

Inženýrskogeologický průzkum

Posouzení kvality skalní stěny mezi ul. Hradební a Dr. Milady Horákové, Liberec



2021

Projekce iGEO s.r.o.
608022443

tel.:

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

web: www.igeo.cz

IČ: 061 90 499, DIČ: CZ061 90 499

e-mail:

ivan.poul@igeo.cz

Geotechnika, statika, inženýrská a stavební geologie, hydrogeologie

Název zakázky: Inženýrskogeologický průzkum pro posouzení kvality
skalní stěny mezi ul. Hradební a Dr. Milady Horákové,
Liberec

Číslo zakázky: 075-2021

Objednatel: STATUTÁRNÍ MĚSTO LIBEREC, Nám. Dr. E. Beneše 1,
460 59, Liberec 1

Inženýrskogeologický průzkum

Posouzení kvality skalní stěny mezi ul. Hradební a Dr. Milady Horákové, Liberec



Zodpovědný řešitel geologických prací: **Mgr. Josef Víšek**

Brno, prosinec 2021

Obsah

1. Úvod.....	1
1.1 Současný stav	1
1.2 Použité normy	2
1.3 Rozsah průzkumných prací	2
2. Archivní podklady a obecné informace	3
2.1 Geologické zhodnocení	3
2.2 Hydrogeologie	3
2.3 Skalní řízení a principy jeho vzniku	3
2.4 Postup průzkumných prací	4
2.5 Analýza rizika skalního řízení	6
3. Zhodnocení přírodních poměrů z pohledu geologie a geotechniky.....	6
3.1 Výsledky realizace jádrových vrtů.....	6
3.2 Stanovení RQD.....	8
3.3 Tektonická měření.....	8
3.4 Zhodnocení zvětrání a rozpadu skalních stěn	9
3.5 Měření skalního masívu Schmidtovým tvrdoměrem.....	11
3.6 Stanovení pevnosti hornin v prostém tlaku	11
3.7 Stanovení vrcholové smykové pevnosti hornin.....	12
3.8 Zhodnocení skalního masívu pomocí RMR.....	12
3.9 Ověření průběhu povrchu skalního podloží – DPL mimo hlavní zkoumanou stěnu	13
3.10 Mechanické vlastnosti skalního svahu pro výpočty	13
3.11 Seismicita	13
4. Závěr	14

Přílohy:

1. Situace
2. Analýza kvality skalního masívu
3. Laboratorní analýzy
4. Měření Schmidtovým tvrdoměrem
5. Rychlost vrtání skalních hornin
6. Výsledky realizace lehké dynamické penetrace, kopaná sonda
7. Fotodokumentace

Rozdělovník:

1-3 a digitálně STATUTÁRNÍ MĚSTO LIBEREC
Digitálně Projekce iGEO s.r.o.

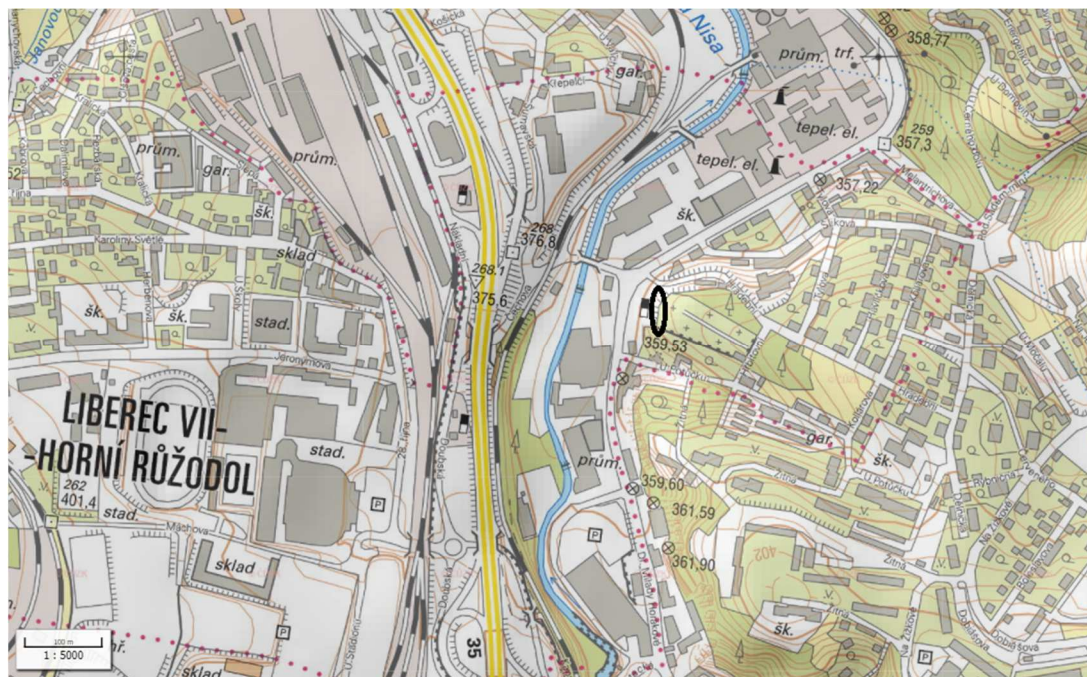
1. Úvod

Cílem průzkumných prací bylo dle požadavků objednatele získání podrobných informací o kvalitě skalního masívu v prostoru mezi ul. Hradební a Dr. Milady Horákové v Liberci na pozemcích p. č. 40/1 a 42/1, k. ú. Horní Růžodol. V roce 2016 proběhlo posouzení ČGS pod zn. SOG-441/801/2016, který přinesl zhodnocení probíhajících geodynamických jevů a a svahová nestabilita byla evidována v Registru svahových nestabilit v kategorii I – malé riziko.

Cílem průzkumu je získání relevantních podkladů ke zjištění skutečného stavu masívu a jeho potenciální nebezpečnosti s cílem budoucího navržených takových technických či obdobných opatření pro zajištění dlouhodobé stability masívu. Účelem předloženého průzkumu bylo prozkoumání míry zvětrání skalních hornin a následný návrh na základě všech podkladů a skutečností řešení, který bude efektivní v dlouhodobém časovém horizontu s minimalizací nutných nákladů.

1.1 Současný stav

Jedná se o skalní masiv tvořený hrubozrnnou porfyrickou libereckou žulou v různém stupni zvětrávání. Délka úseku skalního výchozu je cca 35 m s průměrným sklonem 70-80°. Pro tento masiv bylo vypracováno posouzení od České geologické služby, které má zhotovitel k dispozici, jako jeden z podkladů, spolu s polohopisným a výškopisným zaměřením. Jedná se tedy o dva pozemky ve vlastnictví města – pozemek p. č. 40/1 a 42/1, k. ú. Horní Růžodol. V roce 2020 bylo přistoupeno k odstranění náletů na skalním masivu, a také k odstranění asi 12 ks vzrostlých stromů na horní hraně masívu. Po těchto zůstalo na místě několik do prostoru převislých pařezů. Pata skalní stěny je vybavena betonovými zábranami proti drobným osypům horniny.



Obr. 1: Přehledná situace skalního svahu je vyznačena černou elipsou. Zdroj: <https://geoportal.gov.cz/>

1.2 Použité normy

ČSN 73 1370 - Nedestruktivní zkoušení betonu - Společná ustanovení

ČSN 73 1373 Nedestruktivní zkoušení betonu - Tvrdoměrné metody zkoušení betonu

ČSN P 73 1005 - Inženýrskogeologický průzkum

ČSN EN 1926 - Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení pevnosti v prostém tlaku

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

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

ČSN EN 1998-5 Eurokód 8: Část 5: Základy, opěrné a zárubní zdi a geotechnická hlediska

ČSN EN ISO 22476-2 Geotechnický průzkum a zkoušení - Terénní zkoušky - Část 2: Dynamická penetrační zkouška

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 EN ISO 14689 Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování, popis a klasifikace hornin

ČSN EN ISO 17892-1 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 1: Stanovení vlhkosti zemin

ČSN EN ISO 17892-2 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 2: Stanovení objemové hmotnosti jemnozrnných zemin

ČSN EN ISO 17892-10 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 10: Krabicová smyková zkouška

ČSN EN 206+A1 - Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

Hoek, E. (2021): Practical Rock Engineering. – MS, www.rocscience.com

Barton, N. and Grimstad, E. (2004): The Q-system following thirty years of development and application in tunneling projects. Proc. ISRM Symp. EUROCK 2004. Salzburg, Austria, 2004

1.3 Rozsah průzkumných prací

Bylo provedeno posouzení skalního masívu na přirozených výchozech, tam kde byla hornina zakryta svahovinami, bylo místy realizováno ruční odkrytí skalní stěny. V rámci průzkumných prací bylo zdokumentováno cca 35 m skalního výchozu.

Na základě sondáže DIA vrty korunkou Ø 6,7 cm (jádrové vrty V1, V2 a V3) a posouzení na odkryvech bylo sledováno porušení diskontinuitami. Pro potřeby hodnocení kvality skalního masívu byl využit Index RQD (Rock quality designation index). Kvalita horninového masívu byla hodnocena dle indexové klasifikace RMR (Rock mass rating system). Dále bylo provedeno stanovení vlhkosti na diskontinuitách - použití parametru J_w (mrznoucí voda silně rozrušuje skalní horninu). Pro hrubost diskontinuit byl využit parametr JRC.

Pro orientační doplnění pro účely ověření hloubky zvětrávání horninového masívu bylo provedeno vidiové vrtání (vrty ozn. D1 - D6).

Zjišťována byla také kvalita skalního masívu laboratorně - stanovením fyzikálních vlastností: objemové hmotnosti a vlhkosti, mechanických vlastností: pevnosti v jednoosém tlaku (podle ČSN EN 1926) 2 ks, pevnosti drcením nepravidelných horninových těles (2 ks) a stanovení pevnosti ve stříhu v kombinaci s tlakem zkouškou na nepravidelných tělesech (15 ks). Poslední dvě zmiňované laboratorní stanovení proběhly podle Metodiky laboratorních zkoušek v mechanice zemin a hornin, část III - mechanika hornin, ČGÚ, Praha 1987. Tyto

zkoušky byly doplněny o krabicové smykové zkoušky (2 ks) vyhodnocené podle ČSN EN ISO 17892-10.

Práce horolezeckou technikou realizovala f. VERTONE s.r.o..

2. Archivní podklad a obecné informace

2.1 Geologické zhodnocení

Z geologického hlediska je zájmové území součástí lužické oblasti, krkonošsko-jizerského masivu. Skalní podloží tvoří hlubinné magmatické horniny – porfyrické, hrubozrnné, biotitické granity paleozoického stáří. Horniny mají nepravidelně vyvinutý zvětralinový plášť. Kvartérní pokryv je nesouvislý a málo mocný. V širším okolí je budovaný sprašemi a sprašovými hlínami - okrové až světle hnědé slabě vápnité prachovité hlíny, deluviálními převážně drobně až hrubě kamenitými písčito hlinitými sedimenty. V okolí vodního toku řeky Nisy se nechází nepříliš vyvinuté fluviální jílovité, písčité a štěrkovité uloženiny. Na úpatí svahů se místy vytvořily proluviální nalavené kužele. Nejmladším členem souvrství jsou, pro zastavěná území, typické různorodé antropogenní navážky.

Povrch v převládající nadmořské výšce 380 – 450 m je zvlněný. V zastavěných územích je reliéf antropogenně přemodelovaný a zarovnaný.

2.2 Hydrogeologie

Z hydrogeologického hlediska je zájmové území v základní vrstvě součástí rajónu 6413 Krystalinikum Jizerských hor v povodí Lužické Nisy v horninách krystalinika, proterozoika a paleozoika. Z hydrogeologického hlediska převládá v zájmovém území hydrogeologický masiv, kde lze vyčlenit mělký oběh podzemní vody vázaný na pokryvné útvary a zónu povrchového zvětrání a rozpojení puklin a oběh v hlubší zóně rozpukání a zónách tektonicky predisponovaných.

Hladina podzemní vody nebyla během průzkumu zastižena, nebyly pozorovány průsaky vody z puklin skalního výchozu.

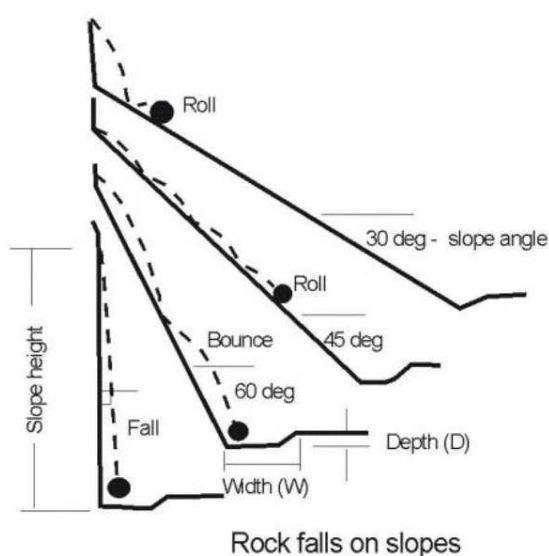
2.3 Skalní řízení a princip jeho vzniku

Posuzování stability skalního svahu je velmi náročná činnost, neboť většina skalních svahů je porušena nejrůznějšími diskontinuitami (pukliny, zlomy, vrstevnatost), kdy každá diskontinuita představuje potenciální nebezpečí. Diskontinuity jsou průběžné, křivé, hrubé, pokryté výplní, může z nich vytékat voda. K nejběžnějším jevům dochází křížením minimálně 3 diskontinuit a vyjždění nebo opadávání klínů. Pokud dojde ke vhodnému překřížení diskontinuit a ta, která je situována nejnižší směrem ke středu Země a je dostatečně strmá a málo hrubá (případně vyplněná měkkou výplní, nebo mokrá), může dojít k usmýknutí a vypadení klínu. Nalezení potenciálně nestabilního klínu není příliš obtížné, pokud není hornina protkána velkým množstvím diskontinuit. Pokud je hornina velmi silně porušena, potom je k posuzování a popisu pozorovaných jevů využití velkého množství metodik.

Skalní řízení nastává při změně klimatu nebo vlivem biologického zásahu, kdy se změní síly, které působí na skalní masiv. Tento vliv je největší na skalní horninu porušenou diskontinuitami, do kterých je umožněno zatékání dešťové vody

způsobující pórové tlaky. Taková voda může navíc mrznout a skálu trhat. Zároveň voda napomáhá růstu vegetace, která svými kořeny skálu rozrušuje. V rámci povrchových sutí působí negativně pohyb lidí a zvířat, kteří přidáním energie (nakopnutí, odskočení kamenu...) způsobí pád kamenů. Pád menších částic velikosti písku a šterku může způsobit i silný vítr. Nárůst rychlosti eroze způsobuje také odlesnění.

Je nutné rozlišovat několik různých typů svahových pohybů vznikajících ve skalním svahu. V případě skalního svahu v prostoru mezi ul. Hradební a Dr. Milady Horákové v Liberci se jedná zejména o 1) saltaci (rolování, pád, skok) kamenů rozvolněných v akumulacích sutí, dále 2) vypadávání kamenů ze skalní stěny vlivem rozvětrání a otřesů a potom také 3) překročení smykové pevnosti na existujících smykových plochách a sesutí bloků a skalních stěn.



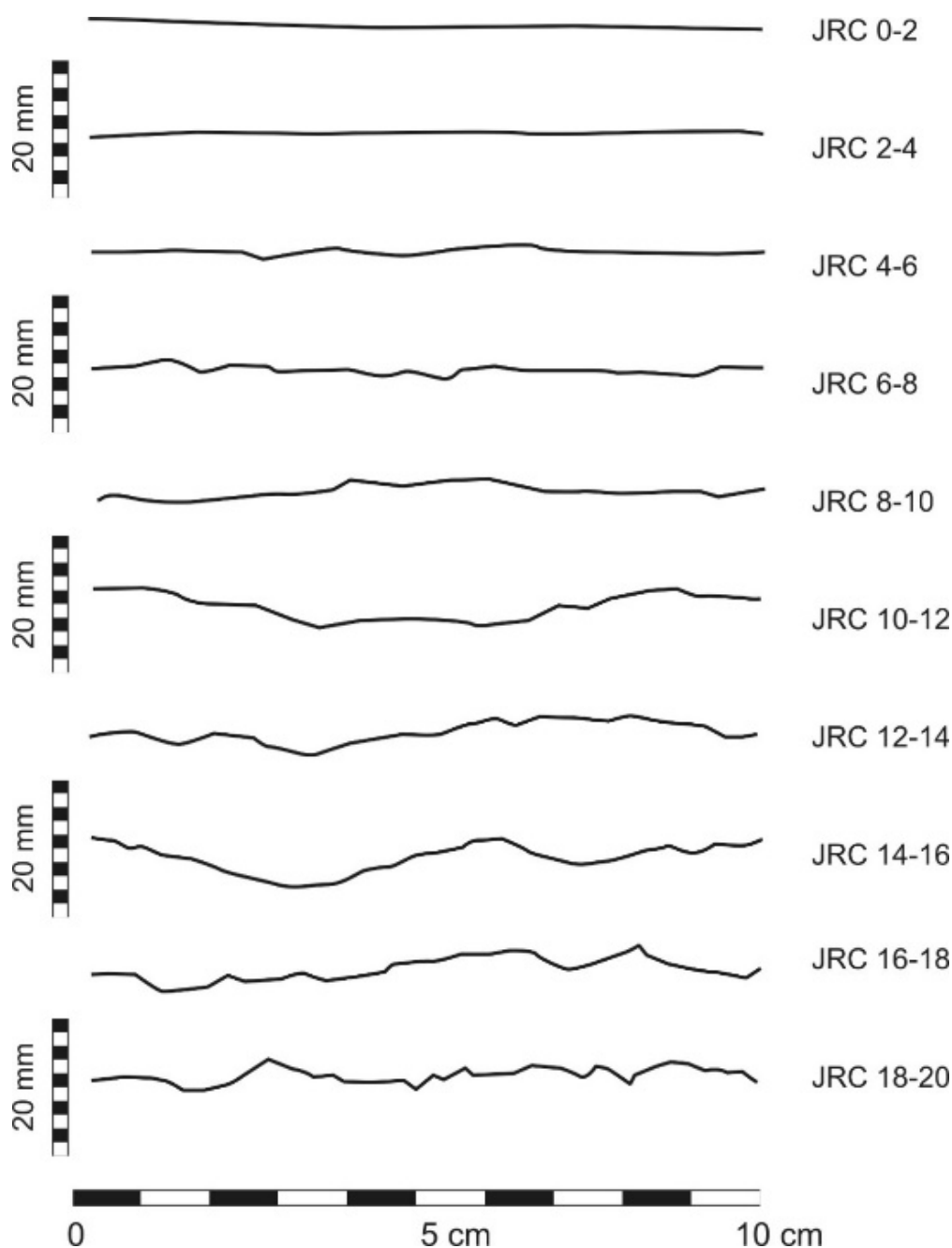
Obr. 2: Vliv sklonu svahů na pohyb kamenů a balvanů a obecný návrh tvaru záchytného příkopu. Vysvětlivky: roll – kutálení, bounce – odraz, fall – pád (FHWA manuál Rock Slopes, 1991)

2.4 Postup průzkumných prací

Dle etapového průzkumu spojeného s činnostmi dalších profesí bylo provedeno zhodnocení stabilitního stavu skalních svahů. V prosinci 2021 proběhla vizuální a fotografická dokumentace na kterou navazoval inženýrskogeologický průzkum. Dále proběhlo stanovení hrubosti a vlhkosti puklin. Současně také proběhlo mapování rozvolněných bloků hornin a svahových sutí.

Popis skalních hornin proběhl podle ČSN P 73 1005 a ČSN EN ISO 14689-1. Vzhledem k délce úseku asi 30 m byl podrobný popis proveden do fotografií a navazujících diagramů. V obrazových přílohách jsou specifikovány nebezpečné a potenciálně nebezpečné bloky, kde hrozí sesutí nebo vypadání. Dále jsou vyznačeny oblasti silně tektonicky dezintegrované horniny, kde dochází k nahodilému vypadávání šterku a místy snad až kamenů.

Klasifikace horninového masivu probíhala podle ČSN EN ISO 14689-1, ČSN P 73 1005. Dále pro průkazné výpočty bylo využíváno metodiky vycházející z Bartonovy klasifikace Tunnelling Quality Index Q (Barton et al. 1974) popisující kvalitu horninového masivu. Bylo používáno zejména parametru Jw pro popis vlhkosti na plochách diskontinuit. Pro hrubost diskontinuit byl využit parametr JRC (Joint Roughness Coefficient), který vstupuje do Bartonova vztahu (Bartona a Choubeye 1977) pro smykovou pevnost na nerovné dilatující smykové ploše, kde JCS je pevnost v prostém tlaku (kterou lze stanovit laboratorně nebo např. Schmidtovým kladívkem).



Obr. 3: Tabulka pro stanovení JRC (Barton and Choubey 1977)

2.5 Analýza rizika skalního řícení

Výsledkem realizovaného inženýrskogeologického a geotechnického průzkumu je analýza rizika.

Jak bylo uvedeno v předešlých odstavcích, svahové nestability jsou rozděleny na 1) saltaci, 2) pád a 3) smyk. Nejnebezpečnější se jeví porušení stability překročením smykové pevnosti na diskontinuitě 3). K tomu dochází obvykle po hladkých plochách. V obecné rovině je sanace ujíždějícího skalního svahu technicky extrémně obtížně řešitelná a finančně nákladná. Nezřídka dochází k situacím, kdy je po technické stránce v některých postižených partiích nemožné uplatnit sanační opatření, nebo lze realizovat sanační opatření za vynaložení značných finančních prostředků, přičemž se může jednat o tak velkou finanční náročnost, že ekonomika neumožní realizaci navržených technických opatření, či je na hraně rentability.

Pády bloků a rozvolněných kamenů je možné řešit mnoha způsoby, kdy nejefektivnější je zabránění pádu odstraněním takového kamene/bloků. Pokud to není možné, potom je možné využívat velkého množství bariér zabraňujícím bloku/kameni v pokračujícím pohybu. Může se jednat o síťové bariéry, bariéry z dřevěných, ocelových případně betonových vertikálních bariér propojených sítěmi, ocelovými lany nebo výdřevami. Vypadávání kamenů ze skalní stěny se řeší jejich odstraněním a předcházením možného rozvolnění podepřením skalního svahu sítěmi, které jsou uchyceny ke skále ocelovými svorníky. Sítě se svorníky tak zvyšují tření mezi jednotlivými bloky a snižují tak riziko pádu.

3. Zhodnocení přírodních poměrů z pohledu geologie a geotechnik

Geotechnické zhodnocení se opírá o zajištěné přírodní poměry, technický stav daného úseku nebo objektu a mechanické vlastnosti zemin, hornin a jejich porušení diskontinuitami. Pro potřeby hodnocení kvality skalní masivu v zářezu byl využit Index RQD (Rock quality designation index). Kvalita horninového masivu byla hodnocena dle indexové klasifikace RMR (Rock mass rating system). Také bylo provedeno stanovení vlhkosti na diskontinuitách - použití parametru J_w (mrznoucí voda silně rozrušuje skalní horninu). Pro hrubost diskontinuit byl využit parametr JRC (Joint Roughness Coefficient), který vstupuje do Bartonova vztahu (Bartona a Choubeye 1977) pro smykovou pevnost na nerovné dilatující smykové ploše. Popisy a klasifikace hornin a diskontinuit jsou obsaženy v příloze 2. Fotodokumentace je v příloze 8.

V rámci průzkumu byl zjištěno skalní podloží a rozkolísaný málo mocný kvartérní pokryv. Pokryvné útvary, převažující deluvia a deluvioeluvia (písky, jemnozrnné štěrky a hlinité písky s úlomky matečných hornin) zatříditelné podle ČSN EN ISO 14688-1,2 jako kypré až středně uhlé zeminy třídy FGr, saGr, grSa, siSa apod., nepravidelně nasedající na zvětralé granity třídy R5 (ČSN P 73 1005) přecházející pozvolně do zcela až silně zvětralých granitů třídy R5/R4 a granitů třídy R3. Celkově lze horninový masiv charakterizovat jako horninu třídy R4-R5 a R3 (ČSN P 73 1005) ač byly zjištěny i polohy s pevností R2 případně i zvětralé třídy R5.

3.1 Výsledek realizace jádrových vrtů

Jádrové DIA vrty byly realizovány za pomoci kotvené elektrické vrtačky s vodním

výplachem. Fotodokumentace je součástí přílohy 7.

Jádrový vrt V1 - 7 m od počátku (od S) odkrytého skalního výchozu; cca 1,3 m nad patou výchozu



Foto 1: Štěrkovitý materiál z rozvrtaného granitu , vrt V1.

0,0 – 0,9 m: Zvětralá PORFYRICKÁ ŽULA, rozvrtáno na štěrk (ostrohranný do 2 cm), písčitá frakce odplavena výplachem

Vz.: odlom skalní až poloskalní horniny (VZ1) a kusový vzorek (ozn. VZ6)

Jádrový vrt V2 -19 m od počátku (od S) odkrytého skalního výchozu; 1,3 m nad patou výchozu



Foto 2: Zdravý až navětralý granit, při povrchu navětralý, vrt V2.

0,0 – 0,1 m: Navětralá PORFYRICKÁ ŽULA

0,0 – 0,8 m: Zdravá až mírně navětralá PORFYRICKÁ ŽULA, bez diskontinuit, jádro rozlámáno v rámci vytahování z vrtu

0,8 – 0,9 m: jádro nevytaženo, zdravá PORFYRICKÁ ŽULA

Vz.: 0,1 – 0,8 m válcová tělesa (VZ2)

Jádrový vrt V3 - 32 m od počátku (od S) odkrytého skalního výchozu; 2,9 m nad patou výchozu

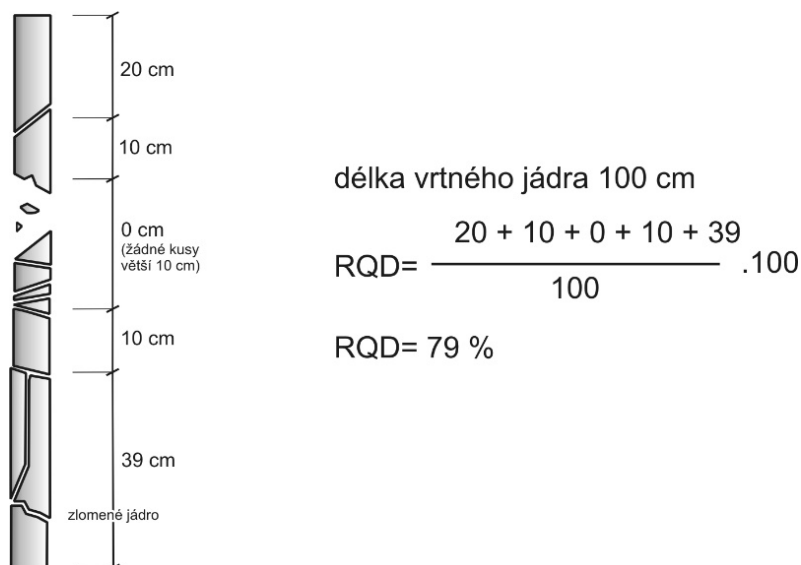


Foto 3: Štěrkovitý materiál z rozvrtaného granitu , vrt V3.

0,0 – 0,9 m: Zvětralá PORFYRICKÁ ŽULA, rozvrtáno na drobný štěrk, písčitá frakce odplavena s výplachem

Vz.: odlom skalní horniny z povrchu výchozu z okolí vrtu (VZ3)

Odběry vzorků z jádrových vrtů pro laboratorní stanovení byly doplněny o odběry vzorků např. odlomem ze skalní stěny: VZ4: odlom balvanu cca 18 m od počátku (od S) odkrytého skalního výchozu; 3,8 m nad patou výchozu a VZ5: nepravidelné úlomky žuly, odlom cca 13 m od počátku (od S) odkrytého skalního výchozu; 2,5 m nad patou výchozu.

**Obr. 4:** Ukázka stanovení RQD.

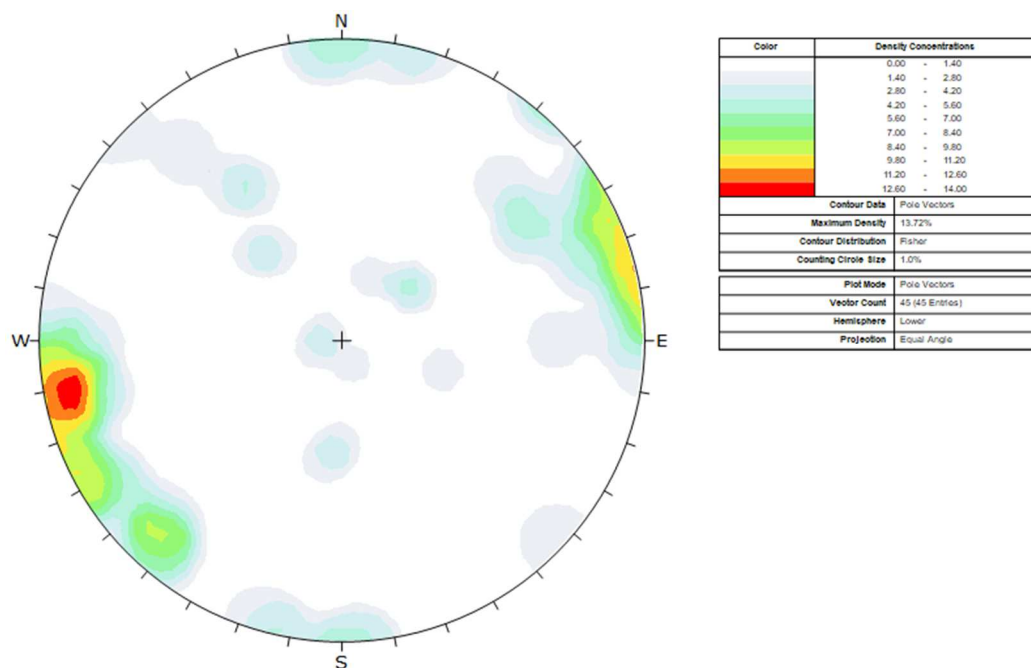
3.2 Stanovení RQD

Parametr RQD stanovuje kvalitu horninového masivu za pomoci provedení jádrového vrtu (obr. 4). Výsledkem je procentuální poměr mezi sumou úlomků větších 10 cm a celkové délky jádra (obvykle 1 m). Výsledné zhodnocení je kvalita horniny RQD je značně variabilní od velmi špatný 0 % (V1, V3) a 76 % vyhovující až dobrý (vrtné jádro V2).

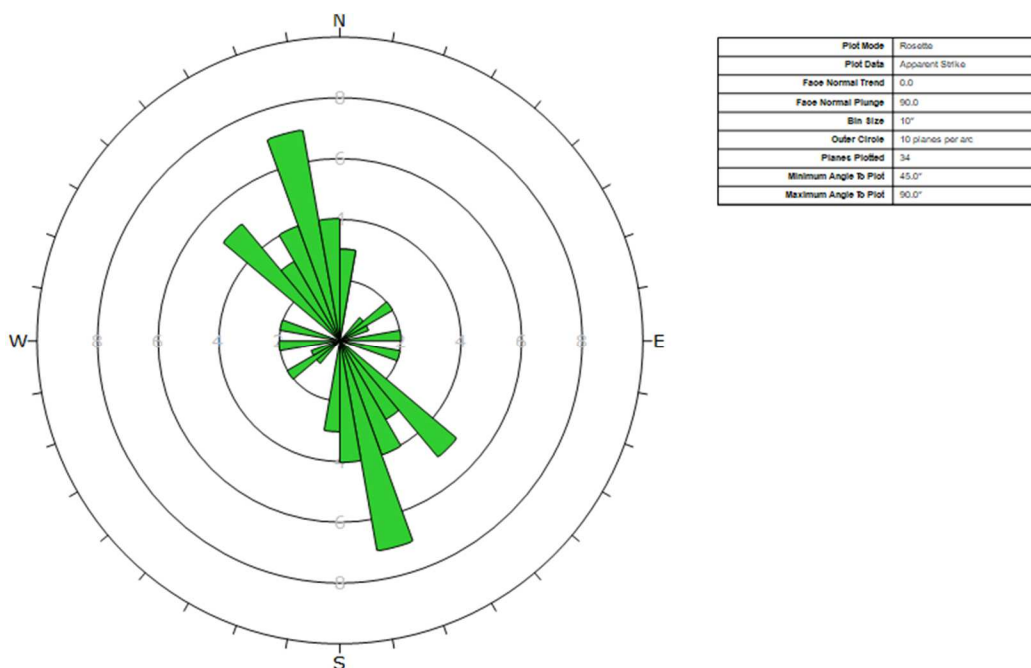
3.3 Tektonická měření

Tektonická měření probíhala geologickým kompasem typu Clarr se stupňovým dělením, kdy získáváme orientaci spádnice pukliny a velikost sklonu pukliny. Orientace je velmi důležitým faktorem pro pevnost horninového masivu a jeho stabilitu. Pokud jsou diskontinuity orientovány nevhodně, dochází k vypadávání bloků, skalnímu řízení nebo sesouvání celých horninových svahů. Orientace diskontinuit měříme geologickým kompasem (obvykle Clarr se stupňovým dělením), kdy měříme ve spádnicovém tvaru orientaci sklonu (azimut = orientace spádnice) orientovanou k severu a velikost sklonu (spádnici). Diagramy zobrazující maxima pólů ploch diskontinuit jsou zobrazeny na spodní polokouli Lambertova zobrazení.

Na relativně krátkém úseku se projevují zejména diskontinuity zejména subvertikální orientace, které jsou spojeny s rozdužením hornin a také navětráním až zvětráním hornin. Diskontinuity jsou bez výplně nebo jsou spjaty s výraznějším zvětráváním hornin.



Obr. 5: Konturový diagram tektonických měření na skalních výchozech (45 měření).



Obr. 6: Přednostní orientace diskontinuit.

3.4 Zhodnocení zvětrání a rozpadu skalních stěn

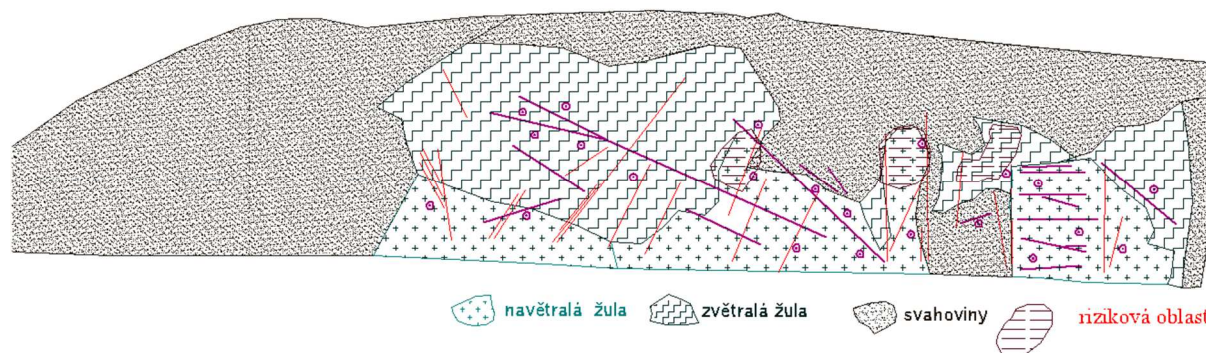
Pro orientační doplnění jádrových vrtů byly provedeny vrty za pomoci vidiové vrtání skalního masívu. Toto vrtání bylo vyhodnoceno jako odvrtná vzdálenost po 10 cm za čas (příloha 7). Vrty byly provedeny do hloubky 1,4 m. V rámci vrtání byly sledovány a kvantifikovány úseky s výrazně vyšší rychlostí vrtání, indikující zvětralou až zcela zvětralou horninu. Dále byl sledován výskyt diskontinuit, příp. podrcených struktur uvnitř skalního masívu v dosahu vrtání. Získané výsledky jsou

přehledně uvedeny v následující tabulce 1. Umístění vidiových vrtů je patrné z přílohy 1, přílohy 7 a fotografická dokumentace je součástí přílohy 8 (foto 4-8).

Sonda	Popis horniny	Celkový čas (s)	Hloubka (cm)	Průměrná rychlost vrtání (m/s)	Pozn.:
D1	zvětralý granit	255	140	0,006	
D2	zvětralý granit	212		0,008	
D3	povrchově navětralý granit	406		0,004	diskontinuita tl. cca 2 cm v hl. 0,8 m
D4	navětralý granit se zvětralými polohami	449		0,003	
D5	zvětralý granit	195		0,008	
D6	povrchově zvětralý granit	450		0,003	

Tab. 1: Přehled výsledků sondování vidiovým vrtem.

Z vrtného průzkumu (příloha 6) vyplývá, že zastižená skalní hornina je ve „**zvětralých částech**“ zvětralá až do hloubky 1,4 m, horniny povrchově navětralé jsou povrchově zvětralejší do hloubky pouze okolo 0,1 m. Místy byly zachyceny diskontinuity zabíhající do skalního masívu, které se projeví výrazným snížením odporu při vrtání až propadem nářadí (obsahují zcela rozloženou horninu, příp. rozevřenou puklinu). Plochy v různém stupni zvětrávání jsou schematicky vyznačeny v příloze 2.



Obr. 7: Schematické rozdělení skalního svahu na plochy, zvětralého granitu, navětralého granitu, svahoviny a rizikových oblastí.

Na odkrytých částech výchozu byly zjištěny dva systémy ploch nespojitosti a náhodně se vyskytující plochy diskontinuit. Rozteč diskontinuit se průměrně pohybovala ve vzdálenostech vyšších jak 2 m. Lokálně byly zastiženy diskontinuity s roztečí 0,7 – 1,9 m, místy 4 – 17 cm. Stálost (průběžnost) ploch nespojitosti se jeví střední (3 – 10 m), místy malá (1 – 3 m). Tvar horninových bloků skalní stěny můžeme dle ČSN EN ISO 14689-1 zařadit do kategorie hranolovité bloky. Bylo hodnoceno rozevření diskontinuit definované jako svislá vzdálenost mezi dvěma plochami diskontinuit. Zjištěny byly diskontinuity uzavřené těsné až z části otevřené a při povrchu v místech vyšší míry zvětrávání se pak vyskytují pukliny otevřené velmi široké, bez výplňové hmoty.

3.5 Měření skalního masívu Schmidovým tvrdoměrem

Jedná o nedestruktivní metodu, která se primárně používá pro zkoušení betonu. Zkouší se pevnost tak, že nedojde k porušení materiálu. Vyhodnocení je třeba provést za pomoci doplňkových zkoušek měření prostého tlaku (destruktivně) na zkušebních tělesech tvaru krychle f_{ck} (pro naše účely válec, v MPa). Tvrdost každého materiálu je definována odporem zkoušeného materiálu vůči plastické deformaci. Bez kalibrace výsledků se jedná pouze o nezaručené pevnosti (např. ČSN 73 1370, ČSN 73 1373). Princip metody je stanovení pružné odezvy betonu – je to odrazová metoda. Přístroj zasáhne beton definovanou energií a hodnota odrazu je závislá na tvrdosti betonu.

Výsledkem jsou orientační stanovení pevnosti v prostém tlaku in situ, pro potřeby klasifikačních metod hodnotících stabilitu skalních stěn.

$$f_{ck} = 2,77e^{0,048Q} \quad \text{kde } Q \text{ je odrazový koeficient}$$

Interpretované hodnoty pevnosti v prostém tlaku se pohybují v rozmezí 1 – 3 Mpa pro zvětralé části hodninového masívu a 10 – 40 MPa pro partie mírně zvětralé. Naměřené hodnoty Schmidovým tvrdoměrem ve stěně jsou tabelárně uvedeny v příloze 4.

3.6 Stanovení pevnosti hornin v prostém tlaku

Analýzy měření pevnosti v prostém tlaku byly stanoveny na vývrtech přímo ze skály nebo na kamenech a balvanech vylomených ze skalní stěny. Postup proběhl podle ČSN EN 1926. Zkoušky byly provedeny na válcích a na nepravidelných tělesech v laboratoři mechaniky hornin GEOTestu, a.s. (příloha 3). Jedná se o výsledky, které jsou použitelné pouze pro skalní horninu s RQD > 10 %.

Pro vyhodnocení výsledků je možné použít následující vztahy, kdy je doporučeno využít nižší hodnoty.

$$f_{ck,is} = f_{m(n)} - 1,48 \times s$$

$$f_{ck,is} = f_{is,nejmenší} + 4,$$

kde $f_{ck,is}$ je charakteristická hodnota pevnosti ve stěně

$f_{m(n)}$ je aritmetický průměr pevnosti v prostém tlaku

$f_{is,nejmenší}$ je nejnižší výsledek zkoušky v prostém tlaku

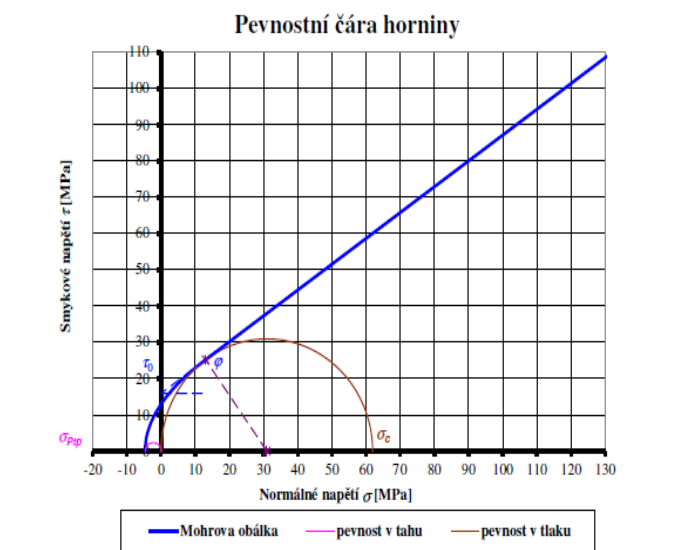
s je směrodatná odchylka

$f_{is,nejmenší} = 52,5$ MPa, potom $f_{ck,is} = 56,5$ MPa, což je podle normy ČSN P 73 1005 odpovídá hornině R3. Na navětralých vzorcích byla stanovována pevnost vzorků ve střihu, kde zjištěné $T_0 = 1,5$ MPa. Nutné je však vzít v úvahu i výsledky zcela zvětralých hornin, které byly testovány ve krabicovém smykovém přístroji kde $T_0 = 0,1$ MPa, což klasifikaci horniny posouvá až R6.

3.7 Stanovení vrcholové smíkové pevnosti hornin

Z jádrových vrtů a především odlomem ze skalní stěny byly odebrány vzorky hornin, aby bylo možné stanovit smykovou pevnost. Vrcholové parametry úhlu vnitřního tření se na základě laboratorních analýz (laboratoř Projekce iGEO s.r.o.) pohybují v rozmezí $\varphi_0 = 37 - 40^\circ$ a vrcholové parametry soudržnosti mezi $T_0 = 106 - 108$ kPa při přirozené objemové tíze $16,3 - 20,8$ kN.m⁻³ (laboratorní analýzy jsou součástí přílohy 3).

Zdravé až navětralé horniny byly testovány na pevnost v prostém tlaku a v příčném tahu. Výsledkem je Mohrova obálka definovaná úhlem vnitřního tření $\varphi_0 = 35,5^\circ$ a průmětem do osy y $T_0 = 15,95$ MPa (viz obr. 8).



Obr. 8: Výsledky testování navětralé horniny v prostém tlaku a příčném tahu

Jedná se o výsledky testování pevnosti ve střihu na nepravidelných tělesech. Zkoušky byly provedeny v laboratoři mechaniky hornin GEOtestu, a.s. Metodika byla použita z publikace Metodiky laboratorních zkoušek v mechanice zemin a hornin, část III – mechanika hornin. – ČGÚ, Praha (1987). Na základě vyhodnocení lze uvažovat nad parabolickou Mohrovou obálkou, kdy pro velmi nízká napětí dosahuje vrcholová soudržnost $T_0 = 0,5 \text{ MPa}$ s úhlem vnitřního tření $\varphi_0 = 65^\circ$. Pro normálové napětí 5 MPa je $T_0 = 1,52 \text{ MPa}$ s úhlem vnitřního tření $\varphi_0 = 39,79^\circ$. Objemová tíha $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$. Výsledky viz příloha 3.

3.8 Zhodnocení skalního masivu pomocí RMR

Bienawského klasifikační systém RMR (Rock Mass Rating) je moderní a velmi vhodnou klasifikační metodou pro projekci podzemních staveb. Metoda je založena na posouzení šesti dílčích klasifikací. Klasifikace je uvedena v tabulce 3. Každá dílčí klasifikace popisuje vlastnosti horninového masivu udávající každé vlastnosti určitý počet bodů. Body za prvních pět klasifikací (pevnost v prostém tlaku, RQD, hustota, diskontinuit, charakter ploch nespojitosti, vliv podzemní vody) se sčítají, od získaných bodů odečítáme body získané vyšetřením orientace diskontinuit (pro výpočet posuzujeme neméně vhodně orientovaný systém). Horninový masiv se reálně může výrazně měnit, mohou zde být přítomny významné zóny drčení, může docházet ke střídání různě pevných hornin a hornin různých genezí, časté mohou

být i přítoky podzemní vody. Na základě provedených analýz je kvalita horninového masivu hodnocena jako převažující špatná, lokálně dobrá (viz. tab. 2).

Sonda	V1	V2	V3
Jw	1	1	1
RQD	0-10	60	0-10
RMR	30-40 špatná	73 dobrá	30-40 špatná
JRC	2-4	2-4	2-4

Tab. 2: Přehled klasifikačních parametrů.

3.9 Ověření průběhu povrchu skalního podloží – DPL mimo hlavní zkoumanou stěnu

Dynamické penetrační sondování proběhlo v místech mimo skalní výchoz, kde byla zkoumána mocnost pokryvných útvarů a zvětralin. Testování proběhlo za pomoci lehké penetrační sondy, která se zastavila na rozhraní zvětralé skalní horniny R6/R5. Vyhodnocení dynamického penetračního sondování je obsahem přílohy 6, umístění sond je zaznačeno do situace (příloha 1).







Byla provedena a zadokumentována mělká kopaná sonda (KS1) pro ověření charakteru svahovin. Zastiženy byly svahoniny (příp. antropogenně přemístěné) charakteru kyprého až středně ulehlého šterk hlinito-písčitého, místy šterku. Dokumentace kopané sondy je součástí přílohy 6 a umístění je patrné v příloze 1.

3.10 Mechanické vlastnosti skalního svahu pro výpočet

V softwaru RocLab 1.0 byl sestaven model skalního svahu podle metodiky Hoek-Brown (obr. 8). Z Mohrovy obálky - parabolické závislosti normálového napětí na tečném - při porušení pro $\sigma_n = 300$ kPa byla stanovena vrcholová smyková pevnost pro model Mohr-Coulomb $\varphi_{ef} = 40^\circ$ a $c_{ef} = 100$ kPa (obr. 9).

3.11 Seismicita

Seizmicita 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 $ag_R = 0,04g$. Jako převažující typ geologického podloží dle tabulky 3.1. byl stanoven typ A, s hodnotou součinitele pružné odezvy typu 2 (Čechy): $S = 1,0$. Třída významu stavby dle tabulky 4.3. byla doporučena I, s hodnotou součinitele významu stavby $\gamma_I = 0,8$. Součin $ag_S = ag_R \cdot S \cdot \gamma_I$ by tak byl teoreticky roven hodnotě $0,06 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,048g$. V souladu s článkem národní přílohy NA 2.8 jsou za případy velmi malé seizmicity považovány ty, kdy hodnota $ag_S \leq 0,05g$. V takových případech není nutné pro návrh konstrukce uvažovat její seizmické zatížení. Protože uvedená prahová hodnota seizmického zrychlení ag_S nebyla překročena, není nutné projekt posuzovat také dle normy ČSN EN 1998-1. Tento závěr je ve shodě s ustanovením, že pro případy třídy významu I není seizmické posouzení nutné.

GSI - INDEX GEOLOGICKÉ PEVNOSTI PORUŠENÝCH HORNIN (Hoek a Marinos, 2000)		POVRCHOVÉ PODMÍNKY				
Z litologie, struktury a vlastností povrchu diskontinuit popiš průměrné vlastnosti GSI. Není nutné být příliš přesný, doporučuje se využití intervalů (např. GSI 33-37). Tato tabulka se netýká významných tektonických poruch, tyto mají často nevhodné orientace k odkryté ploše, tyto plochy potom častokrát převažují ve vlivu na smykovou pevnost. Zhoršování podmínek má také obsah vody a jeho změny. Při práci s velmi rozloženými rozpadavými horninami je přiblížení k mokřým podmínkám doporučená cesta k hodnocení. Pórové a hydrodynamické tlaky jsou svázány s efektivní napjatostní analýzou (smykové pevnosti).		STRUKTURA				
		VELMI DOBRÉ hrubé nezávětralé povrchy	DOBŘE hrubé povrchy, lehce navětralé, pokryté limonitem	UCHÁZEJÍCÍ hladké povrchy, středně závětralé a přeměněné	ŠPATNÉ ohlazené, vysoce závětralé povrchy s rozdrčenou horninou jako výplní	VELMI ŠPATNÉ ohlazené povrchy, vysoce závětralé, plochy pokryté jílem nebo měkkou výplní
	NEPORUŠENÉ NEBO MASIVNÍ s málo nebo velmi vzdálenými diskontinuitami	90	80	70	60	X
	BLOKOVITÝ ROZPAD hornina je rozpadena na bloky různých velikostí složených ze 3 hlavních orientací diskontinuit	80	70	60	50	40
	VELMI BLOKOVITÝ ROZPAD hornina se rozpadá na větší a menší bloky a ostrohranné klasty složené ze 4 a více směrů	70	60	50	40	30
	BLOKOVITÝ/PODRČENÝ ROZPAD hornina obsahuje různé vrstvy, které jsou zvrásněny, některé vrstvy jsou porušeny mnoha systémy diskontinuit	60	50	40	30	20
	ROZDRČENÁ HORNINA silně porušená hornina rozpadající se na ostrohranné i zaoblené klasty	50	40	30	20	10
	LAMINOVANÁ/SMYK. PORUŠENÁ hornina je tvořena tenkými lamínami vrstevnatostí nebo tektonické kliváže, velmi úzká rozteč ploch	X	40	30	20	10

Obr. 8: Nomogram pro stanovení Indexu geologické pevnosti GSI (podle Hoeka a Marinose, 2000)

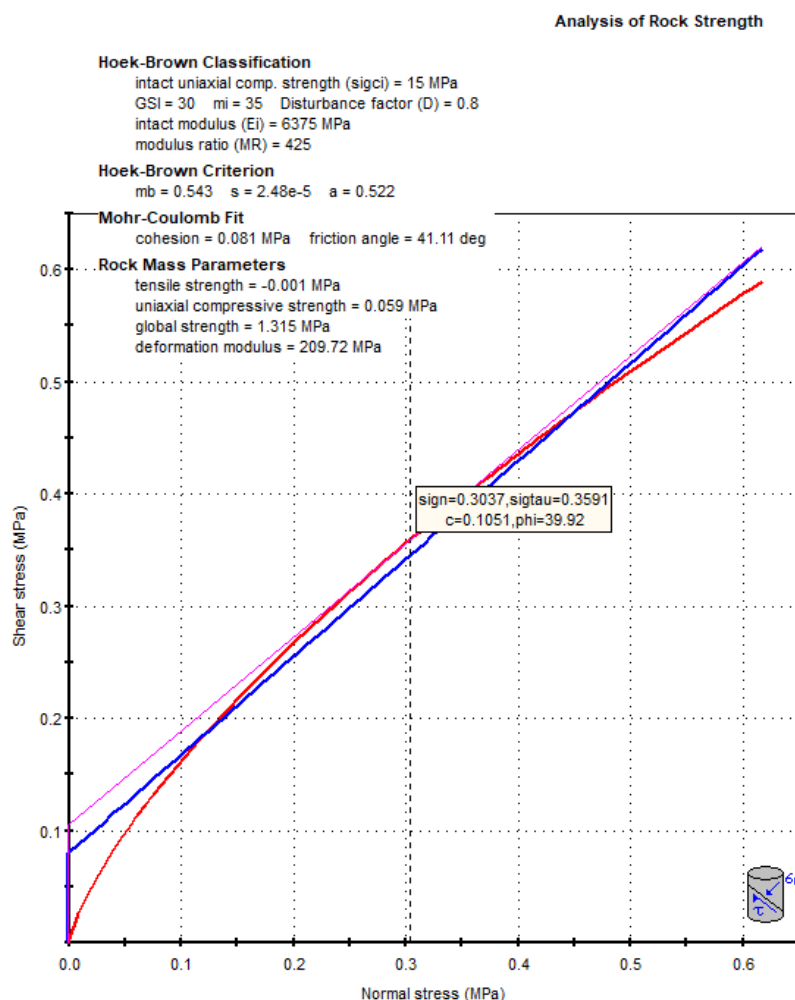
4. Závěr

Na základě objednávky od statutárního města Liberec byl proveden inženýrskogeologický průzkum skalní stěny a nejbližšího okolí v prostoru mezi ul. Hradební a Dr. Milady Horákové v Libereci na pozemcích p. č. 40/1 a 42/1, k. ú. Horní Růžodol. Jednalo se o provedení jádrových (3 ks) i nejádrových vrtů (6 ks), odběrů vzorků na testování mechanických vlastností hornin a provedení tektonických měření diskontinuit, doplněných o lehké dynamické penetrace (6 bm) a kopanou sondou (1 ks). Zjištěné podklady byly vyhodnoceny podle několika modelů a klasifikací (Mohr-Coulomb, Hoek-Brown, Bienawski). Podrobnosti jsou uvedeny v textu a zejména v přílohách.

- Současné svahy jsou stabilní až podmíněčně stabilní a nedochází k významným opadům kamenů. Stupeň stability byl odhadnut na větší než 1,1. Je nutné rozlišovat zcela závětralou horninu charakteru lehce soudržného štěrku a horninu hodnocenou pevností v prostém tlaku jako R2. Závětralá hornina dosahuje stability $FS = 1,0-1,15$. Navětralá až zdravá $FS > 1,5$
- Odkrytá hornina (granit) je na povrchu závětralá až mírně závětralá a směrem do hloubky se jeví přibližně konstantní nebo pomalu narůstající pevnosti.

Celkově lze horninový masiv charakterizovat jako horninu třídy R4-R5 a R3 (ČSN P 73 1005) ač byly zjištěny i polohy s pevností R2 případně i zvětralé třídy R5.

- Kvalita horninového masivu byla stanovena za pomoci klasifikace RMR. Granity jsou nepříliš tektonicky porušené, mírně zvětralé až zvětralé vykazující variabilní RQD 0 - 76 % a navazující RMR s maximem 73 % u mírně zvětralých partií až 30 - 40 % u silně zvětralých částí skalního výchozu. Slovní hodnocení horniny je špatná až dobrá kvalita.
- Diskontinuity mají povrch rovinný hladký a nejsou vyhlazené, vzdálenost diskontinuit převažuje velká až velmi velká, jsou sevřené až částečně otevřené, lokálně široké spjaté s vyšším stupněm zvětrávání (ČSN EN ISO 14689-1). Koeficient JRC se pohybuje mezi 2 - 6.
- Byly rozpoznány asi 2 systémy diskontinuit o orientaci 335/80-90, 155/80-90 a 90/80-90. Orientace jsou přibližně kolmé na směr skalního výchozu. Také byly analyzovány nejnebezpečnější převísle hranolovité bloky, co mohou odpadnout ze stěny.



Obr. 9: Mohrova obálka vrcholové smykové pevnosti zvětralého skalního masivu (Hoek-Brown, Mohr-Coulomb)

- Pro horninový masiv byla pomocí Hoek-Brown kritéria a průkazných laboratorních analýz stanovena smyková pevnost Mohr-Coulomb $\phi_0 = 40^\circ$ a $c_{ef} = 105$ kPa stanovený úhel vnitřního tření se blíží poznatku z laboratoře (obr. 9). Objemová tíha byla stanovena v laboratoři na $\gamma = 25$ kN/m³. tyto vlastnosti jsou doporučeny pro statické výpočty stability svahu. Zvětrávání skalní horniny se projevuje snižováním soudržnosti (pevnosti ve střihu).
- Podzemní voda nebo voda tekoucí po skalní hornině nebude působit agresivně na beton (ČSN EN 206+A1)
- Seismická byla posuzována dle ČSN EN 1997-1 a dle NA.2.8 není nutné její aplikaci do výpočtů

Doporučení

- Skalní stěnu bude potřeba připravit očištěním skalního svahu od náletových dřevin a travního pokryvu. Současně s tím budou sneseny nesoudržné svahoviny, rozvolněné kameny,
- bude nutné odstranit převislé bloky,
- skalní stěnu bude vodně stabilizovat stříkaným betonem vyztuženým KARI sítí, aby nedocházelo k vysypávání štěrku vypadávání kamenů. Současně bude nutné stěnu dočasně vyztužit horninovými kotvami. Stěna může být zajištěna za pomoci nepředepnutých ocelových kotev (tzv. hřebíků). Počítá se zajištěním pomocí KARI sítí, stříkaného betonu a 3, nebo 4 řad hřebíků.
- bude vhodné uvažovat nad umístěním perforovaných horizontálních a vertikálních odvodňovacích prvků obalených filtrační geotextilií, které budou umístěny na rub stříkaného betonu.

V Brně dne 12.12.2021

Vypracovali:

Mgr. Josef Víšek

odborná způsobilost v inženýrské geologii a hydrogeologii 2483/2021

RNDr. Mgr. Ivan Poul, Ph.D., GIPENZ

autorizovaný inženýr pro geotechniku, č.a. 1005148

PŘÍLOHY: