouštění jámy: 9,6 l/s
240	4	0,73	
420	7	0,75	
600	10	0,77	
840	14	0,8	
1 200	20	0,83	
1 620	27	0,86	
2 400	40	0,89	
3 600	60	0,94	
5 400	90	0,99	
9 000	150	1,06	
13 500	225	1,13	
19 800	330	1,21	
21 600	360	1,22	



Z průběhu zkoušky je patrné, že pokles hladiny byl výrazně pomalejší, křivka není tak „strmá“ jako v jámě VS 1.

Vsakovací zkouškou jsme simulovali činnost vsakovacího zařízení, podle rovnice:

$K_v = Q_{zk} / A_{zk}$ , kde je

$K_v$  koeficient vsaku v m/s,

$Q_{zk}$  přítok vody do průzkumného objektu v m<sup>3</sup>/s,

$A_{zk}$  zkušební vsakovací plocha během zkoušky v m<sup>2</sup>,

Přibližný koeficient vsaku ve vsakovací jámě **VS 2** vychází na hodnotu  $K_v = 5,2 \times 10^{-4}$  m/s. I když se voda vsakovala pomaleji, vychází „lepší“  $K_v$  než v případě VS 1, (vsakovalo se zde menší plochou než u jámy VS 1). Koeficient hydraulické vodivosti horninového prostředí (navážka, hlína) v místě vsaku odhadujeme průměrně na  $k_f = n \times 10^{-4}$  až  $n \times 10^{-5}$  m/s. Ten by také odpovídal měřeným hodnotám při vsakovací zkoušce.

### 5.2.3 Vsakovací jáma VS 3

Vsakovací jáma VS 3, která byla vyhloubena do volné zatravněné plochy na pozemku p. č. 1977/65 v k. ú. Modřice, měla tento geologický profil, (podle vrtu HV-211):

metráž (m)	popis
0,0 - 0,1	hlína tmavě hnědá, tuhá, s kořínky
0,1 – 1,0	navážka charakteru písčité hlíny se štěrkem
1,0 – 1,2	navážka charakteru jílovité hlíny se štěrkem
1,2 – 2,0	navážka charakteru jílovité hlíny

Na následujícím obr. č. 5.2.4 je zachycena napouštění vody do jámy. Jako zdroj vody pro vsakovací zkoušku byla využita pitná voda dovezená cisternou. Z výpustného kohoutu cisterny byla voda hadicí přepouštěna do vsakovací jámy. Během 357 s bylo do jámy nalito 4 300 l vody, vydatnost vypouštění tedy byla 12 l/s. Hladina vody ve vsakovací jámě VS 3 nacházela po vypouštění 4 300 l vody z cisterny v hloubce 0,50 m od odměrného bodu, z toho plyne, že zabírala objem  $2,0 \times 0,8 \times 1,50$  m (půdorys jámy + hloubka jámy 2,0 m – nesaturovaná část jámy 0,60 m) = 2,4 m<sup>3</sup> = 2 400 l. Během 357 sekund napouštění vody o objemu 4 300 l tedy vsakovalo do horninového prostředí 1 900 l vody rychlostí 5,3 l/s. Voda přitom vsakovala jak stěnami, tak i dnem jámy.



Plnění vsakovací jámy VS 3 vodou z cisterny Obr. 5.2.4

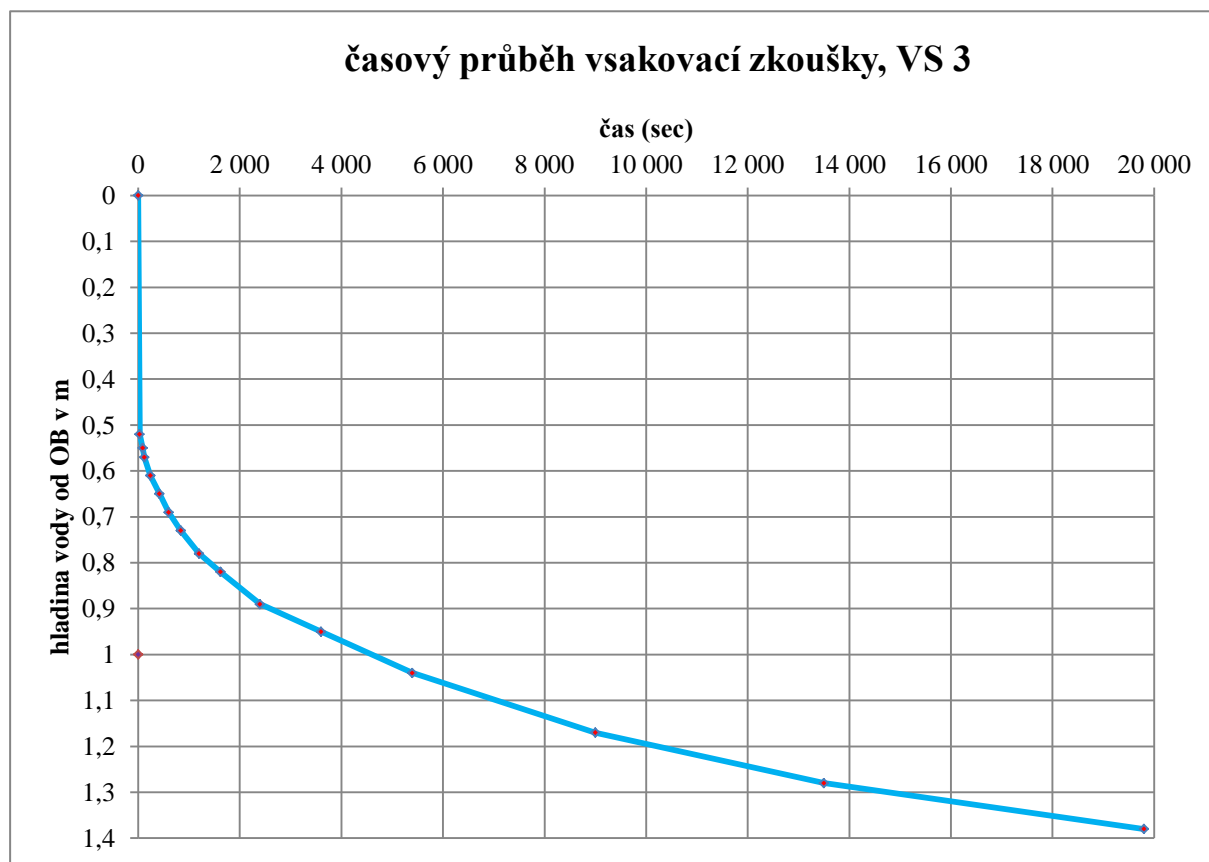


Vrchní hrana plastové latky položené přes jámu VS 3 sloužila jako odměrný bod pro měření hladiny vody v jámě. V této jámě byl vizuálně zastoupen největší podíl navážky. Celkový pokles během 5,5 hodiny byl 0,86 m. Tabelární a grafický průběh vsakovací zkoušky dokládá tabulka č. 5.2.3 a graf č. 5.2.3 (průběh vsakovací zkoušky).

## Vsakovací zkouška v jámě VS 3

Tabulka č. 5.2.3

Časový průběh vsakovací zkoušky (8. 6. 2017)			
ČOV Modřice, z.č. 17 7184, VS-3			
čas (s)	čas (min)	HPV od OB v m	poznámky
0	0	0	začátek plnění jámy: 9:15
30	0,5	0,52	konec plnění jámy: 9:21
90	1,5	0,55	nalito 4 300 l vody
120	2	0,57	vydatnost napouštění jámy: 12 l/s
240	4	0,61	
420	7	0,65	
600	10	0,69	
840	14	0,73	
1 200	20	0,78	
1 620	27	0,82	
2 400	40	0,89	
3 600	60	0,95	
5 400	90	1,04	
9 000	150	1,17	
13 500	225	1,28	
19 800	330	1,38	



Z průběhu zkoušky je patrné, že pokles hladiny byl téměř rovnoměrný, křivka má sice lineární trend, ale je ukloněna pod vyšším úhlem než v případě VS 2.

Vsakovací zkouškou jsme simulovali činnost vsakovacího zařízení, podle rovnice:

$K_v = Q_{zk} / A_{zk}$ , kde je

$K_v$  koeficient vsaku v m/s,

$Q_{zk}$  přítok vody do průzkumného objektu v m<sup>3</sup>/s,

$A_{zk}$  zkušební vsakovací plocha během zkoušky v m<sup>2</sup>,

Přibližný koeficient vsaku ve vsakovací jámě **VS 3** vychází na hodnotu  $K_v = 4,8 \times 10^{-4}$  m/s. Hltnost suchých navážek je mimořádná, tomu odpovídá vypočtený  $K_v$ . Koeficient hydraulické vodivosti horninového prostředí (navážka) v místě vsaku odhadujeme průměrně na  $k_f = n \times 10^{-4}$  m/s. Ten by také odpovídal měřeným hodnotám při vsakovací zkoušce.

Provedenými vsakovacími zkouškami lze zájmové území, které je tvořeno hlínami a navážkami klasifikovat jako dobře propustné pro vodu. Navážky jsou sice dobře propustné, ale nestabilní (hrozí borcení stěn) při namočení. Voda přes navážky protéká do hlín, a dále vertikálním směrem k hladině podzemní vody, která je vázána na kvartérní fluvialní písky a štěrky řeky Svratky.

## 5.2.4 Problematika hospodaření se srážkovou vodou

V současné době již existuje v legislativě ČR několik ustanovení o hospodaření s dešťovou vodou. Dosavadní praxe odtoku těchto vod do kanalizace se stává minulostí a u nových staveb bude možná pouze ve výjimečných případech. Pro trvale udržitelný rozvoj – zachování zdrojů vody - nebude akceptovatelné rozvíjet infrastrukturu ve městech a obcích, kde vznikají další nové zpevněné povrchy znemožňující zasakování srážkové vody, bez komplexního programu hospodaření se srážkovou, resp. dešťovou vodou (HDV). Zvláště v podmínkách ČR nebude do budoucnosti žádoucí, aby ze „střechy Evropy“ odtékala nevsáklá srážková voda vodními toky mimo území republiky a tím byly významně ovlivněny zásoby podzemní vody našeho území v návaznosti na zdroje pitné vody pro obyvatelstvo i zdroje vody povrchové. Významným impulzem pro změnu vnímání odvodu srážkových vod ze zpevněných ploch je jejich podíl na zvyšování rizika povodní. Nesmíme pominout ani neustále se zvyšující množství odváděných odpadních vod do kanalizací a tím i potřeba zvyšování kapacity přetížených kanalizačních sítí, což představuje značné finanční náklady. Koncept hospodaření se srážkovými vodami se proto v posledním desetiletí dostává do popředí zájmu a **v novém pojetí se snaží prosazovat decentralizovaný princip, řešení problému srážkových vod v místě vzniku, tedy přímo na stavebním pozemku.**

Hospodaření se srážkovými vodami se řídí dvěma hlavními předpisy. Českou technickou normou **ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod** a odvětvovou technickou normou vodního hospodářství **TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami**.

**Volba způsobu odvodnění** stavebního pozemku má z pohledu současných trendů a předpisů tři na sebe navazující priority. V prvním případě to je zasakování srážkových vod do půdního a horninového prostředí (**vsakování**) a teprve při jeho nedostatečné vsakovací schopnosti se vsakování kombinuje s retencí (zadržováním v nádrži) a regulovaným odtokem do vsakovacího prvku. Na druhém místě je retence a regulované **odvádění srážkových vod do vod povrchových** (vodního toku) a teprve v případě neproveditelnosti či nepřípustnosti regulovaného odvádění do povrchových vod je možné **odvodnění retencí a regulovaným odváděním srážkových vod jednotnou kanalizací.**

Ve vztahu **k příjemci srážkových vod** (ovzduší, půdě, horninovému prostředí, povrchovým tokům, jednotné kanalizaci) se posuzuje **přípustnost** určitého způsobu odvodnění, kde jsou nejdůležitějšími kritérii **aspekty ochrany podzemních vod, povrchových vod a půdy**, protože srážkové vody odtékající z urbanizovaného území jsou znečištěny látkami z ovzduší a z povrchu odvodňovaných ploch. Podle stupně znečištění se pak s těmito srážkovými vodami nakládá, přičemž není vhodné směšovat málo a vysoce znečištěné srážkové vody a srážkové vody znečištěné různými typy znečišťujících látek.

Na prioritách způsobu odvodnění závisí technická **proveditelnost odvodnění**. Pokud jde o zasakování srážkových vod do půdního a horninového prostředí, musí být u každé stavby realizován **geologický průzkum pro vsakování** směřující k získání potřebných poznatků o hydrogeologických, inženýrskogeologických a geotechnických poměrech zkoumané lokality s cílem ověření možnosti vsakování srážkových vod. Řešitelem geologického průzkumu pro vsakování může být fyzická či právnická osoba, která disponuje příslušnými oprávněními k provádění inženýrskogeologických a hydrogeologických průzkumů. K nejdůležitějším aspektům, které rozhodují o proveditelnosti vsakování z geologického hlediska, jsou:

- Možné množství srážkové vody, které lze v lokalitě vsakovat. **Vsak srážkových vod může být prováděn v hloubce minimálně 1 m nad hladinou podzemní vody!** Množství vsakované vody („hltnost“ objektů) je podmíněna propustností hornin.
- **Mocnosti pokryvných vrstev**, které ovlivňují konstrukční řešení vsakování.
- Ovlivnění současných hydrogeologických poměrů v lokalitě. Vsakováním srážkových vod nesmí dojít k **negativnímu ovlivnění stávajících hydrogeologických poměrů** lokality.
- Definování **okrajových podmínek vrstvy** (vrstev, souvrství, hydrogeologického kolektoru), do které se bude srážková voda vsakovat.
- Posouzení **kvalitativních ukazatelů vsakující vody** a současně posouzení, zda nedojde k výraznému hydrogeochemickému ovlivnění podzemní vody v lokalitě. Kvalita vsakovaných srážkových vod nesmí ohrožovat kvalitu podzemních vod, musí tedy jít o vody neznečištěné nebo přečištěné.
- Posouzení, že nedojde k **negativnímu ovlivnění základových poměrů** na lokalitě (v případě vsakování významného objemu vody).
- **Sousedské právní vztahy**.

*Geologický průzkum pro vsakování* se v závislosti na **druhu staveb** (odvodňovaná plocha je menší nebo větší než 200 m<sup>2</sup>) a **přírodních poměrech** (jednoduché nebo složité) dělí na etapy: **orientační** průzkum, **podrobný** průzkum, **doplňkový** průzkum a **analýzu rizik** při realizaci vsakování v případě, že složité poměry na lokalitě mohou vést k ohrožení významného vodního zdroje nebo v případě požadavku dotčených orgánů státní správy. **Každá etapa geologického průzkumu má předepsaný počet terénních a laboratorních prací!**

K dalším aspektům, které ovlivňují technické řešení vsakování, patří **prostorové možnosti**, rozhodující o velikosti vsakovací plochy a retenčním objemu vsakovacího zařízení nebo o podzemním či povrchovém vsakování, **poměr odvodňované plochy a vsakovací plochy** a také **sklon terénu**.

V závislosti na typu plochy jsou srážkové vody z hlediska znečištění klasifikovány jako **srážkové vody pro vsakování přípustné, podmíněně přípustné** a srážkové vody **potenciálně vysoce znečištěné** z výrazněji znečištěných ploch. Vody přípustné se pak mohou vsakovat přes povrchové i podzemní vsakovací zařízení, vody podmíněně přípustné přes

zatravněnou humusovou vrstvu nebo podzemními zařízeními po předchozím předčištění a vody potenciálně vysoce znečištěné lze ve výjimečných případech vsakovat po předčištění celého jejich objemu a prokazovat jejich jakost vzorkováním (nutný je souhlas vodoprávního úřadu).

Pokud se týče *volby technického řešení zasakování* je přednostním způsobem **povrchové plošné vsakování přes souvislou zatravněnou humusovou vrstvu** nebo decentrální v průlehu, který může být doplněn rýhou. V tomto případě je účinnost čištění srážkových vod nejvyšší. Vsakování v centrální vsakovací nádrži nebo v systému průlehu a rýh bez zatravnění a humusové vrstvy má v důsledku vyššího hydraulického zatížení nízkou účinnost čištění.

U podzemních vsakovacích zařízení s přímým vsakem do propustných vrstev horninového prostředí jsou preferována zařízení liniová nebo plošná (rýhy nebo prostory vyplněné šterkem nebo vsakovacími bloky) před bodovými (vsakovací šachty či vrtty).

V případech, že nelze na pozemku srážkové vody zasakovat, se uvažuje možnost jejich **odvádění do povrchových vod** a to z hlediska *proveditelnosti a přípustnosti*.

*Proveditelnost* se u každé stavby posuzuje terénním průzkumem podmínek pro odvádění srážkových vod z hlediska **dostupnosti** povrchových vod, svodnic nebo dešťové kanalizace a závisí na vzdálenosti odvodňované stavby od napojení do povrchových vod, svodnic nebo dešťové kanalizace, dále na **výškových poměrech území a majetkoprávních vztazích**. Jednoduché stavby se mohou napojit do vzdálenosti nepřesahující 100 m, větší stavby až 500 m. *Přípustnost* odvádění srážkových vod do vod povrchových závisí na **míře a druhu znečištění, ochraně povrchových vod** (chovné vody, vodárenské účely) a **ohrožení vodních toků hydrobiologickým stresem** způsobeným nárazovým přítokem srážkových vod. Preferovaným způsobem je odvodnění srážkových vod svodnicemi, což podporuje výpar a snižuje kulminační odtoky.

O **odvádění srážkových vod do jednotné kanalizace** se uvažuje až po zjištění, že není možné srážkové vody zasakovat nebo odvádět do povrchových vod, v závislosti na jeho *proveditelnosti a přípustnosti*.

*Proveditelnost* se u každé stavby posuzuje z hlediska dostupnosti jednotlivých stok a vzdálenosti odvodňované stavby od napojení na jednotnou kanalizaci, výškových poměrů území a majetkoprávních vztahů. U jednoduchých staveb se považuje za proveditelné napojení do vzdálenosti nepřesahující 100 m, u složitých staveb až 500 m. *Přípustnost* připojení srážkových vod do jednotné kanalizace závisí na nepřekročení ukazatelů znečištění stanovené v kanalizačním řádu pro odpadní vody a na množství odváděné srážkové vody. Preferovaným způsobem odvedení srážkových vod do jednotné kanalizace je odvedení svodnicemi, čímž je podporován výpar a snižován kulminační odtok. Před zaústěním srážkových vod do jednotné kanalizace je zapotřebí realizovat opatření zamezující vzniku nerozpuštěných a přítomnosti ropných látek.

**Technické řešení odvodnění (objekty a zařízení)** směřuje v první řadě ke snížení či prevenci srážkového odtoku přímo u zdroje. Takovými zařízeními jsou *vegetační a šterkové střechy* (extenzivní nebo intenzivní – zahrady) a *propustné zpevněné povrchy* (dlažba, rošty, zatravněný šterk). Na dalším místě je pak *akumulace a využívání srážkové vody a vsakování srážkové vody*, kdy je upřednostňováno *povrchové vsakování* (plošné, průleh, rýha, vsakovací nádrž) před *podzemním vsakováním* (vsakovací rýha, prostorem vyplněný šterkem nebo bloky nebo vsakovací šachta). Následuje *vsakování s regulovaným odtokem*.

Při *odvádění srážkových vod do povrchových vod* je zpravidla nutné zdržení odtoku prostřednictvím retenčního objektu, což jsou suché retenční nádrže – poldry, podzemní

retenční nádrže, retenční dešťové nádrže se zásobním prostorem a umělé mokřady. Podobně je nutné zdržení odtoku prostřednictvím retenčního oběhu i při *odvádění srážkových vod do jednotné kanalizace*.

**Dimenzování objektů** závisí na velikosti odvodňované plochy a na složitosti systému odvodnění a je součástí české technické normy ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod. Pro každý vybudovaný objekt a zařízení musí být stanoven jeho vlastník, který bude po dokončení díla odpovědný za jeho provozování a údržbu.

V kontextu narůstající extremity počasí se výrazně zvyšuje význam konceptu HSV z hlediska zajištění vody pro stabilizaci klimatu a hydrologického cyklu. Pokud se podaří srážku zadržet v místě jejího vzniku, bude k dispozici na dobu beze srážek – na dobu sucha.

### 5.3 Ověření kvality zemin

Areál ČOV prošel v minulosti rozsáhlou výstavbou, demolicí a úpravou terénu, během které bylo do areálu dovezeno výrazné množství materiálu (navážky), který mohl obsahovat nepřírodní látky oproti původnímu horninovému prostředí. Proto byly v rámci průzkumných prací odebrány celkem čtyři vzorky zeminy jednotlivě z vrtů J219, J226, HV-207 a J210 pro stanovení na obsah toxických kovů (arsen, kadmium, olovo, rtuť, měď a nikl), skupiny těžkých látek BTEX (benzen, toluen, ethylbenzen a xyleny), chlorované uhlovodíky (cis-1,2-dichlorethen, trichlorethen, tetrachlorethen) a látek skupiny C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>. Jako limit pro stanovení byl zvolen metodický pokyn MŽP z roku 2013 „Indikátory znečištění“, kterým se stanovují indikátory znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu pro posuzování a hodnocení závažnosti antropogenního znečištění resp. kontaminací na lokalitách v České republice. Srovnání stanovených ukazatelů s limitem je uvedeno v tabulce č. 5.3.1.

Srovnání stanovených ukazatelů

Tab. č. 5.3.1

označení vzorku		J219	J226	HV207	J210	Indikátory znečištění MŽP
hloubka odběru [m]		3,5	1,8	2,1	3,5	
ukazatel	jednotka	20.4.2017	20.4.2017	20.4.2017	20.4.2017	limit
benzen	mg/kg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,1
toluen	mg/kg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5 000
ethylbenzen	mg/kg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5,4
xyleny	mg/kg	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	630
cis-1,2-dichlorethen	mg/kg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	240
trichlorethen	mg/kg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,91
tetrachlorethen	mg/kg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	22
C10-C40	mg/kg	56	< 50	88	410	500
As	mg/kg	12,2	6,38	8,67	6,51	0,61
Cd	mg/kg	0,26	0,77	0,22	0,4	70
Pb	mg/kg	21,3	32	19,3	23,8	400
Hg	mg/kg	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	10
Cu	mg/kg	15	35,7	31,4	21,5	3 100
Ni	mg/kg	33,4	27,6	30	23,1	1 500

**Skupina BTEX** – benzen, toluen, ethylbenzen a xyleny – je konkrétní představitelem ropných uhlovodíků – skupiny aromatických uhlovodíků (základem molekuly je benzenové



jádro). Jde o látky přírodního původu, jsou přirozenou součástí ropy. Z tohoto důvodu poměrně snadno podléhají v případě úniku do životního prostředí degradaci. Jsou významnou součástí benzínů i motorové nafty. Velmi často se vyskytují ve směsích s dalšími složkami ropných produktů. Jde o látky velmi toxické i v malých koncentracích, mají narkotické účinky (toluen) a benzen má prokázané karcinogenní účinky. Obsahy těchto látek nebyly zjištěny nad detekční limit.

**Chlorované etheny** (cis-1,2-dichlorethen, trichlorethen, tetrachlorethen) – jde o látky velmi rezistentní (jen velmi nesnadno podléhají degradaci) a přitom byly masivně používány jako odmašťovadla. Nejčastějšími kontaminanty jsou tetrachlorethen (PCE) a trichlorethen (TCE), které byly přímo využívány v průmyslu či ve službách. Za specifických podmínek mohou tyto degradovat na 1,2-dichlorethen (DCE). Jde o látky toxické až karcinogenní. Obsahy těchto látek nebyly zjištěny nad detekční limit.

Na znečištění přírodního prostředí se do značné míry podílejí různé uhlovodíky. Sumární stanovení zahrnovalo celou skupinu organických látek, proto se častěji stanovují uhlovodíky s řetězcem 10 až 40 uhlíků **C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> (alifatické, aromatické a alicyklické uhlovodíky)**. Podle provedených analýz nebylo zaznamenáno žádné překročení tohoto ukazatel podle Metodického pokynu Indikátory znečištění.

**Toxické kovy** – jediným překračujícím ukazatelem je koncentrace arsenu. Jeho limit je nastaven jako velmi nízký. V případě arsenu jsou v České republice vzhledem ke geochemickým poměrům v horninovém prostředí běžné vyšší koncentrace než uvedené indikátory znečištění. V takových případech jsou indikací znečištění až koncentrace arsenu překračující hodnoty přírodního pozadí v místně-specifických podmínkách hodnocené lokality. Koncentrace arsenu obsažená ve vzorcích neznamena tedy riziko kontaminace.

## 5.4 Ověření kvality podzemní vody

Pro zjištění základních geochemických vlastností podzemní vody a určení její kvality byly odebrány vzorky vody na analýzu úplného fyzikálně-chemického rozboru (FCHR) a pro stanovení na obsah toxických kovů (arsen, kadmium, olovo, rtuť, měď a nikl), skupiny těžkých látek BTEX (benzen, toluen, ethybenzen a xyleny), chlorované uhlovodíky (cis-1,2-dichlorethen, trichlorethen, tetrachlorethen) a látek skupiny C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> (ukazatel kontaminace ropnými látkami). Vzorek podzemní vody z vrtu HV-211 byl ještě doplněn o analýzu v rozsahu odpadní vody (CHSK<sub>Cr</sub>, BSK<sub>5</sub>, RL, MBAS). Kvalitativní vlastnosti podzemní vody byly hodnoceny jak z hlediska hydrogeochemického, tak z hlediska případné kontaminace. Vzorky vody byly odebrány na konci čerpacích zkoušek.

Jako limit pro stanovení byl zvolen metodický pokyn MŽP z roku 2013 „Indikátory znečištění“, kterým se stanovují indikátory znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu pro posuzování a hodnocení závažnosti antropogenního znečištění resp. kontaminací na lokalitách v České republice a metodický pokyn MŽP z roku 1996 „Kritéria znečištění zemin a podzemní vody“, ve kterém jsou definovány hodnoty kritérií A, B, C. Hodnota kritéria A je nejnižší a představuje pro sledovanou látku koncentraci běžnou v podzemních (povrchových) vodách nebo v horninovém prostředí („přírodní pozadí“). Pro uměle vytvořené látky jde velmi často o mez detekce odpovídající vzniku metodického pokynu. Hodnota kritéria C je pak koncentrace sledované látky, která již představuje vážnou zátěž pro přírodní prostředí a je nutné realizovat další činnosti (např. zjištění původu kontaminující látky, zpracování analýzy rizika, atd.). V současnosti mají kritéria A, B, C informativní charakter. Srovnání stanovených ukazatelů s limity je uvedeno v tabulce č. 5.4.1.

## Srovnání stanovených ukazatelů s limity

Tab. č. 5.4.1

označení vzorku:		HV-218	HV-211	HV-226	HV-207				
datum odběru vzorku		1.6.2017	7.6.2017	7.6.2017	14.6.2017	limit MŽP	A limit dle MŽP	B limit dle MŽP	C limit dle MŽP
ukazatel	jednotka	výsledek	výsledek	výsledek	výsledek				
pH		6,94	6,96	6,8	6,96				
vodivost	μS/cm(20°C)	1671	1131	1414	1449				
KNK 4.5	mmol/l	6,83	7,04	10,05	8,11				
tvrdost celková	mmol/l	8,53	3,8	6,66	6,44				
Na	mg/l	68,8	88,7	63,2	76,9				
KNK 4.5	mg/l	26,8	8,88	10,6	9,18				
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	1,79	10,9	23	10,7		0,12	1,2	2,4
NH <sub>3</sub> volný	mg/l	<0,01	0,05	0,07	0,04				
Ca	mg/l	246	117	207	207				
Mg	mg/l	58,1	21,4	36,3	30,9				
sířany	mg/l	383	49,7	215	187				
chloridy	mg/l	220	150	107	182		25	100	150
dusitany	mg/l	<0,01	15,9	0,27	<0,01	1,6	0,025	0,2	0,4
dusičnany	mg/l	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0				
fluoridy	mg/l	0,26	0,31	0,24	0,26	0,62			
fosforečnany	mg/l	<0,05	0,11	<0,05	<0,05				
CHSK-Mn	mg/l	1,6	5,92	3,04	2,24				
Suma kationtů	cz	21,04	12,57	17,81	17,18				
Suma aniontů	cz	21,02	12,67	17,56	17,15				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	417	429	613	495				
mineralizace	mg/l	1427	900	1281	1202				
CHSK-Cr	mg/l	-	31	-	-				
BSK <sub>5</sub>	mg/l	-	<3,0	-	-				
RL 105	mg/l	-	685	-	-				
MBAS	mg/l	-	0,11	-	-		0,02	0,2	0,5
AOX	mg/l	0,027	0,1	0,053	0,03				
TOC	mg/l	4,21	7,89	7,03	4,56				
benzen	μg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,39	0,2	15	30
toluen	μg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	860	0,2	350	700
ethylbenzen	μg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,3	0,2	150	300
xyleny	μg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	190	0,2	250	500
cis-1,2-dichlorethen	μg/l	0,2	<0,1	<0,1	0,1	28	0,1	10	20
trichlorethen	μg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,44	0,1	25	50
tetrachlorethen	μg/l	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	9,7	0,1	10	20
C10 - C40	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1				
As	μg/l	10,7	<10	<10	<10	0,045	5	50	100
Cd	μg/l	<1	<1	<1	<1	6,9	1,5	5	20
Pb	μg/l	<10	<10	<10	<10	10	20	100	200
Hg	μg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,63	0,1	2	5
Cu	μg/l	<10	<10	<10	<10	620	20	200	500
Mn	mg/l	0,96	1,54	1,67	0,99	0,32			
Fe	mg/l	4,71	6,02	3,63	2,6	11			
Ni	μg/l	<10	<10	<10	<10	300	20	100	200
Li	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1				

Analyzovaná podzemní voda z vrtů HV-211a HV-218 byla je čirá, bezbarvá, bez pachu a sedimentu. Voda z vrtů HV-226 a HV-207 byla mléčně zakalená a proplyněná.

Určení typu vody vychází z převládajících iontů vyjádřených jako součin molární koncentrace iontu a jeho náboje -  $c_i z_i$ , kde  $c$  je molární koncentrace,  $z$  je náboj a  $i$  je označení iontu. U jednomocných iontů je výpočet proveden z jeho molární koncentrace, u dvojmocných iontů je do výpočtu zahrnut součin jeho molární koncentrace a náboje ( $2 \times$ ). Při výpočtu se uvažují kationty jako 100 % a anionty 100 %. Při klasifikaci prostých vod se do názvu (vzorce) v sestupném pořadí uvádí ionty do 25  $c_i z_i$  %, 20  $c_i z_i$  % nebo 10  $c_i z_i$  % (teoreticky až čtyři ionty) pro kationty i anionty.



V podzemní vodě z vrtu HV-207 je z kationtů nejvíce zastoupen vápník 60 c.z % (207 mg/l) a sodík 19 c.z % (76,9 mg/l). Z aniontů jsou nejvíce zastoupeny hydrogenuhličitan 47 c.z % (495 mg/l) a chloridy 30 c.z % (182 mg/l). Podzemní voda je Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl typu.

V podzemní vodě z vrtu HV-211 je z kationtů nejvíce zastoupen vápník 46 c.z % (117 mg/l) a sodík 31 c.z % (88,7 mg/l). Z aniontů jsou nejvíce zastoupeny hydrogenuhličitan 55 c.z % (429 mg/l) a chloridy 33 c.z % (150 mg/l). Podzemní voda je Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl typu.

V podzemní vodě z vrtu HV-218 je z kationtů nejvíce zastoupen vápník 58 c.z % (246 mg/l) a hořčík 22 c.z % (58,1 mg/l). Z aniontů jsou nejvíce zastoupeny sírany 38 c.z % (383 mg/l) a hydrogenuhličitan 32 c.z % (417 mg/l). Podzemní voda je Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> typu.

V podzemní vodě z vrtu HV-226 je z kationtů nejvíce zastoupen vápník 58 c.z % (207 mg/l) a hořčík 17 c.z % (36,3 mg/l). Z aniontů jsou nejvíce zastoupeny hydrogenuhličitan 57 c.z % (613 mg/l) a sírany 25 c.z % (215 mg/l). Podzemní voda je Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> typu.

Z toxických kovů je jediným překračujícím ukazatelem koncentrace arsenu. Jeho limit je nastaven jako velmi nízký. V případě arsenu jsou v České republice vzhledem ke geochemickým poměrům v horninovém prostředí běžné vyšší koncentrace než uvedené indikátory znečištění. V takových případech jsou indikací znečištění až koncentrace arsenu překračující hodnoty přírodního pozadí v místně-specifických podmínkách hodnocené lokality. Koncentrace arsenu obsažená ve vzorcích neznámá tedy riziko kontaminace. Skupina látek BTEX a uhlovodíky s řetězcem 10 až 40 uhlíků C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> (alifatické, aromatické a alicyklické uhlovodíky) nebyly zjištěny nad detekční limit. Koncentrace tetrachlorethenu (PCE) je jen stopová, neznámá kontaminaci.

Vysoký obsah dusitanů ve vodě z vrtu HV-211 dokládá trvalou dotaci „čerstvými“ amonnými ionty. Tento vrt je nejbližší laguně, kam je neperiodicky vypouštěna přečištěná odpadní voda, což potvrdila i koncentrace látky MBAS (aniontové tenzidy).

Celkový organický uhlík (TOC – Total Organic Carbon) ukazuje množství organických látek ve, je to významný ukazatel kvality vody z pohledu znečištění organickými látkami. V užitkových vodách (možný působ využití podzemní vody na lokalitě) se hodnoty TOC obvykle pohybují v desetinách až jednotkách mg/l (Pitter, 2009).

Organicky vázané halogeny je skupina látek, které zahrnují adsorbovatelné organicky vázané halogeny (AOX). V městských odpadních vodách se koncentrace pohybuje v desítkách až stovkách µg/l. Stanovení AOX má především indikační hodnotu (Pitter, 2009).

Amonné ionty a mangan v podzemní vodě ukazují na redukční prostředí zvodně. Zájmové území je místem, kam dotéká voda z města Brna. Podzemní i povrchové vody jsou v městských oblastech postiženy zvýšenými koncentracemi chloridů.

## 5.5 Výpočet přítoku podzemní vody do stavební jámy

Přítoky podzemní vody do stavební jámy závisí na:

➤ technickém provedení jámy:

- hydraulicky úplná (stěny jsou ukončeny v hydrogeologickém izolátoru, v jámě nebudou přítoky ze dna),

- hydraulicky neúplná (stěny jsou ukončeny v hydrogeologickém kolektoru, což znamená, že podzemní voda přitéká ze dna stavební jámy),
- rozměrech jámy,
- její orientaci vůči směru proudění podzemní vody,
- přírodních poměrech:
  - transmisivita hydrogeologického kolektoru,
  - storativita hydrogeologického kolektoru (objem vody se skládá jak ze složky dynamické – přítok, tak je nutné odčerpat i statický objem podzemní vody v pórech),
  - dotaci zvodně, v které je jáma realizována (tj. jejích okrajových podmínkách – dotace pouze se srážek, dotace z vodního toku, apod.),
  - na konkrétní hydrologické situaci (výšce hladiny podzemní vody v době výstavby).

Na lokalitě ČOV Modřice budou stavební jámy budovány v průlinově propustném hydrogeologickém kolektoru písčitých štěrků až písků se štěrkem. Hydrogeologický izolátor představují neogenní jíly. Transmisivita kolektoru byla hydrodynamickými zkouškami stanovena na hodnotě v řádu  $n \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ , storativitu předpokládáme 0,15-0,2 (při čerpání stavební jámy je nutné uvažovat se storativitou pro volnou hladinu podzemní vody). Kolísání hladiny podzemní vody lze předpokládat okolo 1 m.

Přítoky do stavebních jam by měly být řešeny pro maximální nepříznivý stav zvodně, tj. pro předpokládanou nejvyšší hladinu podzemní vody. Přítoky do stavební jámy doporučujeme určit na základě hydraulického modelu, kde bude navrženo i technické řešení způsobu odvodnění. Doposud provedené práce by měly být doplněny o:

- zpracování hydroizohyps
- režimní měření na lokalitě (v minimálních intervalech  $1 \times$  za 14 dní po dobu alespoň tři měsíců)
- informace o kolísání hladiny podzemní vody z nejbližšího relevantního vrtu monitorovací sítě ČHMÚ (nákup dat).

Pro stanovení orientační hodnoty přítoku podzemní vody do stavebních jam bude po získání informací o předpokládaném provedení stavební jámy použito empirických vzorců.

## 6. Zhodnocení základových poměrů a doporučení pro zakládání

Přesné situování, ani konstrukce objektů nejsou zatím známy. Proto jsou pouze v obecné rovině řešeny základové poměry a z nich vyplývající možnosti pro různé druhy stavebních objektů a jejich zakládání.

Stavbu jakýchkoli objektů v zastižených geologických podmínkách dle ČSN EN 1997-1, Eurokód 7: Navrhování dle konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla je třeba řadit minimálně do 2. geotechnické kategorie. Základové poměry jsou složité, přípovrchové vrstvy jsou do

značné hloubky ovlivněny předchozí stavební činností a zároveň hladina podzemní vody dosahuje až do těchto přípovrchových vrstev. Pro návrh založení je třeba postupovat v souladu se zásadami pro 2., v případě složitějších objektů až 3. geotechnickou kategorií. Do geotechnických výpočtů potom doporučujeme jako charakteristické použít hodnoty geotechnických vlastností uvedené v kapitole 4. Vzhledem k neznámým parametrům základových konstrukcí budoucích objektů se jeví jako pravděpodobné, že u některých z nich bude nutné hodnoty vybraných geotechnických parametrů pro některé typy zemin zpřesnit nebo ověřit. V tom případě bude pro tyto dílčí části zájmového území provést doplňkový průzkum.

Dle archivních podkladů i svědectví zaměstnanců ČOV jakožto očitých svědků se v převážné části půdorysu oblastí I a II (viz situace) nacházejí až do hloubky 5,4 m pod terénem zbytky železobetonových konstrukcí aktivačních nádrží. Tato skutečnost byla ověřena i průzkumnými pracemi, např. ve vrtu J230 byla zjištěna tloušťka betonového dna 80 cm s úrovní spodního líce 4,5 m pod terénem. Tyto konstrukce mají řádově vyšší tuhost než zemina vyplňující prostor mezi nimi. Proto založení bezprostředně nad stávajícími železobetonovými dny je problematické z důvodu rizika nerovnoměrného sedání. Pro plošné založení v části I a II tedy doporučujeme úroveň minimálně 5,4 m pod terénem (cca 15,5 m n. m.) do souvrství kvartérních štěrků. Vzhledem k hladině podzemní vody, která je v zájmovém prostoru napjatá a lze očekávat její nastoupání nad úroveň základové spáry, je nutné uvažovat s hydraulickou ochranou stavební jámy v průběhu jejího hloubení a následného vystrojení. Zároveň je nutné zakládání objektů dimenzovat na vztlak od podzemní vody.

Plošné zakládání v hloubkách do 2 m pod terénem lze doporučit pouze pro méně významné objekty menších rozměrů, přičemž i u těch bude nutné ověřit základové poměry při odkrytí základové spáry v rámci geotechnického sledu.

Pro náročnější objekty s vyšším zatížením a citlivé na rozdíly v sedání bude nutné uvažovat s hlubinným založením na pilotách. Vrtané piloty budou vetknuty na potřebnou délku do kvartérních štěrků, případně až do souvrství neogenních jílu (lze očekávat délku vetknutí minimálně 5 m). Zatížení bude pilota přenášet jak opřením své paty, tak třením na plášti. Hlubinné založení bude problematické, neboť součástí zeminy v podzákladí jsou betonové a železobetonové stavební konstrukce (zbytky stěn nebo podlah) asanovaných šachtových objektů a nádrží v zájmovém prostoru. Z toho důvodu nelze uvažovat s předráženými pilotami (piloty FRANKI). I pro vrtané piloty platí, že prostup zbytky těchto konstrukcí bude velmi obtížný.

Jako možnou variantu pro hlubinné založení nových objektů doporučujeme metodu tzv. „základových studen“. Základové studny jsou dutá válcová nebo hranolová tělesa dole i nahoře otevřená, která jsou zhotovena ze železobetonu. Postup provádění začíná od pláště, ten se po částech betonuje na povrchu stavební jámy a do země se spouští podhrabáním (klesá vlastní tíhou). Po dosažení únosné vrstvy (v zájmovém prostoru povrch štěrkového souvrství) se dno zabetonuje. Podobně jako pro vrtané piloty platí upozornění na obtížnou prostupnost přes zbytky původních konstrukcí. Vybourání železobetonových původních konstrukcí představuje komplikaci pro kteroukoli metodu zakládání do hloubky větší než 4 m.

Pro zakládání objektů v části III doporučujeme (samozřejmě v závislosti na budoucím záměru objednatele, kdy hloubka založení objektu nepřesáhne úroveň cca 4 m) využít dna asanových konstrukcí podzemní nádrží, kde lze předpokládat v jejich půdorysu souvislou masu betonu, tvořícího dno bývalých nádrží. Obrys základů nových objektů je však limitován obrysem stávajících konstrukcí, resp. by se skutečnost, že obrys nové konstrukce přesahuje konstrukci

původní, musela zohlednit v návrhu a vyžadovala by statické posouzení. Štěrky v podloží představují konsolidovanou zeminu s dostatečnými pevnostními parametry

Z hlediska chemického působení vody na beton se v zájmovém prostoru vyskytuje slabě agresivní chemické prostředí (XA1), z hlediska chemického působení vody na ocel dle ČSN 03 8375 je agresivita velmi vysoká (IV). Pro nové stavební konstrukce tak bude nutné zajistit příslušnou ochranu.

Materiál získaný při výkopových pracích po separaci nevhodného odpadu a betonových segmentů ze starých asanovaných objektů by měl být posouzen pro další použití, např. pro výstavbu různých komunikací v stávajícím areálu. Pro nesoudržné navážky (G-typ 1c) platí, že jsou pro další použití vhodné a dobře zhutnitelné. Pro soudržné navážky (G-typ 1a) platí, že jsou nebezpečně namrzavé a nevhodné pro přímé použití bez úprav. Lze je použít do vrstevnatých násypů jako poddajnou vrstvu a k zpětným zásypům a obsypům, případně terénním úpravám pod nezátíženými plochami. Jak je patrné z výsledků Proctorovy zkoušky přidání vápna do těchto zemin jejich přirozená vlhkost se pohybuje blízko hodnotám optimální vlhkosti. Zbytky stavebních konstrukcí (beton, železobeton) vybouraných, při hloubení základů a stavebních jam jsou po odstranění nevhodného obsahu vhodné k výrobě recyklátu, který představuje velmi kvalitní stavební materiál např. do konstrukcích vrstev zpevněných ploch, podkladních polštářů apod. Z dosavadních poznatků nelze bohužel stanovit jeho objem.

Při řešení základových konstrukcí je třeba počítat s trvale proudící vodou, agresivitu vody je tedy nutné hodnotit z tohoto pohledu a zohlednit kvalitu betonu. Při zapuštění stavby do hydrogeologického kolektoru dojde na nátokové straně k vzdouvání podzemní vody. Přítoky do stavebních jam by měly být řešeny pro maximální nepříznivý stav zvodně, tj. pro předpokládanou nejvyšší hladinu podzemní vody. Přítoky do stavební jámy doporučujeme určit na základě hydraulického modelu, pro nějž bude nutné získat další informace, které jsou uvedeny v závěru předchozí kapitoly. Podle tohoto modelu bude navrženo i technické řešení způsobu odvodnění.

Pro stanovení orientační hodnoty přítoku podzemní vody do stavebních jam bude po získání informací o předpokládaném provedení stavebních jam (plocha, hloubka, atd.) použito empirických vzorců. Tyto práce lze provést do tří týdnů po obdržení podkladů a bude předáno formou dodatku k předložené zprávě.

## 7. Závěr

Předložená závěrečná zpráva o realizovaném inženýrskogeologickém a hydrogeologickém průzkumu zhodnotila inženýrskogeologické, základové a hydrogeologické poměry v objednatelém určeném prostoru v areálu čistírny odpadních vod v Modřicích.

Pro případné další konzultace v průběhu projekčních prací pro zakládání objektů a následnou spolupráci v podobě geotechnického sledu výstavby, kontroly zemních prací, realizaci zatěžovacích zkoušek, monitoringu podzemní vody apod., jsou odborní pracovníci akciové společnosti GEOTest plně k dispozici.

V Brně, dne 30. června 2017