

Inženýrsko-geologický a stavebně technický průzkum – VD Slušovice

Rev.01



2024

Projekce iGEO s.r.o.

Nám. 28. října 1899/11, 602 00 Brno Černá Pole

IČ: 061 90 499, DIČ: CZ061 90 499

tel.: +420 733 730 010

web: www.igeo.cz

e-mail: lukas.matejka@igeo.cz

Geotechnika, statika, inženýrská a stavební geologie, hydrogeologie

Název zakázky: Inženýrsko-geologický a stavebně technický průzkum – VD Slušovice

Číslo zakázky: 046-2024

Objednatel: Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno

Inženýrsko-geologický a stavebně technický průzkum – VD Slušovice

ČGS 2276/2024

Rev.01



Zodpovědný řešitel:

RNDr. Mgr. Ivan Poul, Ph.D.

Brno, srpen 2024

Obsah

1. Úvod	3
1.1 Použité normy, předpisy a zdroje:	4
2. Přírodní poměry	5
2.1 Klimatické poměry	5
2.2 Nezámrzná hloubka	5
2.3 Záplavová oblast.....	5
2.4 Poddolované území.....	5
2.5 Sesuvy	5
2.6 Seismicita	6
3. Geomorfologie a geologie	6
3.1 Geologie	6
3.2 Geomorfologie	6
3.3 CHOPAV	6
3.4 Hydrogeologie – rajony	6
4. Metodika	7
4.1 Vrtné práce	7
4.2 Laboratorní rozbor.....	7
5. Geologický model	7
6. Laboratorní výsledky	8
Projektování pozemních komunikací	8
7. Těžitelnost zemin a hornin.....	9
8. Závěr	9

Přílohy:

Příloha 1 – Situace

Příloha 2 – Řez A-A'

Příloha 3 – Dokumentace a vyhodnocení terénních sond

Příloha 4 – Vyhodnocení laboratorních analýz

Příloha 5 – Fotodokumentace

Příloha 6 – Geodetické vytyčení terénních sond

Příloha 7 – Diagnostika betonových konstrukcí

Rozdělovník:

1 - 3 a digitálně **Povodí Moravy. s.p.**

4 **ČGS**

Digitálně **Projekce iGEO s.r.o.**

1. Úvod

Na základě objednávky od Povodí Moravy, s.p. byl proveden v měsíci červnu 2024 inženýrsko-geologický a stavebně technologický průzkum na vodním díle Slušovice. Zájmové vodní dílo (VD) je sypaná zemní hráz nacházející se na toku Dřevnice v km 29,335 nad městem Slušovice. Konkrétně je zkoumaným objektem konstrukce vlnolamu na koruně hráze a bezpečnostní přeliv a skluz VD.

Vzdouvací objekt tvoří sypaná zemní hráz se středním jílovým těsněním, šířka koruny hráze je 4,0 m (vlnolam je situován na jejím levém okraji), šířka v patě hráze je 170 m. Na bezpečnostní přeliv navazuje skluz ukončený vývarem, součástí skluzu je přemostění v koruně hráze.

Účelem IG a stavebně technického průzkumu bylo prozkoumat stavbu hráze a stanovit vlastnosti těsnící konstrukce. Tyto informace budou sloužit jako podklad pro plán rekonstrukce hráze v rámci investičního záměru „VD Slušovice – IG a stavebně technický průzkum“ Zlínského kraje. Podrobná situace je uvedena v Příloze 1. Průzkumné práce budou sloužit jako podklad pro rozhodnutí o způsobu celkové rekonstrukce VD Slušovice za účelem a následném započetí projekčních prací. Poté budou realizovány plánované stavební úpravy na VD, které zabezpečí jeho plnou provozuschopnost a bezpečnost i při extrémních povodních (NPV1 000 a zejména KPV 10 000).

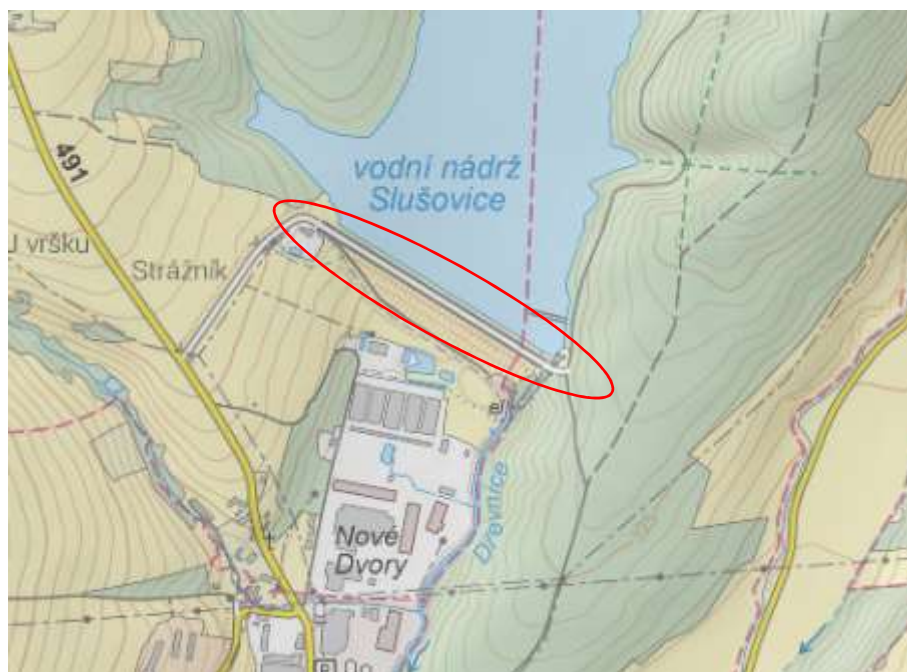
Inženýrsko-geologický průzkum (IGP) zahrnoval na koruně hráze hlavní průzkum, který bude sloužit k prověření minimální úrovně ukončení těsnícího jádra a k prohloubení znalostí o materiálových charakteristikách jak těsnícího jádra, tak i nadložní vrstvy nad ním. Vedlejší průzkum byl směřován na vlnolam a na jeho základovou spáru. Účelem je ověření způsobu jeho založení – navázání na těsnící jádro. Bylo potřebné ověřit existenci šterkopískového podsypu pod základovou spárou vlnolamu zasahujícího do těsnícího jádra a doplňkovým efektem tohoto průzkumu bylo zjištění kvality betonu vlnolamu v základové části.

Dále byl realizován stavebně technický na bezpečnostním přelivu a skluzu, tímto průzkumem byly prověřeny základové poměry (kvalita skalního podloží) bezpečnostního přelivu a skluzu v horní polovině. Sekundárně se při něm získaly informace o pevnostech betonu uvedených konstrukcí.

Stavebně-technickým průzkumem betonových konstrukcí skluzu a přelivu se stanovilo: porušení povrchové vrstvy betonu, pevnost betonu v tlaku, mrazuvzdornost betonu, tloušťka krycí betonové vrstvy, hloubka karbonatace, degradace alkalicko křemičitou reakcí kameniva.

Objednatelem bylo požadováno 9 vrtaných sond pro odebrání 27 porušených vzorků (kategorie C) pro indexové zkoušky a klasifikaci zemin z různých zón hráze, 9 neporušených vzorků (kategorie A) pro stanovení propustnosti zemin tvořící těsnící část sypané hráze a 9 technologických vzorků (kategorie C) pro stanovení zhutnitelnosti zemin (PS) tvořící těsnící části hráze.

V zájmové oblasti proběhl v roce 2009 průzkum koruny hráze firmou Centropjekt, a.s. složený ze 7 jádrových vrtů do hloubky 1,5 m. Z těchto vrtů bylo odebráno 7 ks vzorků pro indexové zkoušky a klasifikaci zemin.



Obr. 1: Přehledná situace bližšího okolí zájmové oblasti vyznačeno červenou šrafou (upraveno z <https://geoportal.gov.cz/>).

1.1 Použité normy, předpisy a zdroje:

BS 1377-7:1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Shear strength tests (total stress)

ČSN 73 6133 - Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací

ČSN EN ISO 17892-11 Geotechnický průzkum a zkoušky – Laboratorní zkoušení zemin – Část 11: Stanovení propustnosti

ČSN 72 1006 – Kontrola zhutnění zemin a sypanin

ČSN EN ISO 14688-1 Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařizování zemin - část 1: Pojmenování a popis

ČSN EN ISO 14688-2 Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařizování zemin - část 2: Zásady pro zařizování

ČSN 75 2310 – Sypané hráze

ČSN 75 2410 – Malé vodní nádrže

Ostatní:

Holomek, P. a Stejný, J. (2023): VD Slušovice – IG a stavebně technický průzkum. – MS, Povodí Moravy, s.p.

Matys, M., Ťavoda O., Cuninka M. (1990): Polné skúšky zemín. - Alfa, Bratislava.

Quitt, E., & Geografický ústav ČSAV (Brno). (1971). Klimatické oblasti Československa =: Climatic regions of Czechoslovakia. Brno: Geografický ústav ČSAV.

Sedlář, M. a Pospíšilová, M. (2009): VD Slušovice – 7 ks jádrových vrtů – technická zpráva z vrtných prací. – MS, Vodní zdroje Holešov, a.s.

2. Přírodní poměry

Reliéf pozemku je rovinný s nadmořskou výškou 315 m n.m., na pozemku se nachází hráz vodní nádrže Slušovice.

2.1 Klimatické poměry

Klimaticky lokalita spadá do oblasti T2 (podle Quitta 1971). Jaro je poměrně krátké, teplé až mírně teplé, léto je teplé dlouhé a suché, podzim je poměrně krátký, teplý až mírně teplý, zima je krátká, suchá až velmi suchá.

Klimatické charakteristiky dle Quitta (1971) uvádí Tab. 1.

Tabulka 1 Průměrné klimatické charakteristiky podle Quitta (1971)

počet dnů s průměrnou teplotou nad 10°C	160 - 170			
počet letních dnů	50 - 60			
počet mrazových dnů	100 - 110			
počet ledových dnů	30 - 40			
počet dnů se srážkami nad 1 mm	90 - 100			
počet dnů se sněhovou pokrývkou	40-50			
průměrné srážky ve vegetačním období	350 - 400			
průměrné srážky v zimním období	200 - 300			
průměrné teploty	leden	duben	červenec	říjen
	-2 až -3°C	8 - 9 °C	18 - 19 °C	7 - 9 °C

2.2 Nezámrzná hloubka

Nezámrzná hloubka byla stanovena podle předpisu SŽ S4 příloha 7 pomocí indexu mrazu I_{mn} . $H_{pr} = 0,93$ m.

2.3 Záplavová oblast

Lokalita se nachází na záplavovém území. Podle map Hydrogeologického informačního systému VÚV TGM patří okolí lokality do aktivní záplavové zóny. Záplavové území pro Q5, Q20, Q100.

2.4 Poddolované území

Lokalita se nenachází na poddolovaném území.

2.5 Sesuvy

V zájmové oblasti nejsou evidovány sesuvy.

2.6 Seismicita

V tomto případě je nutné pro návrh konstrukce uvažovat její seismické zatížení. Seismicita zájmového území byla klasifikována dle normy ČSN EN 1998-1 Navrhování konstrukcí, odolných proti zemětřesení, její národní přílohy a změny Z4/2016. Pro zájmové území je stanovena hodnota referenčního špičkového zrychlení **agR = 0,05 g**. **Typ základové půdy C** (tab-3.1, ČSN EN 1998), **součinitel pružné odezvy typ 2 – S = 1,5** (tab. 3.3), **součinitel významu stavby $\gamma = 1,4$** (třída významu pozemních staveb tab. 4.3 a součinitel tabulka NA 1.

$$\text{Výpočet: } agS = agR \cdot S \cdot \gamma = 0,05 \cdot 1,5 \cdot 1,4 = \mathbf{0,105 \text{ g}}$$

V souladu s článkem národní přílohy NA 2.8. jsou za případy velmi malé seismicity považovány ty, kdy hodnota **agS ≤ 0,05 g**. V ostatních případech je nutné pro návrh konstrukce uvažovat její seismické zatížení.

3. Geomorfologie a geologie

3.1 Geologie

Širší okolí je tvořeno flyšovým pásmem, konkrétně magurskou skupinou prvků, které se zvrásnily během mladší fáze Alpínského vrásnění. Sedimenty vznikly v hlubokomořském prostředí a jedná se o střídání jemnozrnných a hrubozrnných klastických sedimentů. Mladšími sedimenty jsou zejména štěrky a písky z pleistocénu a potom následují mladší nivní sedimenty z období holocénu. Nivní sedimenty jsou tvořeny hlínou, pískem a štěrky a usazovaly se v období záplav.

3.2 Geomorfologie

Z geomorfologického hlediska se místo průzkumu řadí do Alpsko-himalájského systému, subsystému Karpat, provincie Slovensko-moravské Karpaty, subprovincie Vnější západní Karpaty, celku Vizovická vrchovina, podcelku Fryštácká brázda.

3.3 CHOPAV

Lokalita není součástí chráněné oblasti přirozené akumulace vod.

3.4 Hydrogeologie – rajony

Zájmová oblast se nachází v hydrogeologickém rajonu 3222 Flyš v povodí Moravy – severní část. Toto území tak náleží hydrogeologickému povodí Moravy. Tato hydrogeologická oblast se vyznačuje volnou hladinou s průlino-puklinovou propustností a nízkou transmisivitou.

4. Metodika

4.1 Vrtné práce

V rámci doplňkového průzkumu bylo uskutečněno celkem 9 jádrových vrtů. Hloubka jádrových vrtů byla 4 m. Jádrové vrty slouží k popisu geologické stavby zájmové oblasti a k odebrání vzorků na laboratorní analýzy. Jádrové vrty byly realizovány vrtnou soupravou Wirth Bo na podvozku Mercedes-Benz Atego 4x4 s průměrem vrtání 156 mm subdodavatelem LTgeo s.r.o. Z vrtů bylo těženo jádro točivou technologií pomocí TK korunek. Popis zemin probíhal podle normy ČSN EN ISO 14688-2. Z těchto vrtů bylo odebráno celkem 27 porušených vzorků, 9 neporušených vzorků a 9 technologických vzorků.

Celkově bylo realizováno 36 bm vrtů.

4.2 Laboratorní rozbor

Laboratorní analýzy probíhaly **v laboratoři mechaniky zemin a hornin Projekce iGEO s.r.o.** Z odebraných vzorků zemin bylo provedeno 9 zkoušek propustnosti v oedometru (ČSN EN ISO 17892-11). Dále byly provedeny 27x indexové zkoušky pro zatřídění zemin a posouzení vhodnosti do VD a 9x zkouška zhutnitelnosti Proctor standard v akreditované laboratoři Geodrill s.r.o. (**Příloha 4**).

5. Geologický model

Geologické prostředí bylo na základě geologického popisu a zatřídění rozděleno do dvou kvazihomogenních celků G1 pro kamenitou navážku pod korunou hráze a G2 pro těsnící zónu složenou z tříděných jílovitých zemin. Klasifikace zemin a stanovení konzistence proběhly na základě ČSN 75 2410, ČSN 73 6133 a ČSN 17892-12. Detailní výsledky laboratorních analýz jsou uvedeny **v Příloze 4**. Detailní dokumentace sond je uvedena **v Příloze 3**.

G1 – Kamenitá navážka

Jedná se o vrstvu oddělující těsnící oblast hráze od údolního štěrku. Nad touto vrstvou se nachází konstrukční vrstvy vozovky. Jedná se o štěrkovité zeminy charakteru navážky, klasifikace **G3 G-F, G4-GM a G5 GC**. Vlhkost zemin se pohybovala mezi 4,9 a 7,2 %. Mez plasticity podsítné frakce zemin G3 a G5 byla v rozmezí 15 – 17 %. Mez tekutosti v intervalu 10 – 12 %.

G2 – Těsnící část

Jedná se o tříděné zhutněné jílovité zeminy charakteru navážky klasifikované převážně jako **F2 CG a F4 CS**. Místy se nacházeli zeminy klasifikace **F6 CI** (Vrt J17) a **F8 CH** (Vrt J11A). V některých případech byla přítomna zemina **G5 CG v hloubce 1,8 m J15 a 4,0 m vrt J18**. Vlhkost těchto zemin se nacházela v intervalu 10,1 až 22 %. Mez tekutosti byl v rozmezí $w_t = 37-63$ %. Mez plasticity byla v intervalu $w_t = 15-29$ %. **Konzistenční meze jsou závislé na konkrétním obsahu písčité frakce.** Konzistence zemin byl tuhá až pevná.

Předchozí geologický průzkum z roku 2009 zaznamenal v hloubce 1,5 m od koruny hráze zeminy klasifikace **F2 CG a F8 CH (Vrt J4)**. Vlhkost těchto zemín byla stanovena na $w = 16,8 - 25,7 \%$. Mez tekutosti byla v rozmezí $w_t = 38,3 - 52,8 \%$. Mez plasticity byla v intervalu $w_t = 19 - 26,5 \%$. **Konzistenční meze jsou závislé na konkrétním obsahu písčité frakce.** Konzistence zemín byla pevná.

6. Laboratorní výsledky

Zeminy byly rozděleny do 2 geotypů dle skladby hráze: G1 a G2. Vyhodnocení vhodnosti zemín byly vyhodnoceny dle ČSN 75 2310 a dle ČSN 75 2410.

Jak je možné vidět z Tabulky 2, ve výsledcích filtračních koeficientů a vhodnosti zemín je velký rozptyl. **Pro geotyp G1** byla ve v hloubce **okolo 1,2 m vrtu J18** klasifikována zemina **G4 GM štěrk hlinitý**. Tato zemina má výrazně nižší filtrační koeficient než ostatní zeminy v této vrstvě a má odlišnou vhodnost. Dle ČSN 75 2410 je tato zemina výborná do homogenní hráze, velmi vhodná do těsníci části a **málo vhodná do stabilizační části**.

Geotyp G2 reprezentující zeminy těsníci části hráze mají velký rozptyl zrnitosti a jejich vlastnosti v důsledku přítomnosti poloh nevhodných zemín. Ve vrtu **J12A byla v hloubce okolo 2,0 m** klasifikována zemina **F2 CG-Cb** s výrazně větším filtračním koeficientem $2,4 \cdot 10^{-3}$ m/s (křivka zrnitosti). Ve vrtu **J18 v hloubce okolo 3,9 m** byla klasifikovaná zemina **G5 GC-Cb**. I tato vrstva má výrazně větší filtrační koeficient a to $1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s (křivka zrnitosti). Bez těchto zemín se filtrační koeficient zemín pohybuje mezi $X \cdot 10^{-9}$ až $X \cdot 10^{-10}$ m/s (pro viskozitu vody odpovídající 20°C). **Ve vrtu J11A byla v hloubce 2,1 m** identifikována zemina **F8 CH, která je málo vhodná do těsníci části hráze. Mimo tuto vložku jsou zeminy velmi vhodné až výborné do těsníci části.**

Tabulka 2 Výsledky laboratorních analýz

Geotyp	Objemová tíha	Propustnost stanovená v oedometru	Filtrační koeficient z indexových zkoušek	Vhodnost do homogenní hráze	Vhodnost do těsníci části	Vhodnost do stabilizační části
	γ	k_v	k			
	kN/m^3	m/s	m/s			
G1			$2,9 \cdot 10^{-5} - 3,2 \cdot 10^{-3}$	Málo vhodná až Výborná	Nevhodná až Velmi vhodná	Málo vhodná až Velmi vhodná
G2	19.5-21.0	$3,2 \cdot 10^{-8} - 2,5 \cdot 10^{-10}$	$2,4 \cdot 10^{-3} - 1,9 \cdot 10^{-8}$	Vhodná až Výborná	Málo vhodná až Výborná	Nevhodná až Málo vhodná

Projektování pozemních komunikací

Vzorky pro zkoušku zhutnitelnosti Proctor Standard byly odebrány z těsníci části hráze. Detailní výsledky jednotlivých měření jsou uvedeny v Tabulce 3. Na základě provedených laboratorních rozborů Proctor standard je optimální vlhkost (w_{opt}) při

maximálním zhutnění dosažení přibližně 12-17 %. Při maximálním zhutnění dosahují tyto zeminy objemové hmotnosti ρ_{dmax} v intervalu 1690–1820 kg/m³.

Dle ČSN 73 6133 tab. 1 jsou zeminy Geotypu 1 třídy **G3 G-F vhodné do aktivní zóny a násypu**. Zeminy třídy **G4 GM (J18 1,2 m) a G5 GC (J15 0,8 m) jsou nevhodné do aktivní zóny a násypu**.

Dle ČSN 73 6133 tab. 1 jsou zeminy Geotypu 2 třídy **F2 CG a F4 CS podmíněčně vhodné do aktivní zóny a násypu**. Dle tab. 5 je předepsaná hloubka úpravy 300-400 mm. Zeminy třídy **F6 CI (J17 2,4 m) a F8 CH (J11A 2,1 m) jsou nevhodné do aktivní zóny a násypu**.

Tabulka 3 Výsledky stanovení zhutnitelnosti materiálu těsnící části hráze jednotlivých vrtů

Sonda	hloubka (m)	Proctor Standard	
		W_{opt}	ρ_{dmax}
		(%)	(kg/m ³)
J10	1,2-4,0	12	1820
J11A	1,0-4,0	17	1690
J12A	0,7-4,0	16	1710
J13	0,8-4,0	14	1710
J14	1,8-4,0	13	1720
J15	1,2-4,0	14	1740
J16	0,8-4,0	13	1750
J17	1,0-4,0	15	1740
J18	1,6-4,0	14	1730

7. Těžitelnost zemin a hornin

Součástí geologických průzkumů bývá stanovení těžitelnosti zemin. Jediná platná česká norma pro stanovení těžitelnosti je ČSN 73 6133 (pro dopravní stavby). Dle této normy, lze všechny zastižené zeminy Geotypu G1 a G2 kategorizovat do I. třídy těžitelnosti.

8. Závěr

Dne 05. 06. 2024 proběhl IG průzkum hráze VD Slušovice složený z 9 jádrových vrtů. Z těchto vrtů bylo odebráno celkem 45 ks vzorků pro stanovení indexových vlastností, vhodnosti do různých zón hráze, propustnosti v oedometru a zhutnitelnosti zkouškou Proctor Standard.

Materiál tvořící těsnící zónu hráze je až na dva případy velmi vhodné až výborné se středním až velmi nízkým koeficientem filtrace 10⁻⁹ až 10⁻¹⁰ m/s. Málo vhodné zeminy byly zdokumentovány ve vrtu J11A v hloubce okolo 2,1 (F8 CH), která je málo vhodná do těsnící části a ve vrtu J18 okolo 3,9 (G5 CG-Cb), která

má výrazně vyšší filtrační koeficient a to $1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s (křivka zrnitosti). Povrch těsnícího jádra je na základě všech geologických sond mírně zvlněný.

Těžitelnost zemin je dle ČSN 73 6133 I.

Vrtatelnost podle ČSN P 73 1005 je I.

Fotografická dokumentace je uvedena v Příloze č.5.

Diagnostika betonových konstrukcí je obsažena ve volné **příloze 7**. Stručné zhodnocení je zde:

Vlnolam na koruně hráze: u dvou vrtů byla jednoznačně ověřena existence podsypu ze štěrkopísku, u jednoho vrtu pouze částečně. U betonu dolní části vlnolamu lze uvažovat třídu pevnosti v tlaku C16/20, objemová hmotnost betonu je 2110 kg/m^3 .

Byly zjištěny odchylky od předpokládaného geometrického tvaru vlnolamu a kanálu pro vedení cizího zařízení včetně jeho osazení.

Konstrukce bezpečnostního přelivu a skluzu: Levobřežní zeď i dno spadiště/skluzu jsou konstrukcemi provedenými z prostého, tedy nevyztuženého betonu. Beton obsahuje drcené i těžené kamenivo, na povrchu líce levobřežní zdi je zvětralý. Vzhledem k nevyztužení konstrukce nemá karbonatace betonu vliv na případnou korozi betonářské výztuže. Beton levobřežní zdi vykazuje vysokou nasákavost, stanovení mrazuvzdornosti betonu je problematické, obecně lze konstatovat, že beton při povrchu konstrukce je z hlediska mrazuvzdornosti nevyhovující, beton zdi hlouběji v jádru se v tomto ohledu jeví lépe.

Byly zjištěny odchylky od předpokládaného geometrického tvaru.

Beton dna spadiště a skluzu: dno spadiště i skluzu je provedeno z prostého cementového betonu, který obsahuje drcené i těžené kamenivo. V místě změny podélného sklonu dna skluzu jsou významné poruchy.

Na základě zjištěných závad a poruch byly podány návrhy na jejich odstranění, přičemž okamžité zásahy nejsou nutné. Mezi nejdůležitější navržené zásahy patří odstranit odvodňovací rigoly, obnažit rub levobřežní zdi spadiště/skluzu a zjistit její skutečné geometrické provedení, provést opravy drenážního systému a vyrovnaní povrchu, zaizolovat rub levobřežní zdi a dále odstranit povrchovou vrstvu betonu do hloubky asi 100 až 150 mm od líce zdi.

Brně dne 15. 08. 2024

Vypracoval: Ing. Lukáš Matějka

Odborný řešitel: RNDr. Mgr. Ivan Poul, Ph.D., GIPENZ

(jednatel Projekce iGEO s.r.o.)

odborná způsobilost v inženýrské geologii 2101/2009

odborná způsobilost v hydrogeologii 2138/2011

PŘÍLOHY: