




DOKUMENTACE PRO VYDÁNÍ SPOLEČNÉHO POVOLENÍ

STAVEBNÍK: ZOO Brno a stanice zájmových činností, příspěvková organizace U Zoologické zahrady 46 635 00 Brno		RAZÍTKO
--	---	---------

GENERÁLNÍ PROJEKTANT: GEOSTAR, spol.r.o. Tuřanka 240/111 627 00 Brno		RAZÍTKO
Hlavní inženýr projektu: Ing. Karel Zdražil, CSc.		
Č. ZAKÁZKY 22.0644		

PROJEKTANT STAVEBNÍ ČÁSTI ATRENO Mosty, s.r.o. Na Bystřičce 740/26 779 00 Olomouc		RAZÍTKO
Zodpovědný projektant Ing. Lenka Zapletalová		
Č. ZAKÁZKY 2303		

Výškový systém Bpv
Souřadnicový systém S-JTSK

HLAVNÍ INŽENÝR PROJEKTU	ING. KAREL ZDRAŽIL, CSc.			
ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT	ING. KAREL ZDRAŽIL, CSc.			
VYPRACOVAL	MGR. ADAM ZACHAR, Ph.D. ING. ANDREA STOKLÁSOVÁ			
KONTROLOVAL	ING. JAROSLAV HAUSER, CSc.			
KRAJ: JIHMORAVSKÝ	OKRES: BRNO – MĚSTO	K.Ú.: BYSTRČ	DATUM	06/2023
AKCE: SANACE SVAHOVÉ NESTABILITY V AREÁLU ZOO BRNO			FORMÁT	
			MĚŘÍTKO	
			ÚČEL	DUSP+PDPS
			ČÍS. ZAKÁZKY	22.0644
PŘÍLOHA: INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM			ČÍS. SOUPRAVY	ČÍS. PŘÍLOHY
				E.1

Sanace svahové nestability v areálu ZOO Brno



**Inženýrskogeologický průzkum:
geologické zmapování svahu**

duben 2023

Zak. č.: 22.0644

Výtisk č.:

Název zakázky: ZOO Brno – geologické zmapování svahu

Zhotovitel: GEOSTAR, spol. s r.o.
Tuřanka 240/111, 627 00 Brno
Tel.: 545 221 218
geostar@geostar.cz
www.geostar.cz
IČO: 13690337
DIČ: CZ 13690337

Objednatel: Zoo Brno a stanice zájmových činností, příspěvková organizace
U zoologické zahrady 46
635 00, Brno

Identifikační číslo zakázky: 22.0644

Datum ukončení zakázky: duben 2023

Zpracovali: Mgr. Adam Zachař, Ph.D.
Bc. Tomáš Kopečný

Zodpovědný řešitel: Ing. Jaroslav Hauser, CSc.

.....
razítko a podpis

ROZDĚLOVNÍK

Výtisk č.0 GEOSTAR, spol. s r.o.
Výtisk č.1-3 Zoo Brno, p.o.

Obsah

1	ÚVOD	4
2	METODIKA PROVEDENÝCH PRACÍ.....	5
2.1	Terénní práce	5
3	Přírodní poměry.....	6
3.1	Geologické poměry.....	6
3.1.1	Předkvartérní podloží	6
3.1.2	Kvartérní pokryv.....	8
4	Strukturní znaky horninových diskontinuit.....	9
4.1	Vzdálenost diskontinuit.....	9
4.2	Drsnost diskontinuit	10
4.3	Otevřenost diskontinuit	10
4.4	Výplň diskontinuit.....	11
4.5	Blokovitost skalního svahu	12
4.6	Poloha diskontinuit v prostoru	14
5	ZÁVĚR.....	16
6	POUŽITÁ LITERATURA	17

Přílohy

Příloha 1 Podrobná situace

Příloha 2 Laboratorní rozbor zemin

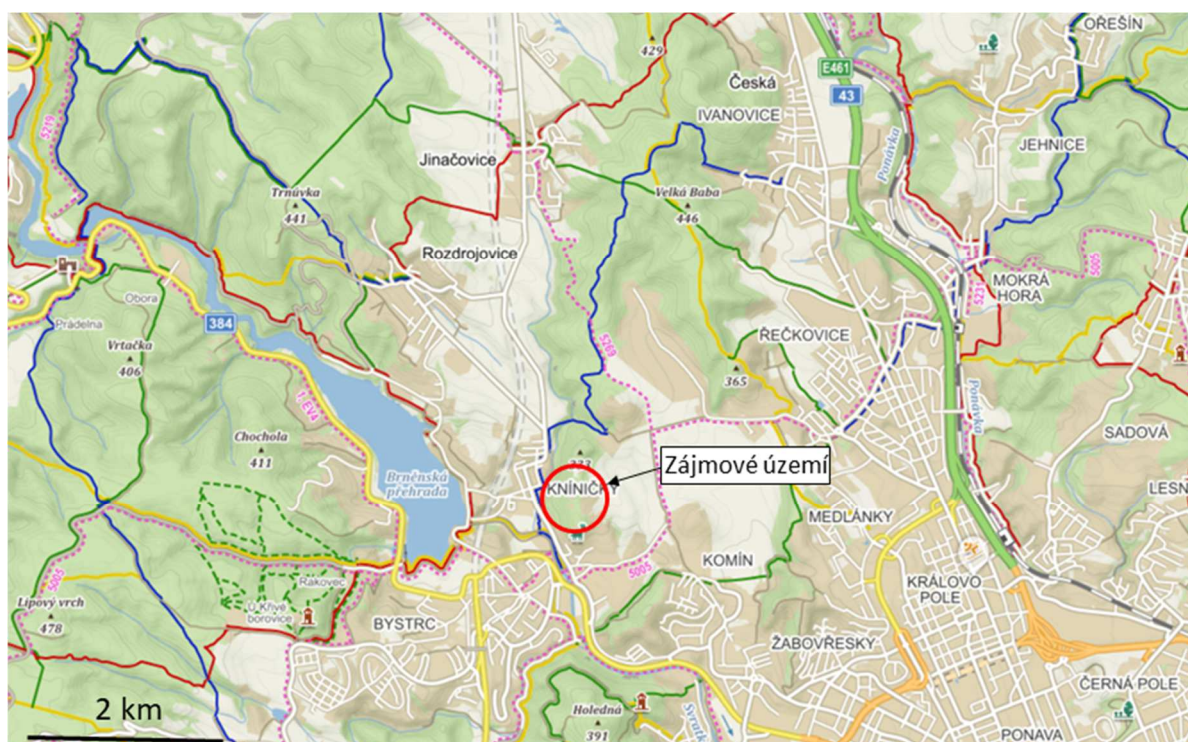
Příloha 3 Fotodokumentace

Příloha 4 Stabilitní posouzení stávajícího svahu

1 ÚVOD

Na základě objednávky firmy *ZOO Brno a stanice zájmových organizací, příspěvková organizace*, provedla firma *Geostar, spol. s r.o.* inženýrskogeologický průzkum pro akci „ZOO Brno – geologické zmapování svahu“. Cílem průzkumu bylo zmapovat a zdokumentovat porušení umělého zářezu ve skalním svahu za voliérou orla východního. Důraz byl kladen na strukturní znaky skalních diskontinuit (puklin) – vzdálenost, hustota, drsnost, otevřenost, výplň a sklony puklin. Rozsah průzkumu vycházel z požadavku objednatele. Objednatel dodal situaci zájmového území. Umístění zájmového území je patrné z obrázku 1 a detailnější pohled v **příloze č.1**.

Obr. 1: Umístění zájmového území (zdroj: mapy.cz, upraveno).



2 METODIKA PROVEDENÝCH PRACÍ

Rozsah průzkumu vycházel z požadavku objednatele. Na popisy skalních svahů byly použity termíny uvedené v platných normách (ČSN EN ISO 14689 = ČSN 72 1005 a ČSN 73 1001). Popisované skalní svahy byly rozděleny na dvě dokumentované části – část A s jedním úsekem (vlevo od voliéry) a část B s dvěma úseky (voliéra a vpravo od ní).

Skalní svah v části A je 14 m dlouhý a 6-8 m vysoký, v části B je 20 m dlouhý a 2-8 m vysoký. U skalního svahu byly zjišťovány a popisovány následné strukturní znaky puklin: směr, sklon, drsnost, otevřenost, výplň, vzdálenost puklin. Pro přehlednost byl provedena fotografická dokumentace a terénní zákresy situace: přibližný geologický profil sedimentární sekvencí v části A a dokumentace křížení žilných hornin v úseku 2 části B. Ku tektonickým měřením byl použit geologický kompas typu Freiberg.

2.1 Terénní práce

Řešený skalní svah se nachází ve městě Brně, v městské části Bystrc. Jedná se o umělý skalní zářez orientovaný ve směru SV-JZ, v době průzkumu o rozměrech 40 m (délka) a max. 8 m (výška). Řešený skalní svah byl v době IG průzkumu rozdělen na 2 části (A, B).

Části A odpovídá jeden úsek (viz příloha č.2), část B byla rozdělena na 2 úseky. Skalní svah je tvořen silně tektonizovanými (meta)diority, v části B byla zjištěna žíla ryolitu. Na tyto horniny nasedají říční terasy řeky Svatky, na nichž spočívají balvanité sutě. Svrchní partie výchozu je tvořena písčitými hlínami s kořeny stromů. V rámci terénních prací byly na lokalitě změřeny vzdálenosti mezi puklinami, šířky puklin a sklony puklin. Dále byla přibližně stanovena drsnost puklin a popis výplně puklin.

Z části A, nejvíce tektonicky postižené, byly odebrány vzorky puklinové výplně z vertikální pukliny přibližně V-Z směru (vzorek č.1) a vzorek jemnozrnných zemin z hloubky 1,5 m pod povrchem, reprezentující spodní část říční terasy (vzorek č.2).

Během terénních prací nebyla zastižena hladina podzemní vody.

3 Přírodní poměry

3.1 Geomorfologické poměry

Podle geomorfologického členění ČR (Národní geoportál INSPIRE) náleží zájmové území k následujícím jednotkám:

Tabulka 1: Začlenění dle geomorfologického systému.

Začlenění dle geomorfologického systému		
SYSTÉM	Hercynský	
PROVINCIE	Česká vysočina	
SUBPROVINCIE	Česko-moravská soustava	II
OBLAST	Brněnská vysočina	IID
CELEK	Bobravská vrchovina	IID-2
PODCELEK	Lipovská pahorkatina	IID-2B
OKRSEK	Bystrcká kotlina	IID-2B-r

Z hlediska širšího zařazení do orografických celků náleží zájmová oblast do okrsku Bystrcká kotlina (IID-2B-r), podcelku Lipovská pahorkatina (IID-2B), celku Bobravská vrchovina (IID-2), oblasti Brněnská vysočina (IID), subprovincie Česko-moravská soustava (II), provincii Česká vysočina, systému Hercynského.

3.2 Klimatické poměry

Zájmový úsek leží v teplé klimatické oblasti T4 (Quitt et al., 1971) s velmi dlouhým, velmi teplým a velmi suchým létem, přechodné období je velmi krátké s teplým jarem a teplým podzimem. Zima je zde velmi krátká, mírná až mírně chladná, suchá až velmi suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky.

3.3 Geologické poměry

Zájmové území leží v geologické oblasti **Českého masivu**, v geomorfologickém celku Brněnské vrchoviny. Geologická mapa širší zájmové oblasti (obr.2) byla převzata z online dostupné geologické mapy ČGS 1:50 000.

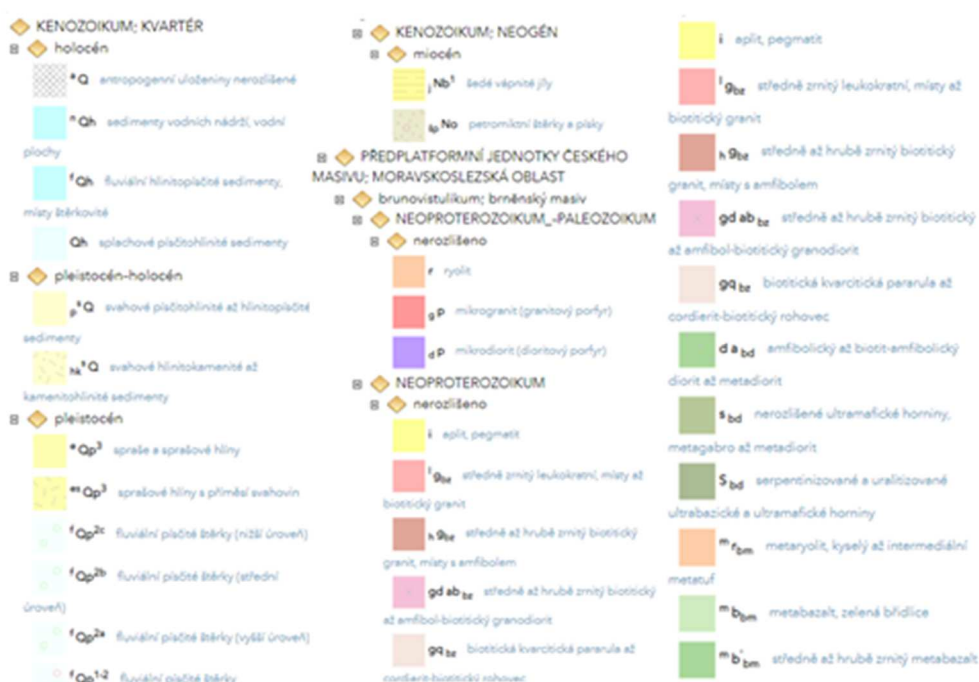
3.4 Předkvartérní podloží

Předkvartérní báze je budována horninami brněnského batolitu náležícímu do regionu brunovistulika.

Podle mapy ČGS 1:25 000 (www.geology.cz) je prostor studované lokality tvořen amfibolickými až biotit-amfibolickými **diority až metadiority**. Makroskopicky jde o středně zrnité, v důsledku rozšířených alterací šedozelené horniny. Vysoký stupeň tektonického postižení způsobuje vznik foliačních ploch až šedomodré barvy a deskovitou odlučnost jinak magmatických hornin. (Meta)diority jsou strmě uloženy

a nasunuty směrem k V. Vzniklé subvertikální plochy jsou vyplněny tektonickou brekcií s jílem a pronikane kořeny vegetace. Přímo ve voliéře orla a jižním okraji úseku B vystupuje z velké části odtěžená žíla **ryolitu** o mocnosti cca 1-2 m, přibližně SSV-JJZ směru. Jedná se o masivní, velmi světlou horninu vytvářející ostře ohraničené bloky, které vystupují také v nejvyšší části skalního svahu ve svahových sedimentech. Mezi tělesem ryolitu a (meta)dioritu je vyvinuta cca 30 cm mocná kataklastická zóna.

Obr.2: Geologická mapa zájmového území (zdroj: www.geology.cz).



3.4.1 Kvartérní pokryv

Geologické mapy ČGS kvartérní sedimenty neuvádějí. Na místě zjištěný sedimentární pokryv je od styku se skalním podložím vyvinut variabilně. V části A je zachována říční terasa štěrkopísčitého charakteru, při bázi lokálně s tmavými jíly a balvany, o mocnosti kolem 1 m. Vysoký stupeň opracování valounů poukazuje na fluvialní původ sedimentů. Nadložní sutě jsou tvořeny balvany (meta)dioritů a ryolitů v písčitohlinité základní hmotě. Svrchní partie profilu pokrývají svahové písčité hlíny a tenká vrstva humózní hlíny. Sedimenty byly v době odběru velmi suché a drolivé. V části B jsou přítomny balvanité sutě a písčité hlíny, směrem k jihu více humózní. Mocnost kvartérního pokryvu je 2-3 m.

3.5 Hydrogeologické poměry

Sledovaná oblast je součástí hydrogeologických rajónů 656 – Krystalinikum v povodí Svratky a 224 – Neogenní sedimenty Dyjsko-svrateckého úvalu (Michlíček et al., 1986).

V krystaliniku má pro naše účely význam svrchní zvodeň vázaná především na kvartérní pokryv, zónu zvětrávání a podpovrchového rozpojení hornin. Hloubka oběhu je dána úrovní místní erozní báze. Hladina podzemní vody je většinou volná a sleduje konformně terén. Nejčastějším způsobem odvodnění mělkého oběhu podzemních vod je skrytý příron do údolních niv, příp. přímo do vodotečí. Uplatňuje se zde propustnost průlinová, která směrem do hloubky přechází v propustnost puklinovou. Dotace svrchní zvodně se uskutečňuje převážně infiltrací atmosférických srážek v širším okolí, v závislosti na míře propustnosti pokryvu a zvětralínového pláště. Oběh podzemních vod je silně rozkolísaný a nepravidelný, s lokální závislostí na petrografickém složení, tektonické predispozici a charakteru kvartérního pokryvu. Neogenní jíly vytvářejí hydrogeologický izolátor. Spraše a sprašové hlíny jsou hydrogeologickým poloizolátorem. Deluviální sedimenty mohou být částečně průlinově propustné v závislosti na obsahu hrubé frakce.

3.6 Svahové nestability

3.6.1 Klasifikace svahové nestability

Prostor zájmové lokality je v mapách svahových nestabilit ČGS evidován jako aktivní svahová nestabilita přírodního původu v Registru svahových nestabilit ČGS v III. kategorii nebezpečí. Tato kategorie je obecně charakterizována přítomností čerstvých tvarů deformace jako trhliny, vyvinutá odlučná stěna, terénní stupně, nakupení hmot apod. Dochází k porušení staveb a komunikací a je třeba neprodleně zahájit sanační práce zahrnující odvodnění a zemní práce. Posléze na základě hodnocení úspěšnosti sanačních prací lze stanovit závěrečná opatření, provázená monitoringem a inženýrsko-geologickým průzkumem.

3.6.2 Charakter vzniku svahové nestability

Ke vzniku popisované svahové nestability došlo po odřezu svahu, kdy bylo obnaženo značně zvětralé skalní podloží. Jeho silná tektonizace je vyvinuta prakticky souhlasně s průběhem linie svahu, čímž

došlo k vysoké destabilizaci skalního masivu. Hluboké poruchy, vyplněné tektonickým jílem, jsou využívány kořeny vegetace, která je tímto dále rozšiřuje a zpřístupňuje pro srážkovou vodu a další klimatické vlivy. Kromě obnažení a destabilizace skalního masivu došlo také k narušení stabilizace nepevněných svahovin, které jsou texturně velmi heterogenní a při vyšším zastoupení písčité složky náchylné zejména na působení srážkových vod. Stupeň antropogenního zavinění je i přes značné přírodní narušení vysoký.

4 Strukturní znaky horninových diskontinuit

4.1 Vzdálenost diskontinuit

Označuje střední nebo modální vzdálenost mezi sousedními diskontinuitami v definovaném systému, určenou v kolmém směru. Vzdálenost mezi diskontinuitami je jedním ze způsobů vyjádření hustoty diskontinuit. Skalní svahy obsahovaly diskontinuity dominantně vertikálního směru.

Tab.1: Terénní měření vzdálenosti mezi sousedními puklinami v části A.

značení úseku	změřené vzdálenosti mezi sousedními puklinami [cm]															průměr měření [cm]
A (vlevo)	110	73	70	52	50	50	46	35	31	30	26	24	23	22	18	27
	16	15	15	14	13	10	10	7	6	5	4	3	2	2	-	
B1 (diorit)	140	115	110	110	90	90	80	70	70	70	58	55	52	50	48	39
	45	43	43	40	35	35	33	32	30	30	27	25	24	22	20	
	20	20	20	18	15	13	11	10	10	8	7	6	6	5	5	
	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
B2 (ryolit)	57	44	32	22	22	18	18	17	16	16	15	10	10	8	8	16
	5	4	4	4	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Z terénních měření vzdáleností mezi sousedními puklinami vyplynulo, že pukliny v části A jsou v (meta)dioritech od sebe průměrně vzdálené 27 cm (29 měření). V případě části B jsou pukliny v (meta)dioritech od sebe průměrně vzdáleny 39 cm (48 měření), kdežto v ryolitech pouze 16 cm (22 měření).

Tab.3: Klasifikace hustoty diskontinuit podle ČSN 72 1005.

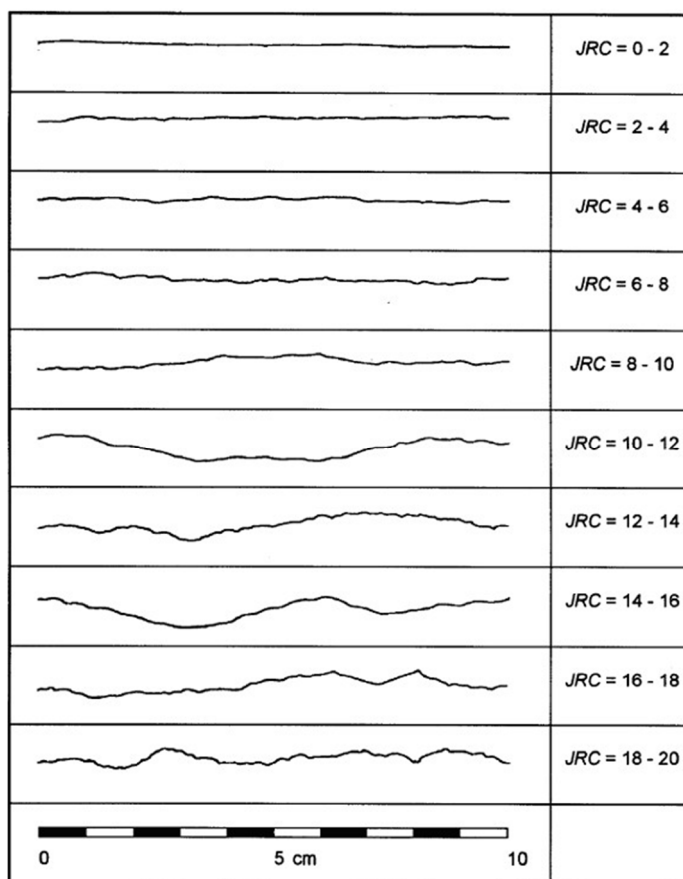
hustota diskontinuit	vzdálenost [mm]
extrémně velká	< 6
velmi velká	20 – 60
velká	60 – 200
střední	200 – 600
malá	600 – 2000
velmi malá	> 2000

Na základě klasifikace hustoty diskontinuit skalního svahu dle ČSN 72 1005 lze charakterizovat hustotu diskontinuit řešeného skalního svahu v případě (meta)dioritů obou úseků jako *střední*. Ryolity z části B vykazují hustotu vyššího stupně, tedy *velkou*.

4.2 Drsnost diskontinuit

Terénní určení drsnosti přírodní pukliny spočívá ve vizuálním srovnání s deseti standardními profily (*obr.3*). Pro tyto standardní profily JRC byly přiděleny hodnoty mezi 0 a 20, po dvou pro každý profil. Tato metoda byla shledána jako vysoce subjektivní a málo spolehlivá, z důvodu neúplné a zkreslené charakterizace morfologie povrchu pukliny.

Obr.3: Profily pro terénní určení koeficientu drsnosti JRC (Barton, N., Choubey, V., 1977).



Na základě vizuálního srovnání puklin skalního svahu s referenčními profily (z *obr.3*) byly přibližně určeny koeficienty drsnosti puklin:

- pro (meta)diority : JRC = 10-12
- pro ryolity : JRC = 2-4 až 4-6

4.3 Otevřenost diskontinuit

Představuje kolmou vzdálenost mezi dvěma povrchy diskontinuity. Zaznamenat a měřit se musí rozsah viditelných otvorů s poznámkou, že maximální otevřenost puklin je důležitější než minimální. Termíny používané pro charakteristiku otevřenosti puklin jsou uvedeny v tab.5 normy ČSN 72 1005.

Tab.4: Terénní měření otevřenosti puklin.

Hornina/úsek	změřené vzdálenosti mezi dvěma povrchy pukliny [mm]										průměr měření [mm]
(meta)diorit/A+B	30	22	20	15	15	15	15	12	11	10	11
	8	8	7	7	7	6	6	4	3	3	
Ryolit/B	20	8	3	2	2	2	1	1	-	-	5
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Terénně změřená otevřenost puklin v (meta)dioritech (pro obě části) se pohybovala v průměru kolem 26 mm a u ryolitu v průměru 5 mm.

Tab.5: Klasifikace otevřenosti diskontinuit podle ČSN 72 1005.

otevřenost diskontinuit	šířka [mm]
velmi malá	< 0,1
malá	0,1 – 0,25
středně malá	0,25 – 0,5
středná	0,5 – 2,5
středně velká	2,5 – 10
velká	10 – 100
velmi velká	100 – 1000
extrémně velká	> 1000

Změřenou otevřenost diskontinuit v případě (meta)dioritů klasifikujeme jako *velkou*, v případě ryolitů jako *středně velkou*.

4.4 Výplň diskontinuit

Pokud je materiál mezi povrchy diskontinuity, musí být identifikován a popsán. Uvedené horniny jsou ve všech úsecích silně porušené a v případě (meta)dioritů i zvětřelé, což zvyšuje množství výplně puklin. Pukliny jsou nejčastěji subvertikální až vertikální a ve většině případů jsou vyplněny tektonickým jílem (hnědý i bílý barvy) nebo brekcí silně alterované horniny. Výplň nejmocnější diskontinuity, 30 cm mocné tektonické zóny mezi (meta)diority a ryolitem, má charakter zbřidličnatělé horniny zvětrávající na drobné úlomky s drobně zrnitou frakcí. V ryolitu byla zjištěna až 2 cm mocná křemenná žíla rozpadající se na 1-3 cm velké ploché úlomky.

Odebrané vzorky zeminy z části A vykazují tyto parametry: výplň 1-5 cm mocné poruchy vertikálního směru byl laboratorně vyhodnocena jako písek hlinitý (1); zemina z kvartérního profilu jako jíl písčité (2). V *tab.6* jsou uvedeny odvozené geotechnické charakteristiky pro laboratorně stanovené typy zeminy (příloha č.3). Křivku zrnitosti znázorňuje *obr. 4*.

Tab.6: Geotechnické charakteristiky odebraných zemin..

Číslo vzorku	1	2
zatřídění dle ČSN 73 6133	S4 SM	F4 CS
objemová tíha γ [kNm ⁻³]	18,0	18,5
vlhkost W [%]	5,70	4,80
mez tekutosti W_L [%]	34,90	35,90
mez plasticity W_P [%]	24,10	19,70
index plasticity I_P [%]	10,80	16,20
stupeň konzistence I_c [–]	2,70	1,49*
konzistence	tvrdá	pevná
třída těžitelnosti dle ČSN 73 6133	I	I
namrzavost	NN	NN
efektivní úhel vnitřního tření ϕ_{ef} [°]	29	25
efektivní soudržnost C_{ef} [kPa]	5	26
totální úhel vnitřního tření ϕ_u [°]	-	5-14
totální soudržnost C_u [kPa]	-	70-80
Poissonova konstanta ν [–]	0,30	0,35
modul deformace E_{def} [MPa]	10,00	18-26

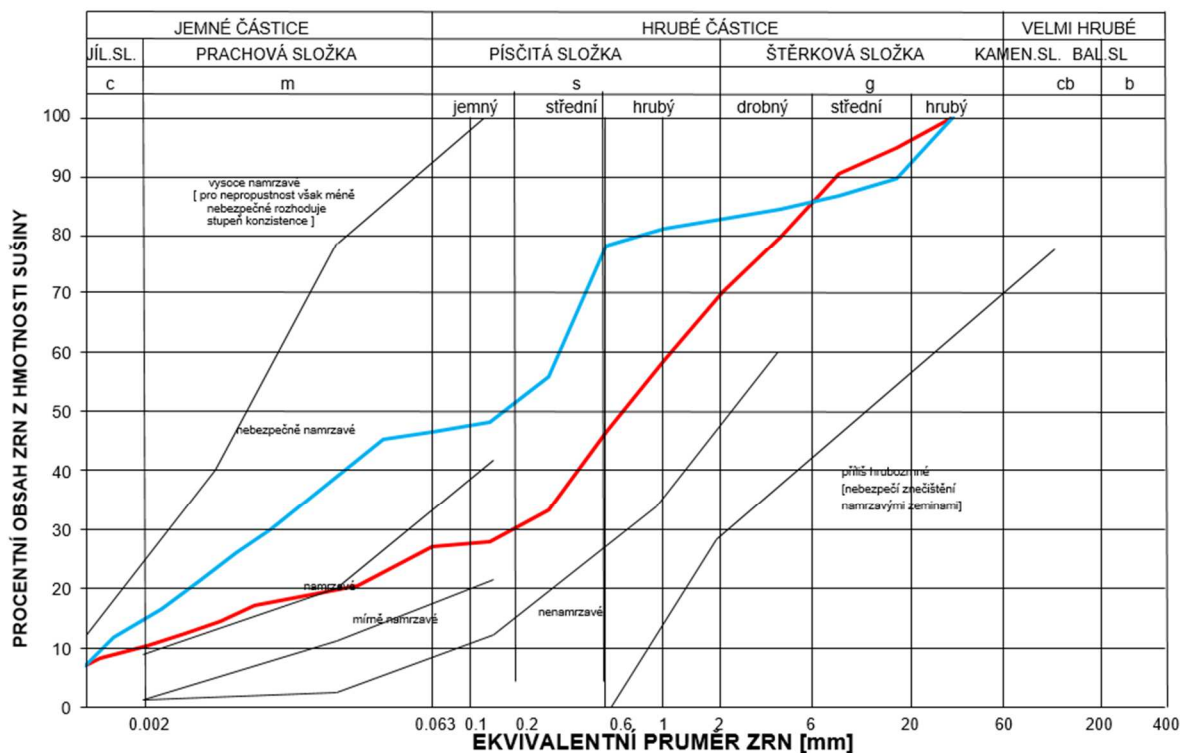
- zvýrazněné hodnoty v tabulce jsou zjištěny laboratorně,
- hodnoty objemové tíhy byly převzaty z ČSN EN 1997-1, ostatní hodnoty byly odvozeny z ČSN 73 6133;
- pro namrzavost zeminy byla použita následující zkratka: NN – nebezpečně namrzavé;
- * hodnoty byly přepočteny podle F. Vrtka.

4.5 Blokovitost skalního svahu

Je určena počtem a vzájemnou orientací systémů diskontinuit, které podmiňují tvar bloků, a četností ploch diskontinuit v jednotlivých systémech, které podmiňují rozměr základních bloků. Nezbytnými vstupními údaji pro základní určení typu blokovitosti horninového masivu jsou poloha a vzdálenost diskontinuit v jednotlivých vyčleněných systémech. Termíny pro popis hlavních typů stavby horninových masivů a tvarů bloků jsou popsány v ČSN 72 1005 v příloze C a schematicky znázorněno v *tab.7*.

Tvar bloků a blokovitost skalního svahu u (meta)dioritů byla deskovitá, u rhyolitů hranolovitá.

Obr.4: Křivky zrnitosti odebraných vzorků zemin.



Legenda:

- výplň puklin (meta)dioritů (třídy S4 SM)
- kvartérní sedimenty (třídy F4 CS)

Tab.7: Klasifikace skalních masivů podle ČSN 72 1005.

Typ	Název	Schéma	Typ	Název	Schéma
Po	Polyedrické bloky		Eq	Kostkovité bloky	
Ta	Deskovité bloky		Rh	Kosoúhlé bloky	
Pr	Hranolovité bloky		Co	Sloupcovité bloky	

4.6 Poloha diskontinuit v prostoru

V rámci terénního mapování byly zdokumentovány skalní stěny tvořené (meta)diority proterozoického stáří a mladšími ryolity devonského stáří. Skalní stěna je orientována přibližně ve směru SV-JZ. V terénu byly změřeny orientace sklonů puklin skalní stěny geologickým kompasem Freiburger se stupnicí dělenou na 400 gradů. Tektonická měření byla vynesena do ekvatoriální sítě ve Schmidově projekci do spodní polokoule (s intervalem 2σ), plochy puklinatosti jsou vyjádřeny ve směrnicovém tvaru (*vyjadřuje orientaci dislokace*).

Na skalních stěnách bylo provedeno celkem 67 měření směrů puklin, které byly následně rozděleny do několika hlavních systémů puklin, které byly podrobeny zprůměrování podobných výsledků měření. Systémy obsahující pouze 1 měření sklonů puklin byly vyřazeny z důvodu pravděpodobné chyby. Část A, 14 m dlouhá a cca 6-8 m vysoká, byla vzhledem k její délce pojata jako jeden úsek (*viz příloha č. 1*). 20 m dlouhá a cca 2-8 m vysoká část B byla dále rozdělena na 2 dílčí úseky – orlí voliéra a úsek vpravo od voliéry (*viz příloha č. 1*).

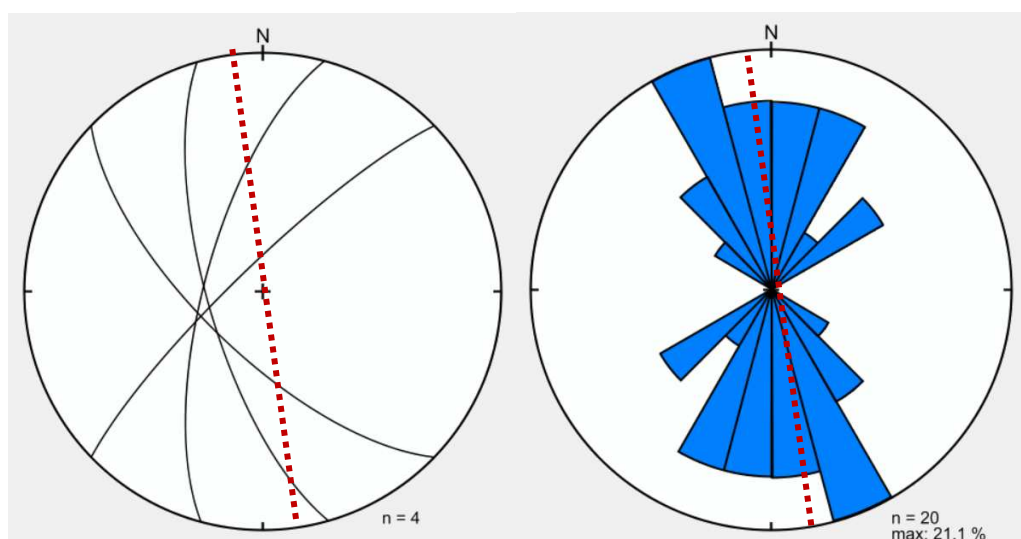
Část A

V této části bylo změřeno 19 sklonů puklin (*obr.5*):

Pukliny s parametry 227°/65°, 221°/68°, 319°/84°, 225°/75°, 256°/71°, 262°/64°, 284°/78°, 266°/67°, 318°/84°, 311°/75°, 278°/75°, 253°/72°, 247°/54°, 250°/77°, 241°/72°, 286°/60°, 294°/60°, 274°/78° a 293°/67° byly následně rozděleny do 4 systémů puklin. Tyto systémy byly získány zprůměrováním podobných výsledků měření. Hlavní směry puklinových systémů jsou zastoupeny rovnoměrně: a) 254°/71° (7 měření) a b) 285°/70° (6 měření). Převažující směr puklin je tedy **SSZ-JJV**, resp. **SSV-JJZ**. Další rozšířené systémy měly hodnoty c) 224°/69° a d) 316°/81° (*oboje po 3 měření*).

Obr.5: Zákres průměrných hodnot jednotlivých systémů části A.

Obr.6: Růžicový diagram měření.



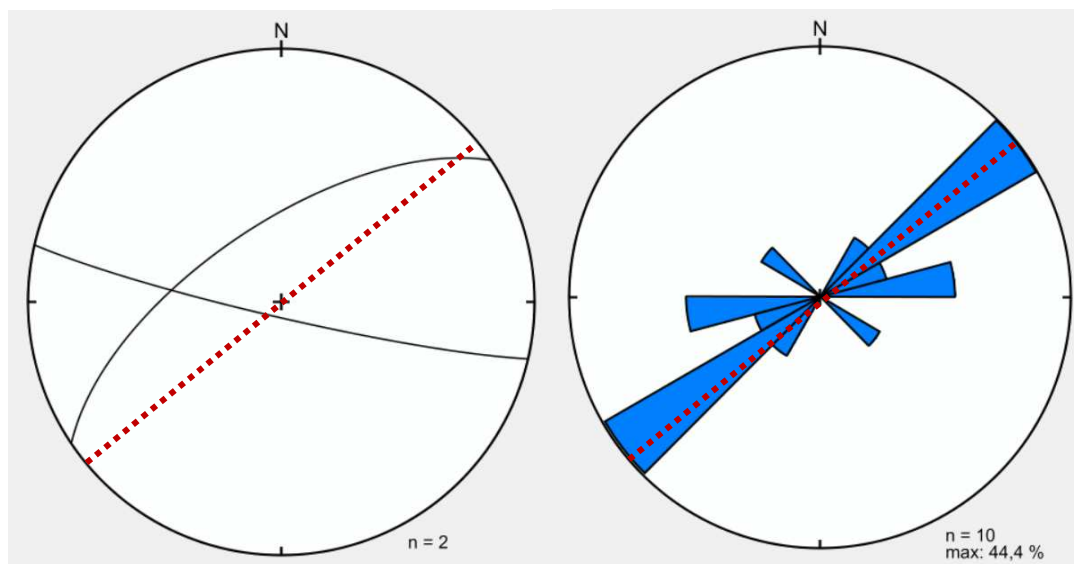
..... orientace skalní stěny

Část B**V úseku č.1 (orlí voliéra) bylo změřeno 12 sklonů puklin (obr.7):**

Pukliny v (meta)dioritech s parametry $347^{\circ}/63^{\circ}$, $328^{\circ}/55^{\circ}$, $323^{\circ}/68^{\circ}$, $323^{\circ}/72^{\circ}$, $338^{\circ}/69^{\circ}$, $315^{\circ}/61^{\circ}$, $306^{\circ}/68^{\circ}$, $166^{\circ}/85^{\circ}$, $339^{\circ}/86^{\circ}$ byly následně rozděleny do 2 systémů puklin. Tyto systémy byly získány zprůměrováním podobných výsledků měření. Nejrozšířenější (po 7 měření) byl puklinový systém s průměrnou hodnotou $326^{\circ}/65^{\circ}$. Převažující směr puklin dle růžicového diagramu je tedy **SV-JZ** (obr.8). Další systém puklin měl hodnoty $193^{\circ}/85^{\circ}$ (2 měření). Tři měření byla pro svou nezařaditelnost vyloučena z výpočtů. V ryolitech byly naměřeny tyto hodnoty: $349^{\circ}/81^{\circ}$, $282^{\circ}/85^{\circ}$, $332^{\circ}/66^{\circ}$, $5^{\circ}/87^{\circ}$, $272^{\circ}/90^{\circ}$ a $274^{\circ}/81^{\circ}$. Hlavní puklinové systémy byly stanoveny na $276^{\circ}/85^{\circ}$ (3 měření) a $349^{\circ}/78^{\circ}$ (3 měření), tedy **ZSZ-VJV** a **ZJZ-VSV**; další 2 vymykající se hodnoty byly vyloučeny.

Obr.7: Zákres průměrných hodnot jednotlivých systémů 1. úseku.

Obr.8: Růžicový diagram měření.

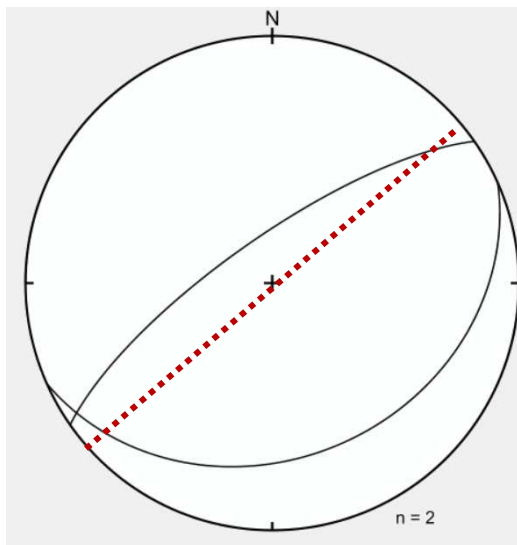


..... orientace skalní stěny

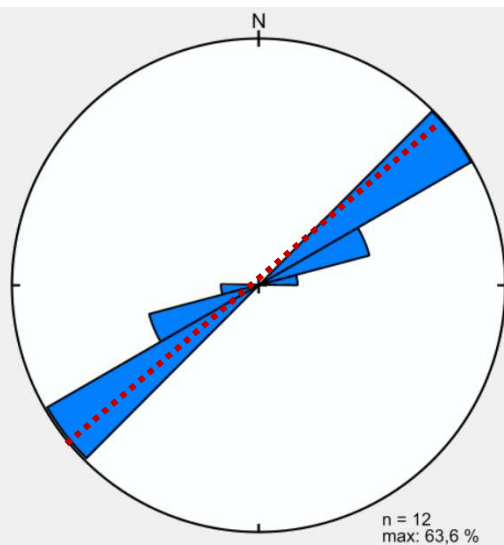
V úseku č.2 (vpravo od voliéry) bylo změřeno 11 sklonů puklin (obr.9):

Pukliny v (meta)dioritech s parametry $318^{\circ}/72^{\circ}$, $321^{\circ}/72^{\circ}$, $316^{\circ}/68^{\circ}$, $316^{\circ}/72^{\circ}$, $342^{\circ}/82^{\circ}$, $169^{\circ}/22^{\circ}$, $143^{\circ}/37^{\circ}$, $331^{\circ}/73^{\circ}$, $338^{\circ}/72^{\circ}$, $326^{\circ}/79^{\circ}$, $320^{\circ}/89^{\circ}$ byly následně rozděleny do 2 systémů puklin. Tyto systémy byly získány zprůměrováním podobných výsledků měření. Nejrozšířenější byl puklinový systém s průměrnou hodnotou $325^{\circ}/75^{\circ}$ (9 měření). Převažující směr puklin je **SV-JZ** (obr.10). Další systém puklin má hodnotu $156^{\circ}/30^{\circ}$ (2 měření). V ryolitech byly zjištěny pukliny s těmito parametry: $310^{\circ}/50^{\circ}$, $300^{\circ}/77^{\circ}$, $323^{\circ}/83^{\circ}$, $339^{\circ}/89^{\circ}$ a $297^{\circ}/47^{\circ}$, které byly rozděleny do 2 skupin s převládajícími hodnotami $321^{\circ}/83^{\circ}$ (3 měření), tedy směru **SV-JZ** a $303^{\circ}/49^{\circ}$ (2 měření) o směru **SSV-JJZ**.

Obr.9: Zákres všech měření puklin 3. úseku.



Obr.10: Růžicový diagram měření.



..... orientace skalní stěny

Nestabilita skalní stěny **v části A** je způsobena zvětřáním a opadem sutě podél systémů a) $254^{\circ}/71^{\circ}$ a b) $285^{\circ}/70^{\circ}$ (průměrné hodnoty). **V části B** by mohl mít podobné účinky systém s průměrnými hodnotami $326^{\circ}/70^{\circ}$ (průměr z 16 měření). Některé pukliny v ryolitech sice mají úklon po spádnicí svahu, ale pro menší rozšíření i zvětřání této horniny nepředstavují významný problém.

Hlavní struktury, na nichž jsou nestability založeny, jsou vesměs subvertikální a paralelní se směrem svahu. Do těchto poruch pronikají kořeny vegetace a dále je rozrušují, což usnadňuje vsakování srážkové vody. Další nestabilitu představují nepevněné sedimenty – hlavně heterogenní svahoviny – které jsou obnaženy ve velkém profilu a v úseku A dokonce vytvářejí převisy.

5 ZÁVĚR

Tato zpráva obsahuje informace o geologických poměrech v místě akce „ZOO Brno – geologické zmapování svahu“. Cílem mapování bylo zjistit geologické poměry stěn umělého skalního zářezu v okolí i uvnitř voliery orla východního.

V rámci průzkumu byly na lokalitě provedeny terénní práce v rozsahu: změření vzdálenosti mezi puklinami, změření šířky puklin a sklonů puklin. Dále byla terénně stanovena drsnost puklin a popis výplně puklin s následným určením blokovitosti skalního svahu (*kapitola 4.5*).

Skalní svah je tvořen silně tektonizovanými a zvětřalými (meta)diority a podružně žilou ryolitu. Horniny krystalinika jsou překryty balvanitými svahovými sedimenty, na okraji části A také šterkopísčitými sedimenty říční terasy.

Měření tektonických prvků ukázalo, že nestabilita svahu je modifikována především těmito systémy puklin: $254^{\circ}/71^{\circ}$ a $285^{\circ}/70^{\circ}$ v úseku A, $326^{\circ}/70^{\circ}$ v úseku B. Převažující směr puklin je

SV-JZ, tedy v podstatě paralelně se směrným protažením svahu. V důsledku toho je vyvinuta aktivní svahová nestabilita, řazená Registrem svahových nestabilit do III.kategorie sesuvných území – vysokého rizika.

Veškeré dotazy je možné konzultovat se zpracovateli tohoto průzkumu.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- BARTON N., CHOUBEY V. (1977) : The shear strenght of rock joints in theory and practice. – Rock Mechanics, 10, 1–2, 1–54. Vienna.
- BURIÁNEK D., GILÍKOVÁ H. (2011): Ryolity v metadioritové zóně brněnského masivu. Geologické výzkumy Moravy a Slezska 2011/2, 118-124.
- MICHlíČEK E. ET AL. (1986): Hydrogeologické rajóny ČSR. Svazek 2. Povodí Moravy a Odry. – Geotest, Brno.
- OLMER M., HERMANN Z., KADLECOVÁ R. (2006): Hydrogeologická rajonizace České republiky; sborník geologických věd = Hydrogeological Zones of the Czech Republic [online], Praha. Česká geologická služba.
- QUITT E. ET AL. (1971): Klimatické oblasti Československa. Academia, Studia Geographica 16, GÚ ČSAV Brno.

Související právní dokumenty a normy:

- ČSN 73 1001: Základová půda pod plošnými základy,
- ČSN P 73 1005: Inženýrskogeologický průzkum,
- ČSN 73 6133: Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací,
- ČSN EN ISO 14689 (72 1005): Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování, popis a klasifikace hornin,
- TP 114: Technické podmienky, Ochranné a stabilizujúce konštrukcie skalných svahov a zárezov na dopravných stavbách,
- Vyhláška 368/2004 Sb. o geologické dokumentaci,
- Vyhláška 369/2004 Sb. o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací,
- Zákon 62/1988 Sb.: Zákon o geologických pracích (v platném znění),

Internetové zdroje:

- Geologické a geovědní mapy [online]. [citováno 2023-03-28]. Dostupné z: [http:// www.geology.cz](http://www.geology.cz),
- Ortofoto mapy [online]. [citováno 2023-03-28]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>.

Příloha 1 PODROBNÁ SITUACE, M 1:500

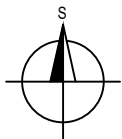
Podrobná situace zmapovaného skalního výchozu

1:500



LEGENDA:

— — — — —
přibližná poloha skalní
stěny řešeného svahu



GEOSTAR

GEOSTAR, spol. s r.o.
Tuřanka 240/111
627 00 Brno

ZOO Brno geologické zmapování svahu

Odběratel : ZOO Brno, p.o.

Typ úkolu : Inženýrskogeologický průzkum

Číslo úkolu :
23.0644.005

Zpracoval :
Bc. Tomáš Kopečný

Kresleno v :
AutoCAD

Schválil :
Ing. Jaroslav Hauser, Csc.

Datum :
04.04. 2023

Podrobná situace zmapovaného skalního výchozu

Měřítko :

1:500

Číslo přílohy:

1

Příloha 2 LABORATORNÍ ROZBORY ZEMIN

ZOO Brno

duben 2023

Zak. č.: 22.0644

Název zakázky: ZOO Brno

Zhotovitel: GEOSTAR, spol. s r.o.
Tuřanka 240/111, 627 00 Brno
Tel.: 545 221 218
geostar@geostar.cz
www.geostar.cz
IČO: 13690337
DIČ: CZ 13690337

Pořadové číslo zakázky: 22.0644

Datum ukončení zakázky: duben 2023

Zpracoval: Josef Čejka

GEOSTAR
GEOSTAR, spol. s r. o.
Tuřanka 240/111, 627 00 Brno-Slatina
IČO: 13690337, DIČ: CZ13690337

.....
razítko a podpis

ZHODNOCENÍ LABORATORNÍCH ROZBORŮ

VZORKY

Datum příjmu : 16.1.2023

Druh	porušené (P)	neporušené (N)	hornina (H)
počet	2	0	0

Poznámka: Porušené vzorky byly dodány v igelitových sáčkách o hmotnosti cca 5,0 kg.

ÚČEL LABORATORNÍCH ROZBORŮ

Geotechnický průzkum

POŽADAVEK NA ZKOUŠKY

-**klasifikační rozbor**y : tj. přirozená vlhkost ČSN EN ISO 17892-1, zrnitostní rozbor ČSN EN ISO 17892-4 a konzistenční meze ČSN EN ISO 17892-12.

ÚVODEM

Po předání zemin do laboratoře byl stav vzorků kontrolován, vzorky byly označeny vlastním laboratorním identifikačním číslem, pod kterým byly dále vedeny po celou dobu zkoušení. Požadavky na jednotlivé laboratorní rozbor, byly upřesněny zadavatelem v „Zadávacím protokolu laboratorních zkoušek vzorků zemin“.

Metodika laboratorních zkoušek

VLASTNOSTI ZEMIN

VLHKOST (w)

-představuje poměr hmotnosti vody z předem určené hmotnosti vzorku zeminy, k hmotnosti suchých (pevných) částic vzorku zeminy, vyjádřené v procentech.

$$w = m_w/m_d \cdot 100 \text{ [%]}$$

- hmotnost vody ve vzorku..... m_w
- hmotnost vzorku zeminy po vysušení..... m_d

Uváděná hodnota odpovídá metodice dle ČSN EN ISO 17892-1, kdy se vysušuje vzorek při 105-115° C.

ZRNITOST

-je hmotnostní podíl jednotlivých zrnitostních frakcí přítomných v dané zemině

Zjišťuje se stanovením jednotlivých podílů užšího zrnění, převedených na procenta, vzhledem k hmotnosti vzorku. Výsledek je znázorněn graficky v podobě **křivky zrnitosti**, která je součtovou čarou hmotnosti jednotlivých frakcí, vykreslenou do rastru s vodorovnou logaritmickou stupnicí (průměry zrn) a svislou lineární stupnicí (procenta zrn propadlých sítím daného průměru). Podíl zrn nad 0,063 mm se stanovil proséváním přes normovou sadu sítí. Velikost zrn pod 0,063 mm byla zjištěna nepřímo na základě proměnlivé rychlosti jejich sedimentace v suspenzi, tzv. **hustoměrnou metodou** - postup zkoušek dle ČSN EN ISO 17892-4.

KONZISTENČNÍ MEZE

(w_L, w_P, I_P, I_C)

- **mezi tekutosti** – w_L se rozumí vlhkost zeminy (vyjádřená v procentech hmoty vysušené zeminy při teplotě 105-115°C), při níž přechází zemina ze stavu plastického do tekutého. Tato hodnota byla stanovena dle ČSN EN ISO 17892-12 kuželovou zkouškou, při čemž ze zkoušeného vzorku musela být vyloučena zrna větší než 0,4mm.

- **mezí plasticity** - w_p se rozumí opět vlhkost zeminy, při které zemina přechází ze stavu tekutého do stavu plastického. Její zjištění, po odstranění zrn nad 0,4mm, bylo provedeno ve smyslu ČSN EN ISO 17892-12.
- **index plasticity** - $I_p = w_L - w_p$ je velikost intervalu vlhkosti, ve kterém zůstává zemina plastická.
Byl vypočten z rozdílu obou hraničních vlhkostí (na mezi tekutosti a plasticity).
- **stupeň konzistence** - $I_c = \frac{w_L - w}{I_p}$ *charakterizuje plasticitu soudržné zeminy v přirozeném uložení.*
Počítá se z rozdílu meze tekutosti a přirozené vlhkosti, děleného indexem plasticity.

Výsledky laboratorních zkoušek

Výsledky laboratorních zkoušek jsou uvedeny v přehledné tabulce v **příloze č. 1**.

Přílohy:

č.1 - výsledky laboratorních zkoušek

č. 2 - křivky zrnitosti

č. 3 - protokoly číslo 0304/23B a 0305/23B

V Brně dne 5.4.2023

Josef Čejka

zástupce vedoucího laboratoře

Příloha č.1

Výsledky laboratorních zkoušek

Sonda Hloubka	vl. voliéry pukl.výplň	vl. voliéry 1,5 m
Vlhkost [%]	5,70	4,80
Mez tekutosti [%]	34,90	35,90
Mez plasticity [%]	24,10	19,70
Index plasticity	10,80	16,20
Stupeň konzistence	2,70	1,92
Konzistence	tvrdá	tvrdá
Třída ČSN 73 6133	S4 SM	F4 CS
Vhodnost do násypu	podm.vh	podm.vh
Vhodnost pro AZ	podm.vh	podm.vh
**Ef.úhel vn.tření [°]	29	25
**Efekt. koheze [kPa]	5	26
**Tot.úhel vn.tření [°]		
**Tot. koheze [kPa]		
Poissonovo číslo	0,30	0,35
**Modul přetvárn. [MPa]	10,00	
Tab. únosnost * [kPa]	475,00	400,00
**Koef.prop.dle Car.Koz	2,022E-08	3,433E-09
**Koef.prop.dle Beyera	1,340E-08	3,816E-09

*Hodnoty tabulkové únosnosti jsou u zemin třídy F pro hloubku založení 0.8 až 1.5 m a šířku základu do 3 m,
u tříd S a G pro hloubku založení 1 m a zadanou šířku základu = m. Nebere se v úvahu vliv podz. vody.

Příloha č.2

Křivky zrnitosti

KŘIVKY ZRNITOSTI

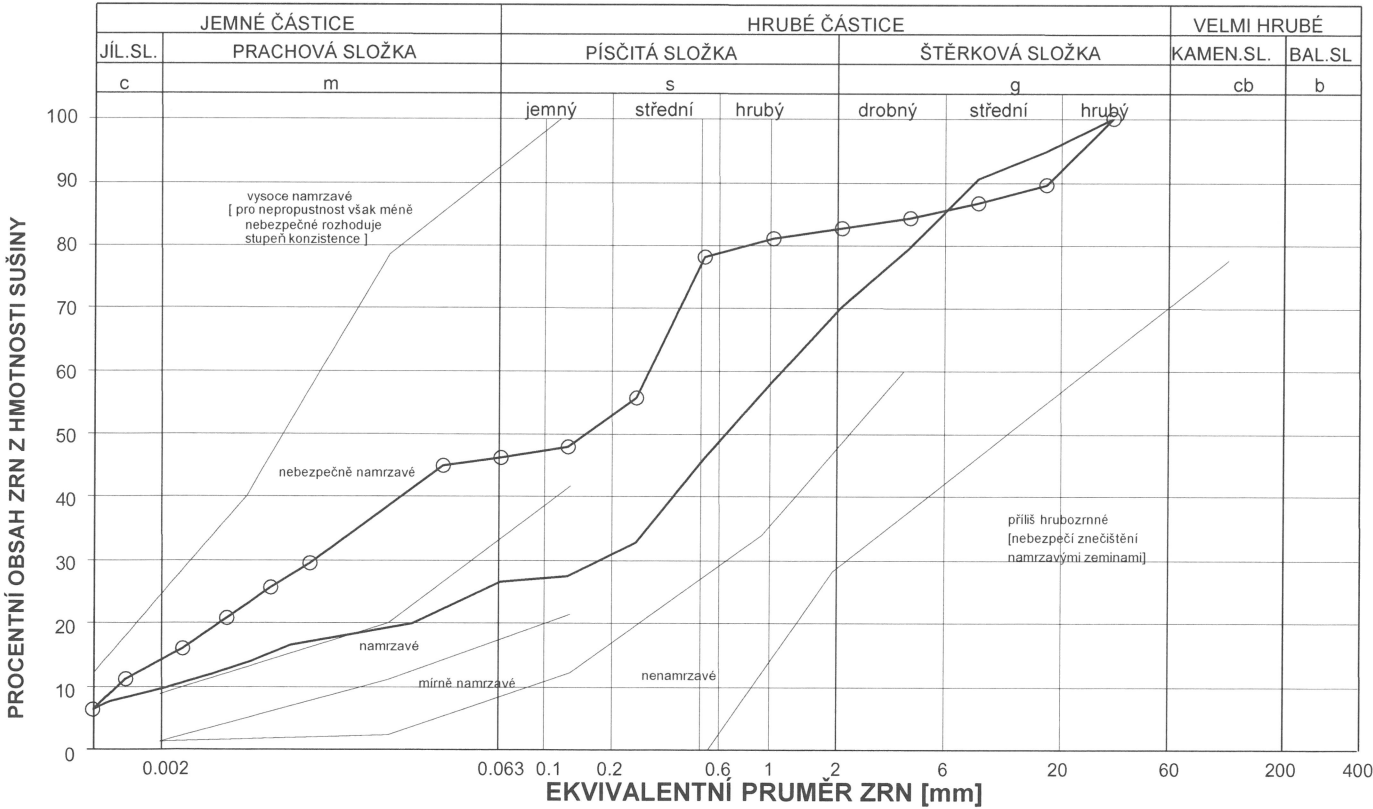
Mechanika zemin

NÁZEV AKCE: ZOO Brno

ZAKÁZKOVÉ ČÍSLO:

VZOREK	SONDA	HLOUBKA	OZNAČENÍ	73 6133	k[m/s]
B/23797	vl. voliéry	pukl.výplň	_____	S4 SM	2,022E-08
B/23798	vl. voliéry	1,5 m	○ — ○	F4 CS	3,433E-09

k - stanoven metodou Carman-Kozeny (pouze orientační hodnota)



Příloha č.3

Protokoly o zkouškách



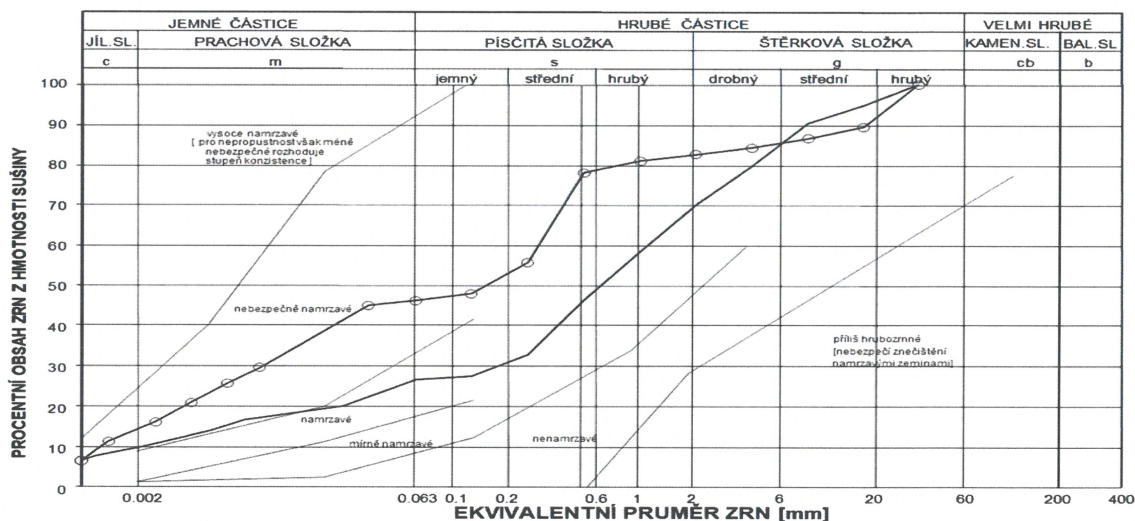
GEOSTAR, spol. s r.o.
Zkušební laboratoř mechaniky zemin
Zkušební laboratoř č. 1373 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018
pracoviště Brno, Tuřanka 111

Protokol o zkoušce č. 0304/23B

STANOVENÍ ZRNITOSTI ZEMIN ČSN EN ISO 17892-4, mimo články 4.4, 5.4 a 6.3

Název akce:	ZOO Brno	Laboratorní číslo vzorku:	viz tabulka
Objednatel:	GEOSTAR spol. s r.o. Tuřanka 240/111 Brno 627 00	Datum dodání/měření:	28.03.2023
		Datum zpracování zakázky:	28.03.2023 - 05.04.2023
Způsob zkoušení:	ČSN EN ISO 17892-4, mimo články 4.4, 5.4 a 6.3	Objekt, staničení/sonda:	viz tabulka
		Vrstva/hloubka:	viz tabulka
Zkušební zařízení:	V/01-B a V/02-B, SU/05-B, sada sít viz. PD, AE/12-B, T/42-B, ST/04-B	Materiál:	-

ČÍSLO VZORKU **SONDA** **HLOUBKA** **OZNAČENÍ**
B/23797 vlevo voliéry puklinová výplň 
B/23797 vlevo voliéry 1,5 m 



Poznámka: Odhad zdánlivé hustoty pevných částic u vzorků je 2670 kg/m³.

Měřil: Kateřina Jelínková

Pracovník odpovědný za vypracování protokolu:

V Brně dne: 05.04.2023

Pracovník odpovědný za schválení protokolu:

Rozdělovník: 1 x objednatel

1 x zkušební laboratoř GEOSTAR, spol. s r.o.

Počet výtisků: 2

Výtisk číslo: 1 2

Prohlašujeme, že výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených vzorků. Bez písemného souhlasu zkušební laboratoře se nesmí tento protokol reprodukovat jinak, než celý.

----- KONEC PROTOKOLU -----



GEOSTAR, spol. s r.o.

Zkušební laboratoř mechaniky zemin

Zkušební laboratoř č. 1373 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018
pracoviště Brno, Tuřanka 111

Protokol o zkoušce č. 0305/23B

STANOVENÍ VLHKOSTI ZEMIN ČSN EN ISO 17892-1 STANOVENÍ KONZISTENČNÍCH MEZÍ - ČSN EN ISO 17892-12

Název akce:	ZOO Brno	Laboratorní číslo vzorku:	viz tabulka
Objednatel:	GEOSTAR spol. s r.o. Tuřanka 240/111 Brno 627 00	Datum dodání/měření:	28.03.2023
		Datum zpracování zakázky:	28.03.2023 - 05.04.2023
Způsob zkoušení:	ČSN EN ISO 17892-1	Objekt, staničení/sonda:	viz tabulka
	ČSN EN ISO 17892-12	Vrstva/hloubka:	viz tabulka
Zkušební zařízení:	V/01-B, SU/05-B, S/0500/01-B, KP/01-B, ST/04-B	Materiál:	-

Laboratorní číslo vzorku	Objekt, staničení/ sonda	Hloubka/ vrstva [m]	ČSN EN ISO 17892-1	ČSN EN ISO 17892-12	
			Vlhkost - w	Mez plasticity - w _p	Mez tekutosti - w _L
			[%]	[%]	[%]
B/23797	vlevo voliéry	puklinová výplň	5,70	24,1	34,9
B/23798	vlevo voliéry	1,5	4,80	19,7	35,9
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Poznámka: Typ kužele - 80g/30°.

Měřil: Kateřina Jelínková

Pracovník odpovědný za vypracování protokolu:

Josef Čejka

V Brně dne: 05.04.2023

Pracovník odpovědný za schválení protokolu:

Josef Čejka

Rozdělovník: 1 x objednatel

1 x zkušební laboratoř GEOSTAR, spol. s r.o.

Počet výtisků: 2

Výtisk číslo: 1 2



Prohlašujeme, že výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených vzorků. Bez písemného souhlasu zkušební laboratoře se nesmí tento protokol reprodukovat jinak, než celý.

----- KONEC PROTOKOLU -----

Příloha 3 FOTODOKUMENTACE

Obrázek 1: Část A



0 m

5 m

Obrázek 2: Část A



5 m

10 m

Obrázek 3: Část A



10 m

15 m

Obrázek 4: Část A, puklinová výplň



Obrázek 5: Část A s orientačním průběhem puklin a vyšrafovanými plochy puklin



Obrázek 7: Část B – I. úsek



0 m

2 m

Obrázek 8: Část B – I. úsek s puklinovou výplní mezi dvěma typy hornin



2 m

4 m

Obrázek 9: Část B – I. úsek



4 m

7 m

Obrázek 10: Část B – I. úsek



7 m

10 m

Obrázek 11: Část B – I. úsek s orientačním průběhem puklin a vyšrafovanými plochy



Obrázek 12: Část B – II. úsek



10 m

15 m

Obrázek 13: Část B – II. úsek



15 m

20 m

Obrázek 14: Část B – II. úsek s orientačním průběhem puklin a vyšrafovanými plochy





PŘÍLOHOVÁ ČÁST

Příloha 4 STABILITNÍ POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍHO SVAHU

Sanace svahové nestability v areálu ZOO Brno

Two large, overlapping geometric shapes: a dark blue parallelogram on the left and an orange parallelogram on the right, both tilted at an angle. The blue shape contains the subtitle text.

**Statický výpočet posouzení stability
současného svahu**

duben 2023

Zak. č.: 22.0644

Výtisk č.:

Název zakázky:	Sanace svahové nestability v areálu ZOO Brno
Zhotovitel:	GEOSTAR, spol. s r.o. Tuřanka 240/111, 627 00 Brno Tel.: 545 221 218 geostar@geostar.cz www.geostar.cz IČO: 13690337 DIČ: CZ 13690337
Objednatel:	Zoo Brno a stanice zájmových činností, příspěvková organizace U zoologické zahrady 147/46 635 00 Brno – Bystrc
Identifikační číslo zakázky:	22.0644
Datum ukončení zakázky:	duben 2023
Zpracovala:	Ing. Andrea Stoklasová
Zodpovědný řešitel:	Ing. Karel Zdražil, CSc.

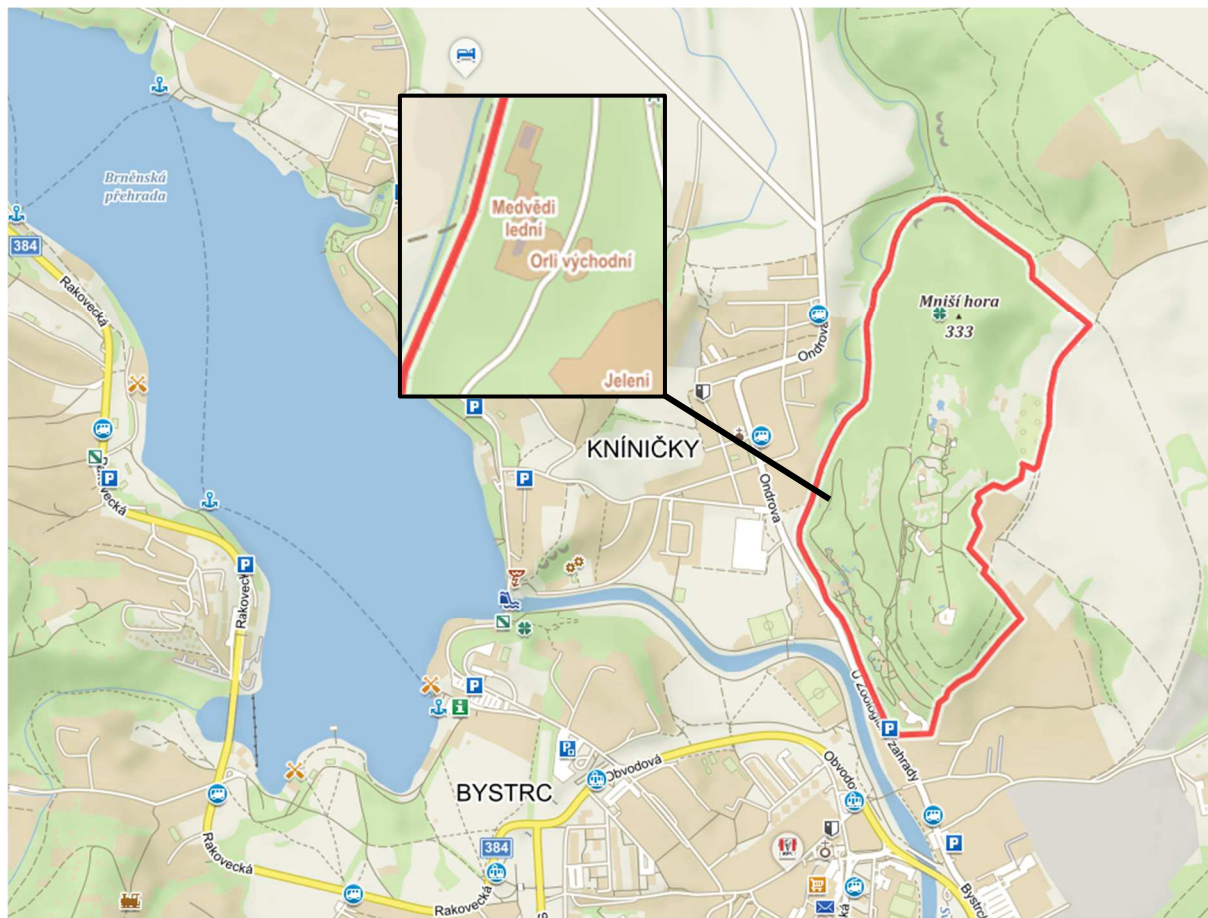
Obsah

1	ÚVOD	4
1.1	Použité podklady, normy a literatura	6
1.1.1	Podklady	6
1.1.2	Normy a TKP	6
1.1.3	Literatura.....	6
1.2	Použité programy.....	6
2	INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY	7
3	POPIS ŘEŠENÍ A METODIKA VÝPOČTU	7
4	POSUZOVANÉ ŘEZY A VÝSLEDKY VÝPOČTU.....	9
4.1	Řez A-A'	9
4.2	Řez B-B'.....	11
5	ZÁVĚR.....	11
6	PŘÍLOHY.....	12
6.1	Plaxis report – řez A-A'	13

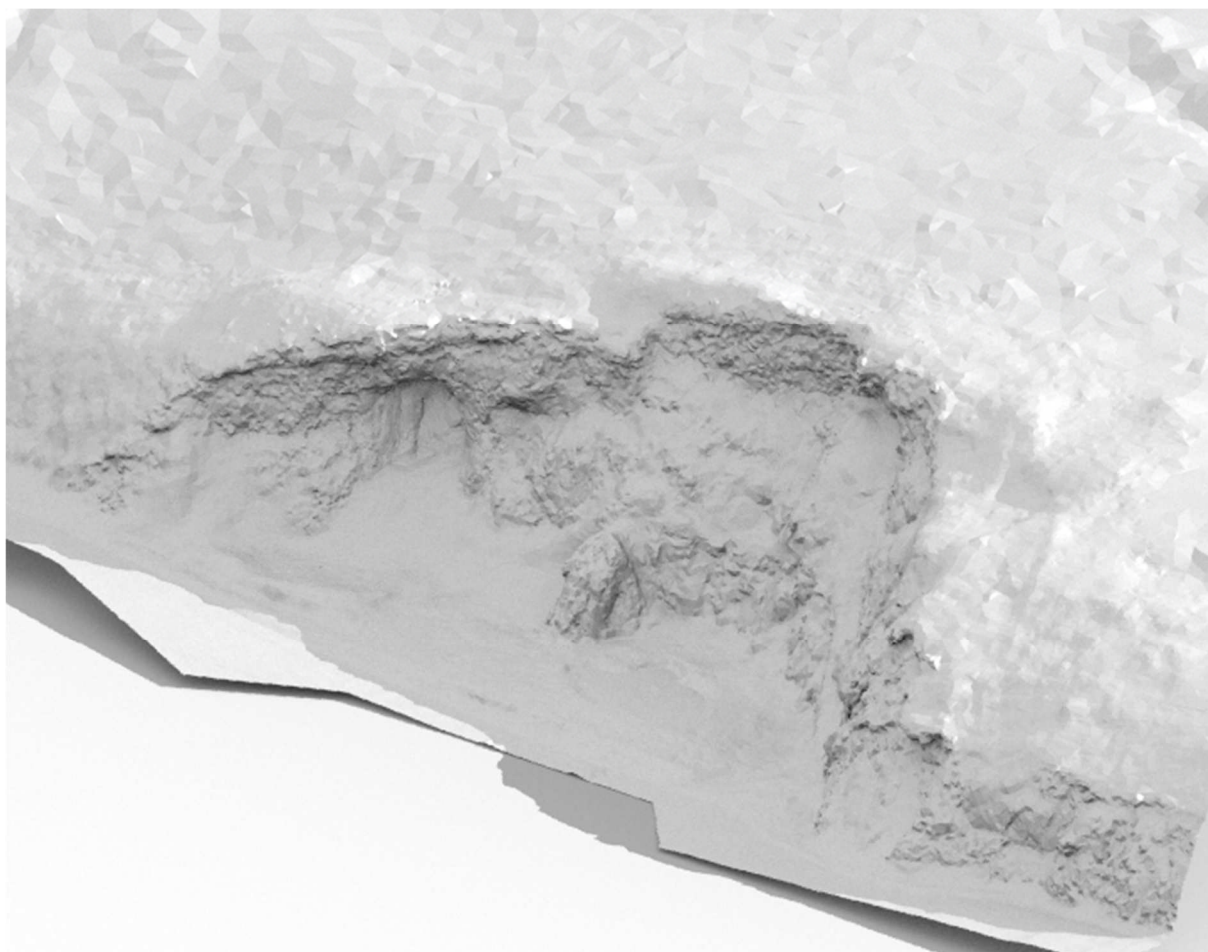
1 ÚVOD

Posouzení stability stávajícího skalního svahu, objednala Zoologická zahrada Brno a stanice zájmových činností, příspěvková organizace. Jedná se o skalní svah výšky 6-10 m, který je situován v těsné blízkosti voliéry orla východního. Dotčený svah je dle České geologické služby zařazen do kategorie III sesuvných území – vysoké riziko.

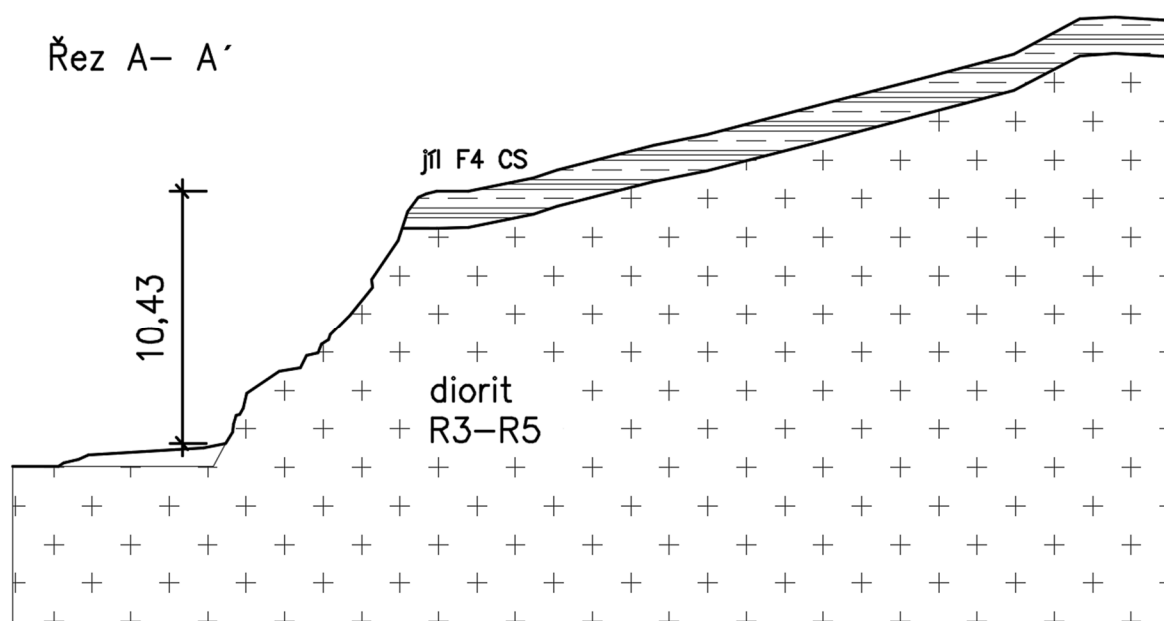
Pro posouzení byl zaměřen stávající polohopis a výškopis dotčeného svahu [2], zpracován inženýrskogeologický průzkum [1]. Pro posouzení byly vybrány dva příčné řezy.



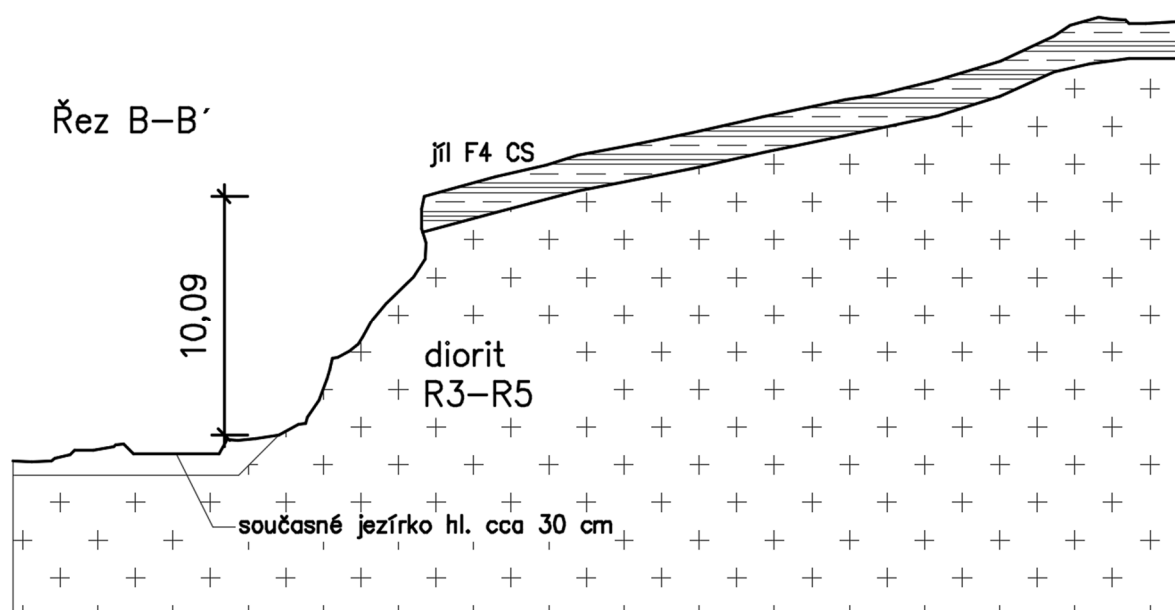
Obr. 1-1 Zájmové území – zdroj www.mapy.cz [1]



Obr. 1-2 Zájmové území – zaměřený svah 3D model [2]



Obr. 1-3 Řez A-A' [2]



Obr. 1-4 Řez B-B' [2]

1.1 Použité podklady, normy a literatura

1.1.1 Podklady

- [1] ZACHAŘ A., KOPEČNÝ T., ZOO Brno – geologické zmapování svahu, Inženýrskogeologický průzkum, GEOSTAR, spol. s r.o., Brno 03/23
- [2] Polohopisné a výškopisné zaměření svahu, HRDLIČKA spol. s r.o., Brno 03/23

1.1.2 Normy a TKP

- [3] ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla (2005).
- [4] ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací, Praha: Český normalizační institut, 2010
- [5] TKP 30 Speciální zemní konstrukce (2009).
- [6] ČSN EN 14490 Provádění speciálních geotechnických prací – Hřebíkování zemin (2010).

1.1.3 Literatura

- [7] CHALMOVSKÝ J.: Základy matematického modelování v geotechnice s využitím programu Plaxis. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. ISBN 978-80-214-4938-1
- [8] Plaxis 2D, uživatelská příručka.
- [9] MASOPUST J.: Navrhování základových a pažicích konstrukcí. 2. vydání. Praha: pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2018. Technická knižnice (ČKAIT). ISBN 978-80-88265-12-2.

1.2 Použité programy

- PLAXIS 2D, Bentley
- AUTOCAD LT®, Autodesk, Inc.
- MS OFFICE 2013, Microsoft

2 INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY

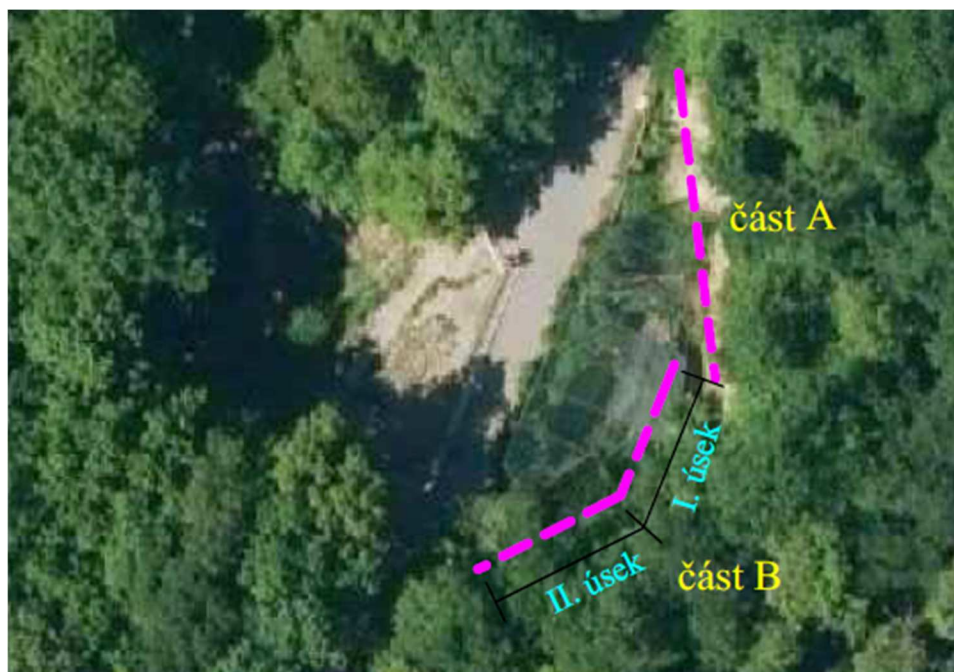
V rámci průzkumu byly na lokalitě provedeny terénní práce v rozsahu: změření vzdálenosti mezi puklinami, změření šířky puklin a sklonů puklin. Dále byla terénně stanovena drsnost puklin a popis výplně puklin s následným určením blokovitosti skalního svahu [1].

Skalní svah je tvořen silně tektonizovanými a zvětralými (meta)diority a podružně žilou ryolitu. Horniny krystalinika jsou překryty balvanitými svahovými sedimenty, na okraji části A také štěrkopísčitémi sedimenty říční terasy [1]. Přímo ve voliéře orla a jižním okraji úseku B vystupuje z velké části odtěžená žíla **ryolitu**, přibližně SSV-JJZ směru. Jedná se o horninu vytvářející ostře ohraničené bloky, které vystupují také v nejvyšší části skalního svahu ve svahových sedimentech.

Měření tektonických prvků ukázalo, že nestabilita svahu je modifikována především těmito systémy puklin: $254^{\circ}/71^{\circ}$ a $285^{\circ}/70^{\circ}$ v úseku A, $326^{\circ}/70^{\circ}$ v úseku B. Převažující směr puklin je SV-JZ, tedy v podstatě paralelně se směrným protažením svahu. V důsledku toho je vyvinuta aktivní svahová nestabilita, řazená Registrem svahových nestabilit do III.kategorie sesuvných území – vysokého rizika [1].

Z lokality byly odebrány dva vzorky. Jeden z výplně puklin, který byl laboratorně vyhodnocen jako písek hlinitý. Druhým vzorkem byla zemina z kvartérního profilu a ta byla laboratorně zatříděna jako jíl písčitý (2).

Během terénních prací nebyla zastižena hladina podzemní vody [1].



Obr. 2-1 Rozdělení svahu na úseky dle IGP [1]

3 POPIS ŘEŠENÍ A METODIKA VÝPOČTU

Výpočty byly provedeny programem PLAXIS 2D, který je aplikací metody konečných prvků, směřovanou pro matematické modelování geotechnických problémů a úloh. V tomto případě se jedná o řešení úlohy stabilitního charakteru v horninovém prostředí

Pro posouzení stability svahu byly na základě informací o geologii sestaveny dva příčné řezy. Do řezů byly na základě geologického průzkumu [1] vkresleny geologické vrstvy. Velikost modelů je určena na 25x50 m tak, aby okraje modelu neovlivňovaly dosažené výsledky. Nejprve je modelován současný stav svahu a poté spočtena jeho stabilita. Při výpočtu stupně stability je použit výpočet typu Safety. Tento typ výpočtu získává stupeň stability s využitím tzv. Phi/c reduction přístupu. V průběhu výpočtu jsou postupně redukovány vstupní parametry pevnosti: úhel vnitřního tření a koheze. Stupeň stability SF (Safety factor) lze zapsat:

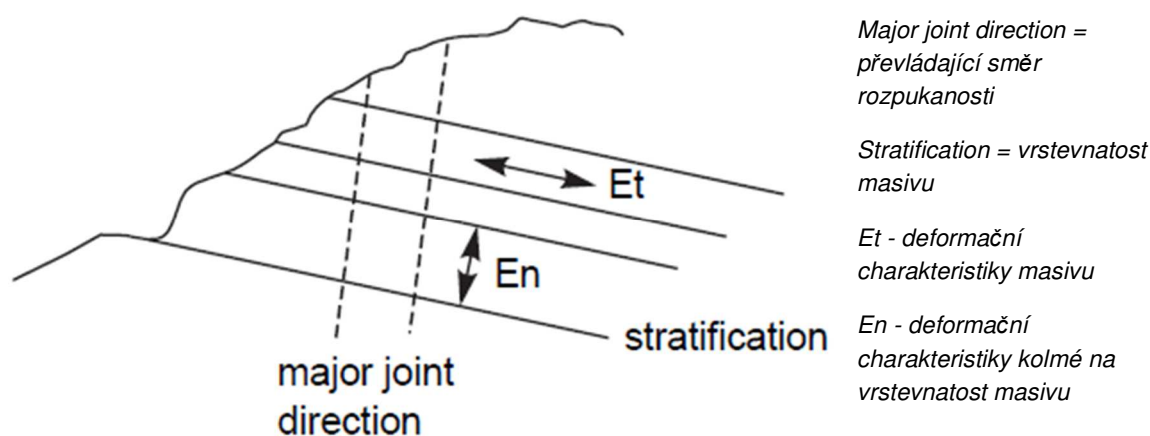
$$SF = \frac{\text{pevnost materiálu}}{\text{pevnost při poruše}} = \Sigma M_{SF}$$

Pro stupeň stability zářezu ve skalních zeminách platí dle normy [3] minimální hodnota 1,3.

Parametry materiálového modelu byly použity z dodaných podkladů [1], další parametry byly zvoleny dle doporučení tvůrců programu.

Materiály charakteru zeminy byly modelovány pomocí pokročilého materiálového modelu Hardening soil (HS). Na rozdíl od Mohr-Coulombova modelu (MC) s ideálně plastickým průběhem zatěžovací křivky je zatěžovací křivka HS modelu elasto-plastická. Již při malém zatížení nastávají plastické deformace. HS model dále zohledňuje závislost tuhosti zeminy na hloubce a také rozdílnou tuhost při odtížení a opětovném přitížení.

Pro horninové materiály byl použit konstituční model Jointed-Rock (J-R). J-R model je vhodný pro rozpukaný horninový masiv, u kterého se dá definovat převládající směr ložení a ploch nespojitosti. Dokáže vystihnout rozdílné chování materiálu v předepsaných směrech – charakteristiky masivu jako neporušeného materiálu a deformační charakteristiky kolmé na jeho vrstevnatost.



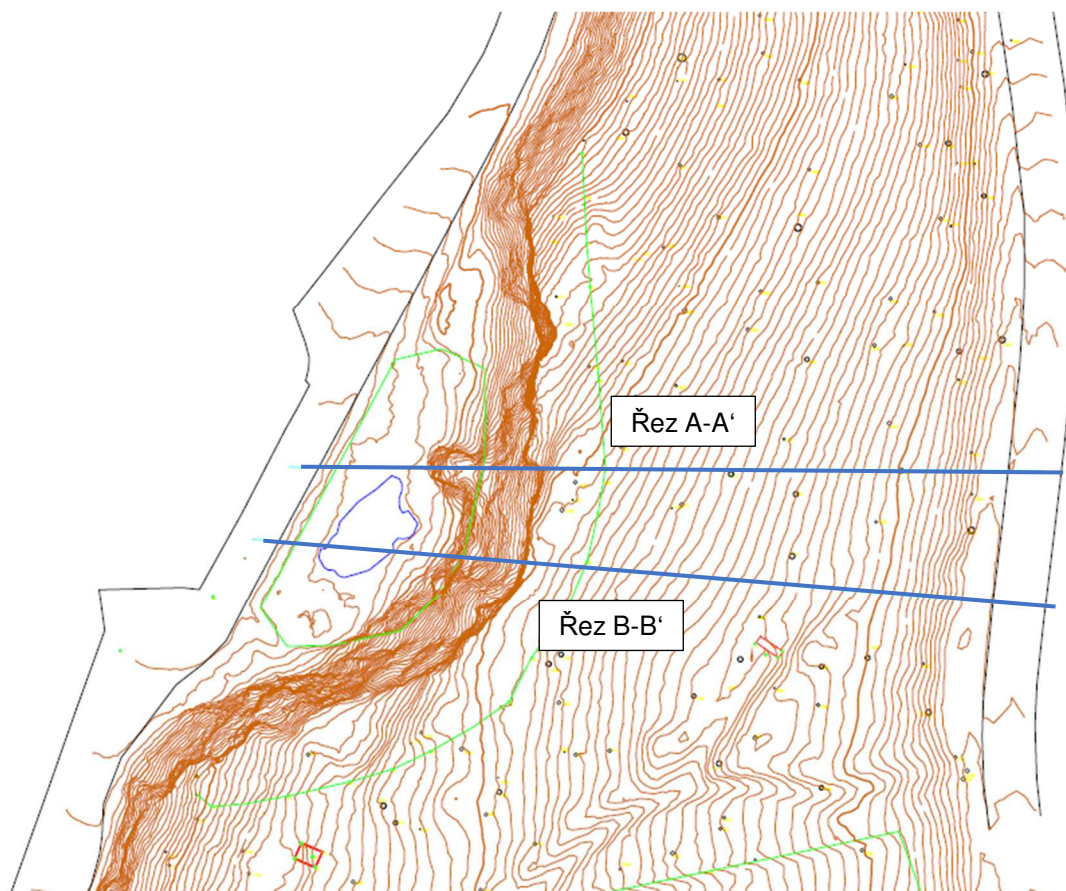
Obr. 3-1 Návrh zajištění zářezu za ekoduktem

Prvky zajištění svahu se statickou funkcí jsou také součástí matematického modelu. Konkrétně se jedná o hřebíky definované prvkem Embedded Beam a dvouzákrutová síť je vystižena pomocí prvku Geogrid. Použité parametry pro tyto prvky jsou uvedeny v příloze (příloha 1).

Pro J-R model byl zvolen převládající sklon puklin 70°, přičemž proměnné zastoupení ryolitu je zde reprezentováno sklonem puklin 83° dle [1].

Všechny použité materiály včetně vstupních parametrů jsou uvedeny v příloze 1.

4 POSUZOVANÉ ŘEZY A VÝSLEDKY VÝPOČTU

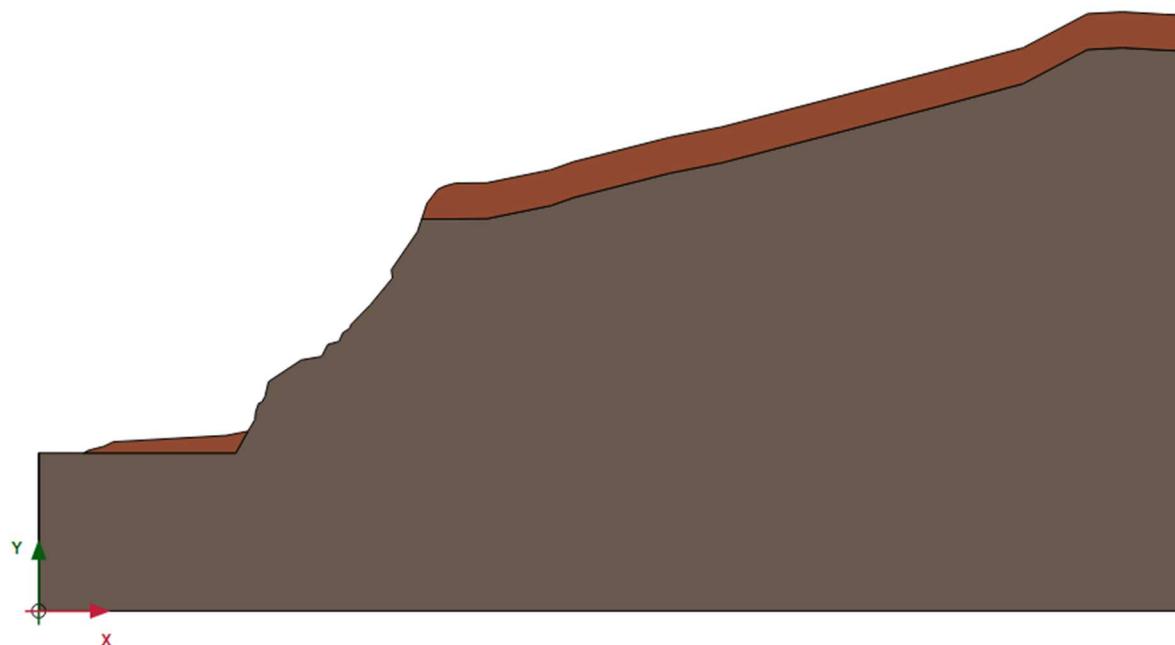


Obr. 4-1 Zaznačení posuzovaných řezů – půdorys

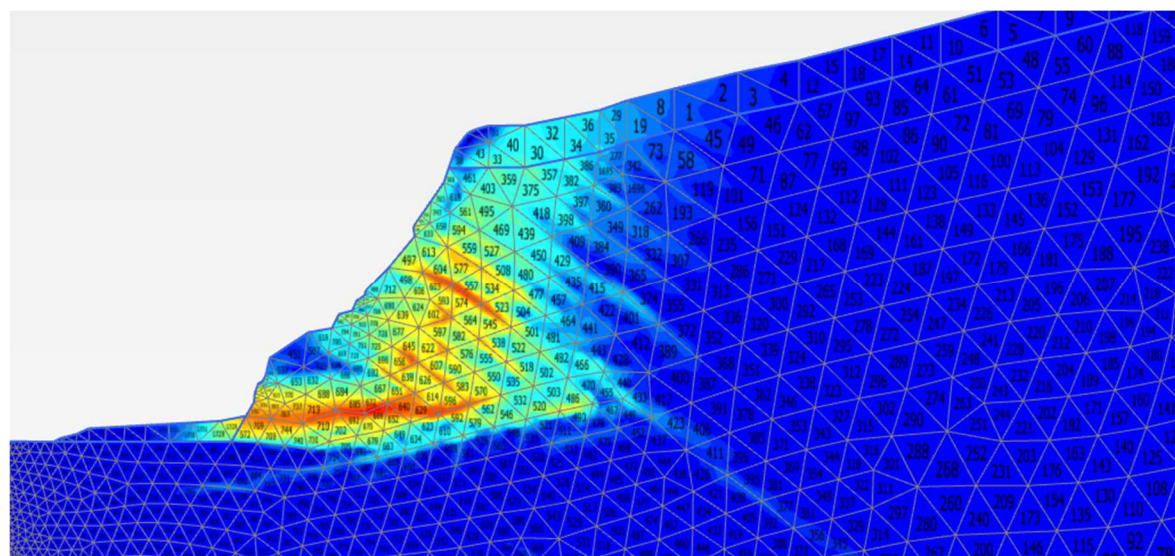
4.1 Řez A-A'

Pro výpočet stupně stability byl použit výpočet typu Safety. Tento typ je určen pro výpočet stupňů stabilit svahů. V průběhu výpočtu jsou postupně redukovány vstupní parametry: úhel vnitřního tření a koheze.

Na začátek výpočtu bylo spočteno původní pole napětí a pórových tlaků aplikací gravitačního zatížení v aktivovaných vrstvách podloží. Po provedení této fáze jsou spočtené deformace vynulovány. Na Obr. 5-3 je znázorněn model současného stavu svahu.



Obr. 4-2 Řez A-A' – model současného stavu



Obr. 4-3 Řez A-A' stabilita současného stavu svahu

Stupeň stability současného stavu svahu je spočten na $FS = 0,968 < 1,3$. Spočtený stupeň stability dle současně platných norem nesplňuje požadavky na stupeň stability pro zářezy ve skalních horninách.

Z dosažených výsledků stupně stability současného stavu svahu $SF = 0,968$ lze konstatovat, že dle normy [4] není splněn požadovaný stupeň stability pro zářezy ve skalní hornině. Jelikož je spočtený stupeň stability $< 1,0$, tak tato hodnota indikuje to, že ve skalním zářezu dochází k pohybům a je nutno svah sanovat a zajistit proti dalším deformacím.

4.2 Řez B-B'

Pro řez B-B' po spuštění výpočtu původního pole napětí a pórových tlaků, aplikací gravitačního zatížení, výpočet nekonverguje a po nějaké době se ukončí. To značí že stabilita v tomto řezu současného stavu je nedostatečná a hodnocení České geologické služby o zařazení svahového pohybu do III – nejvyšší kategorie rizika, bylo zcela správné a opodstatněné. Svah je nutné sanovat, aby bylo zamezeno dalším pohybům.

5 ZÁVĚR

Z provedeného výpočtu ke zjištění stability současného stavu skalního zářezu v zoologické zahradě v Brně, vychází, že současný stav je dle výpočtu nestabilní ($FS < 1,0$). Je nutno navrhnout vhodný způsob zajištění, aby nedocházelo k dalším deformacím svahu a odpadávaní zeminy a částí skalní horniny do současné voliéry orla východního.


Zpracovala: Ing. Andrea Stoklasová

6 PŘÍLOHY

Příloha 1 Plaxis report – řez A-A‘

6.1 Plaxis report – řez A-A‘


6.1.1 Materiály

Identification number		2
Identification		(meta) diority
Soil model		Jointed Rock
Drainage type		Drained
Colour		
γ_{unsat}	kN/m ³	26,50
γ_{sat}	kN/m ³	26,60
E_t	kN/m ²	20,00E6
ν_{nt}		0,2000
E_n	kN/m ²	20,00E6
ν_{ts}		0,2000
G_{nt}	kN/m ²	8,330E6
Number of planes		2 planes
c_1	kN/m ²	5,000
ϕ_1 (phi)	°	29,00
ψ_1 (psi)	°	0,000
α_{11} (alpha 1)	°	70,00
Tension cut-off_1		True
Tensile strength_1	kN/m ²	0,000
c_2	kN/m ²	5,000
ϕ_2 (phi)	°	29,00
ψ_2 (psi)	°	0,000
α_{12} (alpha 1)	°	83,00
Tension cut-off_2		True
Tensile strength_2	kN/m ²	0,000
Determination		v-undrained definition
ν_u definition method		Direct
$\nu_{u, equivalent}$ (nu)		0,4950

PŘÍLOHOVÁ ČÁST

Skempton B		0,9866
K _{w,ref/n}	kN/m ²	819,4E6
k _x	m/day	0,5000
k _y	m/day	0,5000
Stiffness determination		Derived
Strength determination		Rigid
R _{inter}		1,000
Consider gap closure		True
Cross permeability		Impermeable
K ₀ determination		Automatic
K _{0,x}		0,5000

Tabulka materiálů – Jointed – Rock

Identification number		1
Identification		F4 CS
Soil model		Hardening Soil
Drainage type		Drained
Colour		
γ _{unsat}	kN/m ³	18,50
γ _{sat}	kN/m ³	18,90
E _{50^ref}	kN/m ²	12,00E3
E _{oed^ref}	kN/m ²	12,00E3
E _{ur^ref}	kN/m ²	36,00E3
c' _{ref}	kN/m ²	25,00
φ' (phi)	°	26,00
ψ (psi)	°	0,000
c' _{inc}	kN/m ² /m	0,000
y _{ref}	m	0,000
Dilatancy cut-off		False
e _{min}		1,000E-9
e _{max}		999,0

Tension cut-off		True
Tensile strength	kN/m ²	0,000
Use defaults		True
K ₀ ^{nc}		0,5616
R _f		0,9000
Determination		v-undrained definition
v _u definition method		Direct
v _u ,equivalent (nu)		0,4950
Skempton B		0,9866
k _x	m/day	8,400E-3
k _y	m/day	8,400E-3
Phase change		False
D _v	m ² /day	0,000
f _{Tv}		0,000
Stiffness determination		Derived
Strength determination		Rigid
R _{inter}		1,000
Consider gap closure		True
δ _{inter}	m	0,000
K ₀ determination		Automatic
K _{0,x}		0,5616
K _{0,z}		0,5616
POP	kN/m ²	0,000
OCR		1,000

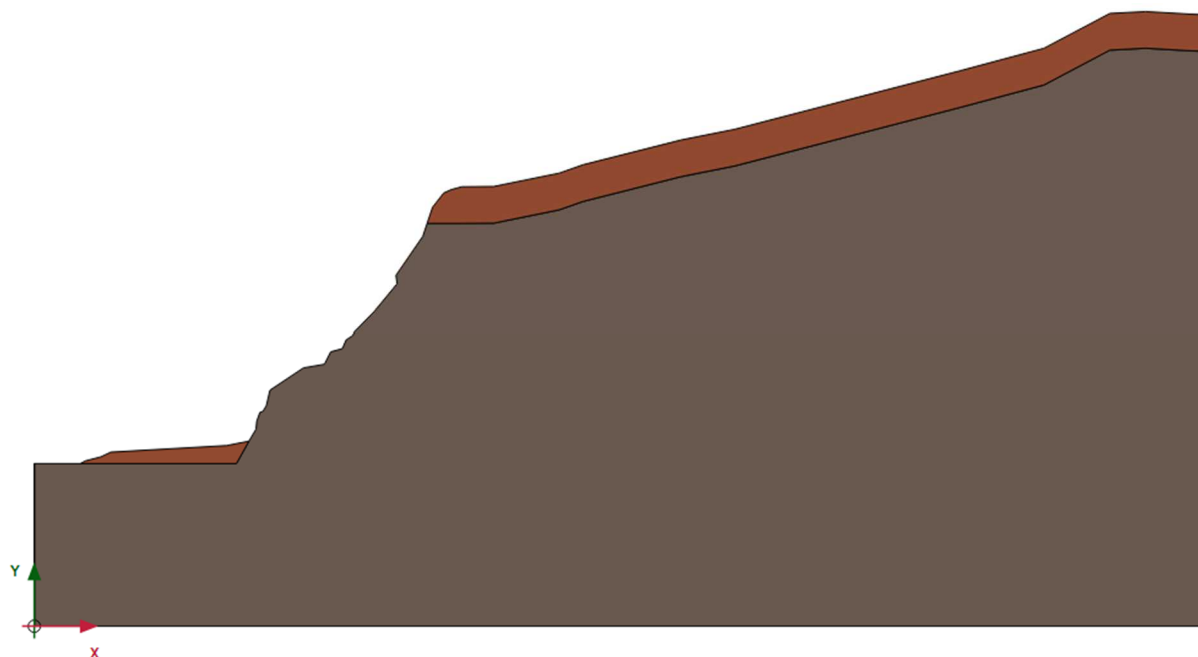
Tabulka materiálů – Hardening Soil

6.1.2 Nastavení výpočtu

Identification ▲	Phase ▲	Start from ▲	Calculation type ▲	Loading input ▲	Pore pressure ▲
Initial phase [InitialPhase]	0	N/A	Gravity loading	N/A	Phreatic
Phase ₁ [Phase ₁]	1	0	Plastic	Staged construction	Phreatic
Phase ₂ [Phase ₂]	2	1	Safety	Incremental multipliers	Use pressures from previous phase

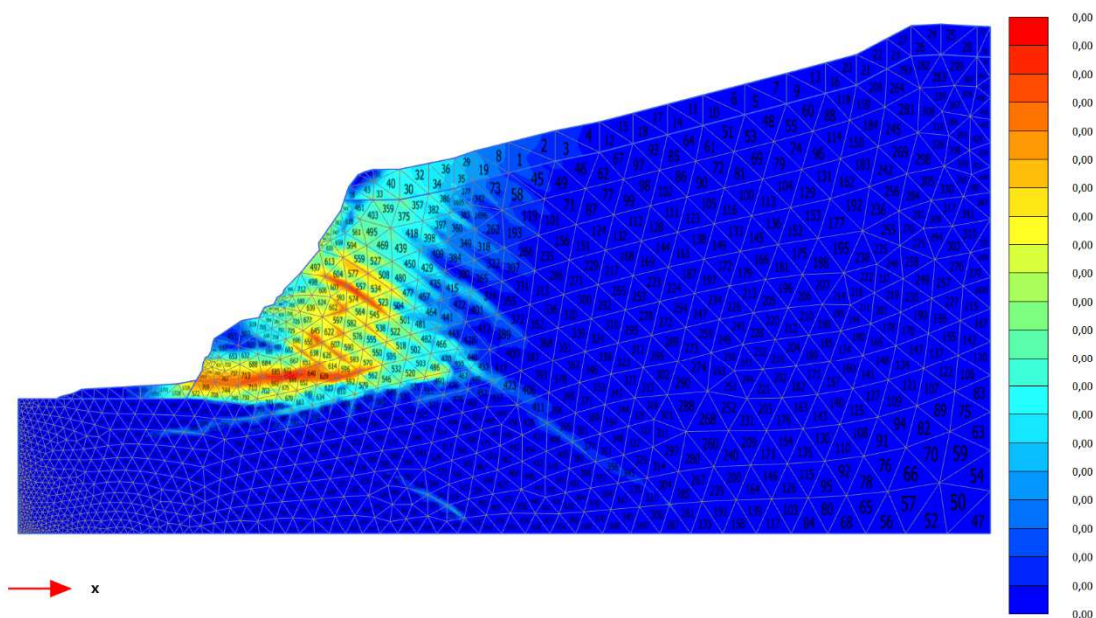
Tab. Nastavení výpočtu

6.1.3 Fáze výpočtu



Initial Phase = Stabilita současného stavu

6.1.4 Total deviatoric strains



Total deviatoric strain γ_s (scaled up 500 times)

Maximum value = $3,847 \cdot 10^{-3}$ (Element 666 at Node 5841)

Minimum value = $0,01121 \cdot 10^{-6}$ (Element 393 at Node 209)

Stabilita současného stavu