



VD LIPNO I
LEVOBŘEŽNÍ VSTUP DO HRÁZE
Inženýrskogeologický průzkum

Prosinec
2020

Objednatel: Povodí Vltavy, státní podnik
Holečkova 3178/8
Smíchov
150 00 Praha 5
IČO: 70889953
DIČ: CZ708899531

Zhotovitel: KlaGeo, s.r.o.
Horní 365
747 15 Šilheřovice
IČO: 03974324
DIČ: CZ03974324

**Závěrečná zpráva o výsledcích inženýrskogeologického průzkumu prostoru
předpokládané výstavby levobřežního vstupu do hráze vodního díla Lipno I.**

Zpracoval:
Schválil:

Ing. Vratislav Bradáč (KlaGeo, s.r.o.)
RNDR. Peter Beňák



Rozdělovník

Výtisk č. 1-3: Objednatel
Výtisk č. 4 : Zhotovitel

Šilheřovice, prosinec 2020

Obsah	strana
1 Úvod	3
2 Identifikační údaje	3
3 Základní technické parametry objektu	3
4 Přírodní podmínky zkoumané lokality	4
4.1. Geomorfologické, hydrologické a klimatické podmínky	4
4.2 Morfologické podmínky	4
4.3 Geologické podmínky	4
5 Cíle průzkumných prací	5
6 Metodika technických prací	5
6.1 Vrtné práce	5
6.2 Laboratorní zkoušky	5
7 Vyhodnocení geologicko-průzkumných prací	6
7.1 Petrografické složení horninového masívu	6
7.2 Tektonické podmínky	7
7.3 Hydrogeologické podmínky	7
7.4 Fyzikálně-mechanické vlastnosti hornin	7
7.5 Betonové konstrukce	8
8 Hodnocení kvality horninového masívu dle NGI	8
9 Závěry	9

Přílohy:

- Příloha č. 1: Přehledná situace 1 : 25 000
- Příloha č. 2: Schéma provedení vstupu
- Příloha č. 3: Podélný profil
- Příloha č. 4: Dokumentace vrtu
- Příloha č. 5: Laboratorní zkoušky

1 ÚVOD

Povodí Vltavy, s.p. objednal u společnosti KlaGeo, s.r.o. inženýrskogeologický průzkum horninového prostředí v prostoru předpokládané výstavby nového levobřežního vstupu do hráze vodního díla Lipno I. Technické práce byly realizovány v období duben 2019.

2 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název stavby:	„VD Lipno I – levobřežní vstup do hráze“.
Stupeň projektu:	Projektová dokumentace pro provedení stavby
Místo stavby:	Vodní dílo Lipno I, k.ú. Lipno nad Vltavou (684309), okres Český Krumlov, kraj Jihočeský
Vodní tok:	Vltava
Č.h.p.:	1-06-01-1151
Investor:	Povodí Vltavy, s.p., Holečkova 3178/8, Smíchov, 150 00 Praha 5
Správce VD:	Povodí Vltavy, státní podnik, závod Dolní Vltava, Grafická 36, 150 21, Praha 5
Projektant:	VODNÍ DÍLA - TBD a.s., Hybernská 40, 110 00 Praha 1
Příslušný VÚ:	Krajský úřad Jihočeského kraje, odbor životního prostředí, zemědělství a lesnictví. U Zimního stadionu 1952/2, 370 76 České Budějovice

3 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY OBJEKTU

Vodní dílo Lipno I bylo uvedeno do provozu a v roce 1959. Vzduvací objekt je tvořen sypanou zemní hrází, v levobřežním zavázání kombinovanou s betonovou tížnou částí. Zemní část hráze je těsněna návodním jádrem z písčitých sprašových hlín. Gravitační betonová část hráze na levém břehu je složena z osmi tížných bloků založených do relativně zdravého skalního podloží.

- kóta koruny hráze - 728,62 m n.m.
- délka betonové části hráze - 87,9 m
- šířka komunikace na koruně hráze - 7,0 m
- maximální výška tížné betonové části hráze nad základovou spárou - 38,0 m

V betonové části hráze jsou umístěny funkční objekty - dva bloky spodních výpustí a přelivů, odběrný objekt průmyslového vodovodu a MVE. Zdivo hráze je rozděleno průběžnými dilatačními spárami na osm bloků. Bloky č. 1 až 5 jsou široké 12,5 m, blok č. 6 pak 13,0 m, blok č. 7 v koruně 13,5 m. Délka nultého bloku zavazujícího hráz do úbočí levého břehu byla zkrácena na základě vyhovujících geologických poměrů, zjištěných během realizace VD. Do horninového masívu je blok č. 0 je zavázán betonovým čelem.

Cílem realizace nového vstupu do střední revizní chodby z levého zavázání je zlepšení přístupnosti vnitřních prostor hráze pro obsluhu vodního díla a s tím spojené lepší podmínky pro údržbu technologických zařízení hráze, manipulace, provádění obchůzek, měření a sledování TBD.

Nový vstup do hráze z levého zavázání bude navazovat na stávající střední revizní chodbu v bloku č. 0. Spojení s revizní chodbou bude zajištěnou novou přístupovou šachtou se schodištěm a přístupovou štolou (přílohy č. 2, 3). Směr ražby vstupní chodby je zhruba VJV-ZSZ.

Přístupová štola šířky 1,8 m a výšky 2,2m bude dlouhá cca 15,1 m, z toho cca 1,5 m je tvořeno průrazem ze stávající revizní chodby. Přístupová šachta vnitřních rozměrů 2,5 x 2,5 m a hloubky 7,8 m bude situována v levobřežním svahu nad komunikací od koruny hráze k provozní budově (obrázek č.3.1). Ražba podzemních objektů se předpokládá s použitím trhacích prací podle zásad NRTM. V úseku mezi stávajícím schodištěm a vstupní šachtou bude proveden odřez výšky do 4 m stabilizovaný opěrnou zdí.

Obrázek č. 3.1: Pohled na zájmový prostor s umístěním vrtu J1



4. PŘÍRODNÍ PODMÍNKY ZKOUMANÉ LOKALITY

4.1 Geomorfologické, klimatické a hydrologické podmínky

Podle geomorfologického členění území ČR přísluší zkoumaná lokalita do Šumavské soustavy, podsoustavy Šumavská hornatina, celku Šumava, podcelku Trojmezenská pahorkatina, okrsku Lučanská hornatina (IB - 1C - 5).

Z hlediska klimatických podmínek spadá posuzované území do chladné klimatické oblasti CH7, (Quitt, 1971).

Hydrologicky přísluší lokalita do povodí řeky Vltavy (č. h. p. 1-06-01-1151).

4.2 Morfologické podmínky

Zájmové území je situováno v prostoru levobřežního zavázání hráze, v patě jihozápadního svahu Slupečného vrchu. Nadmořská výška ústí vstupní šachty činí cca 729 m.n.m.

4.3 Geologické podmínky

Přehradní profil vodního díla Lipno 1 je umístěn na severním okraji centrálního žulového komplexu moldanubika - na jeho kontaktu s krystalickými, regionálně metamorfovanými horninami (paleozoikum-karbon).

Kvartérní pokryv údolního svahu je tvořen hlinitokamenitými až balvanitými sutěmi (deluvium), v místě zahloubení vstupní šachty kvartér absentuje.

Předkvartérní podloží je budováno krystalinikem – dvojslídnymi žulami centrálního masívu (eisganrský granit).

5. CÍLE PRŮZKUMNÝCH PRACÍ

Geologicko-průzkumné práce byly provedeny za účelem:

- Ověření petrografické stavby horninového masívu
- Ověření tektonických podmínek zkoumaného prostoru
- Stanovení základních fyzikálně-mechanických vlastností horninového masívu v prostoru ražby podzemních děl
- Ověření hydrogeologických podmínek posuzovaného prostoru

Výsledky inženýrskogeologického průzkumu budou použity jako jeden z podkladů pro zpracování projektové dokumentace díla.

6. METODIKA PRŮZKUMNÝCH PRACÍ

6.1 Vrtné práce

Na základě požadavku objednatele byly v zájmovém prostoru provedeny tři jádrové vrty (příloha č.2). Svislé vrty J1 a J2 hloubky 10,3 m jsou umístěny v oblasti zahloubení vstupní šachty (J1, obr. 3.1), resp. v trase vstupní chodby (J2). Vodorovný vrt J3 je umístěn v čelbě revizní chodby v bloku 0 betonové části hráze.

Svislé vrty J1 a J2 byly hloubeny vrtnou soupravou WIRTH B01 na pásovém podvozku, diamantovou korunkou průměru 76 mm, s vodním výplachem. Subhorizontální vrt J3 byl proveden přenosnou vrtnou soupravou HILTI DD350, diamantovou korunkou průměru 72 mm s vodním výplachem.

Tabulka č. 6.1: Přehled provedených vrtů

Označení vrtu	Hloubka vrtu (m)	Souřadnice		
		Y	X	Z (m n.m.)
J1	10,3	778 232.88	1 201 321.80	729,60
J2	10,3	778 240.99	1 201 316.12	728,80
J3	6,0	778 249.37	1 201 315.69	721,00

Vrtné jádro bylo ukládáno do dřevěných vzorkovnic s následnou fotografickou, geologickou, a technickou dokumentací (příloha č. 4). Geodetické zaměření vrtů nebylo požadováno, pozice jejich ústí je odvozena z poskytnutého mapového podkladu (příloha č. 2, tabulka č. 6.1).

6.2 Laboratorní zkoušky hornin

Kvalita horninového masívu byla hodnocena na základě makroskopického, resp. technického popisu jádrových vrtů a laboratorních zkoušek horninových vzorků připravených z vrtného jádra. Laboratorními zkouškami byly stanoveny objemová hmotnost a pevnost v tlaku hornin.

Celkově byly provedeny čtyři série zkoušek (tabulka č. 6.2).

Tabulka č. 6.2: Přehled laboratorních zkoušek hornin

Označení vzorku	Druh vzorku	Vrt	Hloubka odběru (m)
1-0614/19	Hornina	J1	3,5
2-0615/19	Hornina	J1	7,5
3-0616/19	Hornina	J2	4,5
4-0617/19	Hornina	J2	9,0

Zkoušky mechanických vlastností vzorků hornin byly provedeny v akreditované laboratoři fy TestStav (příloha č. 5).

7. VYHODNOCENÍ PRŮZKUMNÝCH PRACÍ

7.1 Petrografická stavba horninového masívu

Skalní masív je v posuzovaném prostoru budován krystalickými, vyvřelými horninami moldanubického plutonu (eisgarnský granit). Z petrografického hlediska se jedná o dvojslídnu (muskovit-biotitickou) žulu světle béžového zabarvení, s jemným narůžovělým nádechem, nevýrazně skvrnitou, hrubozrnné struktury s vyrostlicemi tence tabulkovitého draselného živce (obrázek č. 7.1).

Ve vrtu J1, umístěném zhruba v prostoru zahloubení vstupní šachty, byla zastižena slabě navětralá žula třídy (R3), v hlubších partiích masívu (R2-R3, GT2c). Relativně zdravý horninový masív byl zastižen rovněž za betonovou obezdívkou v subhorizontálním vrtu J3. Ve vrtu J2, provedeném z vozovky byla pod konstrukčními vrstvami (asfalt, hrubozrnný makadam) zastižena poloha zcela rozložené žuly (R6, GT2a) rozpadající se až na hrubozrnný písek a drobný ostrohranný štěrk, postupně přecházející do zvětřalého až silně navětralého masívu (R4-R5, GT2b). Od hloubky cca 3 m je horninový masív budován pevnou celkově slabě navětralou až zdravou žulou. Lze tedy konstatovat, že zahloubení vstupní šachty i přístupové chodby levobřežního vstupu bude probíhat v podmínkách relativně zdravého a pevného masívu třídy R2-R3.

Obrázek č. 7.1: Detail hrubozrnné struktury žuly.



7.2 Tektonické podmínky

V průzkumných vrtech nebylo zaznamenáno výraznější tektonické porušení horninového masívu. Z okolních skalních výchozů je zřejmé, že horninový masív je porušen trhlinami soustředěnými do třech vzájemně kolmých systémů ploch nespojitosti, určujících jeho blokovitou strukturu (obr. č. 3.1). Systém „A“ ploch nespojitosti probíhá ve směru cca JV-SZ se sklonem k JZ, je tedy zhruba souběžný se směrem ražby vstupní chodby. Odlučné plochy systému „B“ ploch nespojitosti se sklání v JV směru. Diskontinuity těchto systémů jsou vcelku strmě ukloněné – upadají ve sklonech cca 60 - 80°. Systém „C“ ploch odlučnosti probíhá subhorizontálně až mírně šikmo a podmiňuje lavicovitou odlučnost horninového masívu.

Trhliny v jednotlivých systémech jsou převážně sevřené až rozevřené v řádu prvních mm. Stěny odlučných ploch jsou drsné, planární a mírně zazubené.

Prostorová orientace jednotlivých systémů ploch nespojitosti je z hlediska ražby vstupní chodby vcelku příznivá, nicméně při návrhu způsobu ražby a zajištění stěn výrubu je nutné uvažovat s možností vypadávání horninových bloků různé velikosti, zejména z oblasti záklenku štoly.

7.3 Hydrogeologické podmínky

Hydrogeologické podmínky posuzované oblasti jsou určovány především blízkostí vodní nádrže, klimatickými podmínkami (množstvím atmosférických srážek) a stavbou horninového masívu. Horninový masív představuje prostředí s puklinovou propustností. Množství a intenzita průsaků jsou přitom určovány intenzitou rozpukání masívu a rozevřením trhlin. V minulosti byl skalní masív v přehradním profilu těsně injekční clonou, tuhá cementová směs byla zastižena ve výplni trhliny ve vrtu J2. Vstupní šachta a prakticky celý úsek přístupové chodby jsou umístěny na vzdušní straně za teoretickou osou injekční clony. Větší část průsaků do výlomu podzemních děl lze tedy očekávat z prostoru levého údolního svahu. V každém případě doporučujeme ražbu levobřežního vstupu provádět v podmínkách snížené hladiny v nádrži pod kótu cca 720 m.n.m. Množství běžných přítoků do výrubu lze očekávat, podle našeho názoru, maximálně v řádu prvních l/s.

7.4 Fyzikálně-mechanické vlastnosti hornin

Z provedených průzkumných prací vyplývá, že ve zkoumané části horninového prostředí lze vyčlenit níže uvedené horninové celky (geotechnické typy), kvazihomogenní z hlediska jejich petrografického ložení, intenzity navětrání a tektonického porušení.

- Konstrukční vrstvy vozovky. **Geotechnický typ GT0.**
- Beton masívní ve stěně revizní chodby. **Geotechnický typ GT1.**
- Žula zcela rozložená, třídy R6. **Geotechnický typ GT2a**
- Žula celkově silně navětralá, třídy R4-R5. **Geotechnický typ GT2b.**
- Žula celkově slabě navětralá až zdravá tříd R2-R3. **Geotechnický typ GT2c.**

Fyzikálně-mechanické vlastnosti hornin tříd R6 (GT2a), resp. R4-R5 (GT2b) byly stanoveny jako směrné normové charakteristiky dle již zrušené ČSN 73 1001 *Základová půda pod plošnými základy* na základě makroskopického popisu jádra těženého z průzkumných vrtů (tabulka č.7.1).

Za účelem ověření základních pevnostních charakteristik hornin tříd R2-R3 (GT2c) byly z vrtného jádra odebrány a připraveny vzorky na stanovení pevnosti v tlaku a objemové hmotnosti. Výsledky zkoušek jsou přehledně prezentovány v příloze č. 5 a tabulce č. 7.2.

Tabulka č. 7.1: Hodnoty základních geotechnických parametrů kvaziisotropních celků.

Geotechnický typ	ρ_n	E_{def}	γ	φ	C	PT
GT0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
GT1	2400	NA	NA	NA	NA	50
GT2a	2200	40	0,30	35	500	<1
GT2b	2400	150	0,20	45	1500	5
GT2c	2600	900	0,20	50-65	3000-4000	85

ρ_n - objemová hmotnost (kg/m^3), E_{def} - modul přetvárnosti (MPa), γ - Poissonovo číslo, φ - úhel vnitřního tření ($^\circ$), C - koheze (kPa), PT - pevnost v tlaku (MPa).

Pevnost v prostém tlaku slabě navětralé žuly (GT2c), stanovená na čtyřech vzorcích, kolísá v rozmezí hodnot 52 – 127 MPa, což odpovídá třídě hornin R2 (ČSN 73 1001 - *Základová půda pod plošnými základy*). Nicméně je třeba uvážit, že testovány byly diskrétní vzorky, zatímco celkovou pevnost horninového masívu je třeba hodnotit s přihlédnutím k dalším aspektům (rozpuštění hornin, intenzita celkového navětrání, atd.).

Tabulka č. 7.2: Vyhodnocení zkoušek geotechnických parametrů hornin tříd R2-R3 (GT2c)

Parametr	Počet hodnot	Rozsah hodnot	Průměrná hodnota
Pevnost v tlaku – žula (MPa)	4	51,9-126,6	89,1
Objemová hmotnost – rula (kg.m^{-3})	4	2540-2630	2600

Obecně lze konstatovat, že vyšší hodnoty pevnosti v tlaku byly stanoveny u hornin těžných z vrtu J1 (98-127 MPa) provedeného v místě budoucí ražby svislé vstupní šachty, zatímco ve vrtu J2 byly zjištěny hodnoty výrazně nižší (52-80 MPa) - i když výraznější makroskopické rozdíly mezi horninovými vzorky nebyly pozorovány. Rozdíly v hodnotách pevnosti v tlaku mezi vrtu J1 a J2 zřejmě souvisí se skutečností, že vrt J1 je umístěn „hlouběji“ do svahu, tedy do prostředí s menší intenzitou poškození masívu procesy zvětrávání.

Z hlediska provádění báňských děl lze konstatovat, že hloubení, resp. ražba jednotlivých prvků nového levobřežního vstupu bude probíhat v podmínkách vcelku pevného horninového masívu třídy R2-R3 (GT2c). V nadloží vstupní chodby lze směrem od vstupní šachty do zaústění do stávající revizní chodby v bloku 0 očekávat výskyt rozložených (R6- GT2a) až silně navětralých (R4-R5, GT2a, GT2b) hornin v mocnostech do 3 m.

7.5 Betonové konstrukce

Kvalita betonové obezdívky v místě průrazu nové vstupní chodby do stávající revizní štol byla ověřena jádrovým subhorizontálním vrtem J3 délky 6 m. Mocnost betonové stěny činí 1,7 m. Ve vrtu byl zastižen šedomodrý masivní beton vcelku dobré kvality. Polymiktní výplň betonu je tvořena ostrohrannými zrny žuly, křemene a živců velikosti generelně do 3 cm. Písečto-cementové pojivo nevykazuje příznaky koroze, je slabě porézní, pouze s ojedinělým výskytem mikrokaveren velikosti do 0,5 cm. Stěny vývrtu jsou mírně drsné. Ve vrtu byla zjištěna prutová ocelová výztuž. Pevnost v tlaku betonu odhadujeme na cca 50 MPa, objemovou hmotnost cca 2400 kg.m^{-3} .

8. HODNOCENÍ KVALITY HORNINOVÉHO MASÍVU DLE NGI

Klasifikace horninových masívů pro návrh výztuže systému NGI (Burton, 1974) je v podzemním stavitelství hojně využívána, neboť reflektuje všechny základní aspekty vlastností horninového prostředí, v němž bude ražba báňských děl realizována. S ohledem na současný

způsob ražby a vyztužování (používání svorníků a stříkaného betonu) je hornina klasifikována na základě strukturního vyhodnocení jádrových vrtů. Zjišťuje se parametr horninového masívu označovaný jako kvalita horninového masívu Q , jež je dána vztahem:

vzorec 8.1: $Q = (RQD/I_n) * (I_r/I_a) * (I_w/SRF)$

- RQD – (Rock Quality Designation) je parametr četnosti puklin udávanou délkou kusů jádra nad 10 cm v jednom m sledované délky jádra - vyjádřená v %. Průměrnou hodnotu RQD , vycházející z technické dokumentace vrtného jádra (příloha č.3) uvažujeme $RQD=80-90\%$.
- I_n – je index reflektující počet souborů ploch nespojitosti. Pro tři systémy ploch nespojitosti činí hodnota parametru $I_n=9$.
- I_r – parametr charakteru ploch nespojitosti. Uvažujeme drsné plochy nepravidelně zazubené, $I_r=3$.
- I_a – součinitel změn mechanických vlastností masívu na kontaktu ploch nespojitosti. Nezměněné vlastnosti v trhlinách, pouze popraskané stěny – $I_a = 1$.
- I_w – parametr funkce přítoku a tlaku vody na odlučných plochách. Předpokládáme suché nebo menší přítoky vody s tlakem nižším, jak 0,1 MPa. $I_w=1$.
- Index SRF (Stress Reduction Factor) – faktor redukce tlaku, udává vztah mezi charakterem masívu a projevy horninového tlaku. V daném případě uvažujeme malé až střední napětí v hornině při hodnotách pevnosti v tlaku 10 – 200 MPa. $SRF=1$.

Kvalita masívu dle parametru Q je klasifikována podle 9-členné stupnice od výborného (stupeň I, $Q=1000-400$) až po výjimečně špatný (stupeň IX, $Q=0,01-0,001$).

Dosažením příslušných parametrů do vzorce 8.1 vypočteme parametr kvality horninového masívu Q v rozpětí hodnot 25 – 30. Kvalita horninového masívu Q pro tyto hodnoty je hodnocena jako „dobrá“ a odpovídá IV. stupni klasifikace.

9. ZÁVĚRY

Na základě vyhodnocení geologicko-průzkumných prací provedených v prostoru předpokládané výstavby nového levobřežního vstupu do gravitační části hráze VD Lipno I lze konstatovat:

- Horninový masív je v prostoru ražby vstupní šachty a přístupové chodby budován celkově slabě navětralou hrubozrnnou žulou třídy R2-R3.
- Horninové prostředí je porušeno třemi systémy ploch nespojitosti, podmiňujícími blokovitou odlučnost horninového masívu. Výskyt průběžných tektonických dislokací nebyl zaznamenán.
- Vzhledem k umístění díla za osou injekční clony lze očekávat přítoky podzemní vody do výrubu v řádu prvních l/s, a to zejména z oblasti levého údolního svahu.

Kvalitu horninového masívu dle klasifikace NGI hodnotíme z hlediska provádění báňských prací jako dobrou. Hlavní rizika provádění díla spočívají, dle našeho názoru, v možnosti vypadávání horninových bloků různé velikosti z oblasti záklenku přístupové chodby. Velikost jednotlivých bloků se může pohybovat v rozmezí od prvních dm^3 až po cca jeden m^3 . Této skutečnosti je třeba přizpůsobit návrh výztuže stěn díla (svorníky, stříkaný beton).

Ražbu báňských děl doporučujeme provádět v podmínkách snížené hladiny v přehradní nádrži.