

BRNO - Kamenný vrch

Závěrečná zpráva

Sdružení Brno, Kamenný vrch IGHG



Brno, únor 2020

Výtisk č.

Brno –Kamenný vrch IGHG zast. GEOTest, a.s.
Šmahova 1244/112, 627 00 Brno
IČO: 46344942 DIČ: CZ 46344942

tel.: **548 125 111**
fax: **545 217 979**
e-mail: **geotechnika@geotest.cz**

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

Číslo a název zakázky: **19 7498 Brno –Kamenný vrch, ighg**

Objednatel: Magistrát města Brna, bytový odbor ,Malinovského náměstí 3, 601 67 Brno

Evidenční č. Geofondu: 62/2020

Brno – Kamenný vrch
inženýrskogeologický průzkum v Brně v místech nové bytové
výstavby Kamenný vrch II – I. etapa pro zjištění základových
poměrů nově projektovaných bytových domů

Odpovědný řešitel: **Ing. David Rupp**

Zpracovali: **Mgr. Pavel Řezníček**

Mgr. Zuzana Šišková

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

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

RNDr. Lubomír Klímek, MBA

ředitel společnosti GEOTest, a.s.

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

jednatel společnosti Projekce iGEO s.r.o.

Brno, únor 2020

Výtisk č.

Rozdělovník:

Výtisk č. 1 - 3: Magistrát města Brna, bytový odbor

4: Geofond Praha

5: Archiv a.s. GEOtest

6: Archiv Projekce iGEO, s.r.o.

Obsah:

1. Úvod	1
2. Provedené práce	2
3. Přehled přírodních poměrů	6
4. Inženýrskogeologické poměry	10
5. Geomechanické vlastnosti zemin	12
6. Hydrogeologické a hydrologické poměry a realizace vsakovací zkoušky	13
7. Petrologický a mikropaleontologický výzkum	17
8. Tektonická stavba	18
9. Stabilita svahu	18
10. Doporučení pro projekci pozemních komunikací	18
11. Technický závěr	19
12. Použité prameny	21

Seznam příloh:

1. Přehledná situace zájmového území	měřítko 1 : 25 000
2. Situace průzkumných sond	měřítko 1 : 1 000
3. Geologické profily průzkumných vrtů	
4. Geologické profily a interpretace penetračních sond	
5. Geologické řezy zájmovým územím	
6. Geofyzikální průzkum	
7. Výsledky laboratoře mechaniky zemin	
8. Výsledky laboratoře mechaniky hornin	
9. Výsledky hydrochemických laboratoří	
10. Stabilitní výpočty	
11. Měřičská zpráva	
12. Fotodokumentace	

1 Úvod

Na základě průzkumu trhu na „Zajištění podrobného geologického průzkumu na akci Bytová výstavba Kamenný vrch II – I. Etapa“, kterou dne 9. 10. 2019 vypsali Bytový odbor Magistrátu města Brna, byla dne 7. 11. 2019 vypracována cenová nabídka inženýrskogeologických a geotechnických prací. Předmětem požadovaného průzkumu bylo ověření geologické stavby a určení geotechnických vlastností zemín v prostoru uvažované výstavby nových bytových domů v lokalitě Kamenný vrch II v Brně. Podmínky provádění díla, doba plnění smlouvy, cena a platební podmínky jsou zakotveny ve Smlouvě o dílo uzavřené mezi výše uvedenými subjekty dne 12. 12. 2019, jejíž nedílnou součástí byl i výše zmíněný projekt inženýrskogeologických prací.

Zájmové území se nachází v městě Brně v katastrálním území Nový Lískovec, kde vykonává samosprávu stejnojmenná městská část. Zájmový prostor je z jihu ohraničen ulicí Petra Křivky a z východu ulicí Koniklecovou, na severu a na západě je hranice umístěna do bývalé zahrádkářské kolonie, která je v současnosti zarostlá náletovými dřevinami. Celé území má velikost cca 150 x 250 m a objednatel zde chce vybudovat několik řad bytových domů s městskými byty.

Objednatel nám před zahájením prací předal situaci zájmového území s vyznačením půdorysu nově projektovaných bytových domů a infrastruktury a souhlas se vstupem na dotčené pozemky.

Náplň požadovaných průzkumných prací byla následující:

- Rešerše předchozích inženýrskogeologických průzkumů v zájmové lokalitě
- Zjištění průběhu podzemních inženýrských sítí pro potřeby průzkumných prací
- Provedení průzkumných vrtů a penetračních sond včetně jejich geodetického zaměření
- Provedení 2 vsakovacích zkoušek pro posouzení filtračních vlastností a možnosti vsaku
- Provedení laboratorních rozborů zastižených zemín, hornin a podzemní vody
- Zpracování závěrečné zprávy, která bude obsahovat:
 - Vypracování inženýrskogeologických řezů zájmovou lokalitou
 - Zhodnocení geotechnických vlastností zemín
 - Doporučení pro zakládání bytových domů
 - Doporučení pro další etapy průzkumu

Závěrečná zpráva je zpracována v tištěné formě (3 výtisky pro objednatele) a v digitální formě na CD (formát pdf).

2 Provedené práce

Práce byly započaty ihned po podpisu smlouvy přípravnými pracemi. V rámci přípravných prací došlo k vytýčení projektovaných míst jednotlivých průzkumných sond, byli osloveni potenciální správci inženýrských sítí, byl zaslán projekt na krajský úřad, byla informována MČ Brno – Nový Lískovec a proběhla registrace zakázky na Geofondu. Zároveň průběžně probíhaly řešerše výsledků archivních sond. Na počátku ledna 2020 byly započaty terénní práce. Dle smlouvy o dílo mělo být realizováno 32 jádrových vrtů o souhrnné délce 220 bm a 24 penetračních zkoušek o souhrnné délce 240 bm. Z vrtných jader měly být odebrány vzorky pro laboratorní rozbor mechaniky zemin a hornin. Dále měly proběhnout dvě vsakovací zkoušky za účelem posouzení možnosti zasakování dešťové vody. Terénní práce byly na lokalitě v Brně na Kamenném Vrchu realizovány ve dnech 6. 1. – 6. 2. 2020.

Při vypracovávání cenové nabídky bylo objednatelem přislíbeno zajištění možnosti vstupu na místa projektovaných sond, neboť výrazná většina zájmového území je pokryta hustými náletovými dřevinami téměř bez možnosti přístupu osob. Objednatelem zajištěný dendrolog však v polovině prosince 2019, kdy probíhalo odstraňování náletových dřevin, povolil pouze vykácení jím určených koridorů, čímž přístupnost mnoha projektovaných míst především pro kolové soupravy znemožnil. Vzhledem k dříve popsaným skutečnostem a vzhledem k morfologii terénu (dřívější terásy zahrádkářů a zbytky plotů) bylo nutné rozsah prací změnit podle dostupnosti pro sondážní mechanismy. Tam, kde bylo možné se dostat těžkou technikou, byly realizovány sondy, které kombinovaly jádrové vrty, statické penetrace a dynamické penetrace (ČSN EN 1997 doporučuje kombinace různých metod). V místech kde nebyl možný přístup pro kolovou a pásovou mechanizaci byly prováděny těžké dynamické penetrace a jádrové dynamické penetrace pomocí přenosné penetrační soupravy. Na dobře přístupných místech byly prováděny jádrové vrty a statické penetrace s velkou protizátěží. Vzhledem k tomu, že charakter zemin neumožňoval na některých místech přenosné penetrační soupravě dosáhnout skalního podloží (což bylo vedlejším úkolem průzkumných prací), ve spodní části svahu bylo skalní podloží zastihováno až ve velkých hloubkách a některé sondy byly na velmi těžce přístupných místech byla po dohodě s objednatelem část sond vynechána a síť průzkumných sond byla doplněna geofyzikálními profily.

Vrty realizovala firma LTgeo s.r.o. vrtnou soupravou URB 2,5A na podvozku ZIL. Během vrtání bylo průběžně odebíráno jádro, které bylo ukládáno do strojních vzorkovnic. Pro rotační vrtání byly užity TK korunky průměru 245 mm a 156 mm a v průběhu vrtných prací byly odebírány vzorky pro laboratorní zkoušky.

Dynamické jádrové penetrace, což je úderové vrtání, byly provedeny v místě, kam se nebylo možné dostat vrtnou soupravu na podvozku nákladního automobilu a bylo třeba popsat skladbu zemin. Byly provedeny 2 ks o celkové metráži 10,6 m. Průměr jádra je 40 mm. Sondy provedli pracovníci Projekce iGEO s.r.o.

Ve vrtném jádru (v jádrovnicí) byla po odvrtání měřena neodvodněná smyková pevnost (cu v kPa) za využití vrtulkové zkoušky podle BS 1377-7 a vyhodnocení podle ČSN EN 1997-2. Po geologické dokumentaci, odběrech vzorků zemin a podzemní vody a změření ustálené hladiny podzemní vody bylo jádro použito k záhozu vrtů. Geologické popisy vrtů realizovali pracovníci Projekce iGEO s.r.o. Popisy zastižených geologických profilů jednotlivých provedených jádrových sond jsou náplní přílohy č. 3, jejich fotodokumentace tvoří přílohu č. 12.

Statické penetrační sondy byly prováděny společností Terratest s.r.o. pomocí statické penetrační soupravy typu GOUDA Holland s tlačnou kapacitou 200 kN na podvozku nákladního vozidla TATRA T 815 a GEOTestem a.s. samohybnou penetrační soupravou PAGANI TG 63/150

s tlačnou silou 150 kN. Vlastní CPTM bylo prováděno mechanickým zkouškou TM2 s použitím hrotu typu M2. Sondy byly ukončeny v neogenních bazálních klastikách, když už nebylo možné pro vysoký odpor zeminy vůči zatlačení pokračovat. Průzkum byl realizován podle ČSN EN ISO 22476-12. Vyhodnocení proběhlo podle ČSN EN 1997-2 a případně dalších publikovaných postupů.

Hlavní objem prací je složen z penetrací dynamických, které prováděli pracovníci společnosti Projekce iGEO s.r.o. Průzkumné sondy byly realizovány automatickou dynamickou penetrací typu STITZ. Práce byly prováděny podle ČSN EN ISO 22476-2. Vyhodnocení záznamů penetračních sond bylo provedeno podle postupů uvedených v ČSN EN 1997-2 a případně dalších publikovaných postupů.

Penetrační sondy byly ukončeny na vrstvách, které nebylo možné protlačit nebo by mohlo dojít ke zlomení tyčí. Interpretace provedených sond statické a dynamické penetrace s průběhem jejich sondáže jsou náplní přílohy č. 4.

Přehled o hloubkách jednotlivých průzkumných sond a odebraných vzorcích zemin a podzemní vody v provedených sondách podává tabulka č. 2.1.

Tabulka č. 2.1: Soupis provedených průzkumných sond a odebraných vzorků

označení sondy	hloubka sondy [m]	hloubka odběru vzorků zemin a podzemní vody [m]				
		Třída 4 (B)	Třída 3 (B)	Třída 2 (A)	Třída 5 (C)	voda
DP101	2,6					
DP102	6,9					
DP103	8,5					
DP104	14,3					
DP105	14,5					
J107	20,0					
SP108	15,6					
DP109	10,2					
DP110	19,2					
DP112	25,0					
J113	22,0					
SP113	20,0					
SP114	17,8					
DP115	11,7					
J117	9,0					
DP118	6,6					
SP120	12,6					
DP121	10,5					
J122	18,0	0,8-2,0	8,3-8,4; 8,7-8,8; 17,2-17,3; 17,4-18,0	5,9-6,0; 6,6-6,7		12,7
DP123	9,1					
J125	15,0	0,8-1,6		8,0-8,1; 9,9-10,0		
DP127	17,6					
J128	20,0		19,6-19,8		5,3-5,5; 8,0-8,15; 9,3-9,4; 13,25-13,35	
DP129	18,7					
J131	11,0			9,9-10,0; 10,9-11,0		
DP132	13,5					
J133	15,0					
DP134	16,9					
J135	14,0		12,6-13,0			
DP136	7,1					
DPJ137	6,0					
SP140	3,6					
SP141	2,4					
DP143	4,1					
DP144	7,5					
DPJ145	4,6					
DP146	5,6					
J148	12,0					

Hydrogeologický průzkum provedli pracovníci GEOTestu a.s. Jednalo se o vsakovací zkoušky do předem vystrojeného vrtu J117 a také do bagrované sondy v místech archivní sondy S16.

Geofyzikální měření realizovala společnost Kolejconsult & servis s.r.o. byla sestavena ze 4 měření za pomoci multikabelu – elektrická refrakční tomografie (ERT) a jednoho profilu mělkou refrakční seismikou (MRS). Celkově bylo realizováno 612 m těchto profilů a 141 m MRS. Výsledky tohoto geofyzikálního průzkumu jsou náplní přílohy č. 6.

Místa jednotlivých průzkumných sond a linie inženýrskogeologických řezů jsou přehledně vynesena v situaci v měřítku 1 : 500 v příloze č. 2, souhrnné délky jednotlivých typů terénních prací jsou náplní tabulky 2.2

Geologická stavba a inženýrskogeologické poměry zájmového území jsou vykresleny a prezentovány v osmi zkonstruovaných **inženýrskogeologických řezech** označených A-A' až H-H' v měřítku 1 : 250 a 1:100 v příloze č. 5.

Z vrtů byly během hloubení odebírány vzorky zemin pro stanovení jejich geotechnických parametrů a vzorek podzemní vody pro laboratorní zjištění její agresivity na betonové konstrukce. **Výsledky laboratorních zkoušek zemin** a chemických rozborů vzorků podzemní vody provedených v akreditovaných laboratořích mechaniky zemin, v laboratořích mechaniky hornin a hydrochemických laboratořích akciové společnosti GEOTest jsou prezentovány v přílohách č. 6 až 9.

Tabulka č. 2.2: Souhrn provedených průzkumných prací

Typ polní zkoušky	Souhrnná délka [m] / počet kusů
Jádrový vrt	156,0 / 10
Dynamická jádrová penetrace	10,6 / 2
Dynamická penetrace	230,1 / 20
Statická penetrace	72,0 / 6
Elektrická refrakční tomografie (ERT)	612 / 4
Mělká refrakční seismika (MRS)	141 / 1
Vsakovací zkoušky	- / 2
Vzorek třída 2A (neporušený)	- / 6
Vzorek třída 3B (porušený)	- / 5
Vzorek třída 4B (technologický)	- / 2
Vzorek třída 5C (petrografický)	- / 4
Vzorek vody	- / 1

Z vrtu J128 byly odebrány čtyři vzorky zemin pro **mikropaleontologický a petrografický rozbor**, který v rámci činnosti České geologické služby provedl doktor Bubík.

Geodetické zaměření realizovaných sond provedli pracovníci střediska geodézie akciové společnosti GEOTest v souřadném systému JTSK a výškovém systému Balt po vyrovnání. Souřadnice jednotlivých sond jsou prezentovány v měřické zprávě, která tvoří přílohu č. 10.

3 Přehled přírodních poměrů

Geologická skladba je v místě průzkumných prací dosti složitá a nebyl na její stáří a strukturu předložen jednoznačný názor. Zeminy, které jsou situovány v podloží, někteří považují za kvartérní usazeniny typu svahovin, jiní za mořská klastika. Na základě výsledků paleontologického a petrografického rozboru vzorků odebraných ČGS lze uvést, že se jedná o proluvium, které vzniklo akumulací nevytříděných štěrků, písků a jílu, které prošly dlouhým procesem konsolidace patrně před ottngem (v neogénu). *Proluvium jsou nedostatečně tříděné klastické sedimenty ukládané občasnými prudkými toky při úpatí hor v aridních i periglaciálních podmínkách. Syn. uloženiny proluviální, suchých delt, www.geology.cz.*

Klimatické poměry

Klimaticky se oblast nachází v teplé oblasti (Quitt, 1971). Tato oblast lze charakterizovat dlouhým, teplým a suchým létem. Zima je krátká, mírná a suchá. Přechodná období jsou krátká s mírným jarem a teplým podzimem, krátké trvání sněhové pokrývky. Zemina dle zkušenosti promrzá do hloubky max. 0,6m. Klimatické charakteristiky dle Quitta (1971) uvádí tab. 3.1.

počet dnů s průměrnou teplotou nad 10°C	170 - 180			
počet letních dnů	60 - 70			
počet mrazových dnů	100 - 110			
počet ledových dnů	30 - 40			
počet dnů se srážkami nad 1 mm	80 - 90			
počet dnů se sněhovou pokrývkou	40-50			
průměrné srážky ve vegetačním období	300 - 350			
průměrné srážky v zimním období	200 - 300			
průměrné teploty	leden	duben	červenec	říjen
	-2 až -3°C	9 - 10 °C	19 - 20 °C	9 - 10 °C

Tab. 3.1: Průměrné klimatické charakteristiky podle Quitta (1971).

Srážky

Pro město Brno norma ČSN 75 9010 v tab. A.2 doporučuje uvažovat s 43,8 mm srážek za 4 h, 50 mm za 10 hod., 53,2 mm za 24 h a 70,9 mm za 72 h. Je nezbytné, aby dešťová voda spadlá během 24 h byla schopná vsáknout během 24 h. Jedná se o periodicitu srážek s opakováním 0,1 za rok.

Vzhledem ke klimatickým změnám přicházejí i neočekávané přívalové deště. Pro extrémní situaci bychom doporučili uvažovat se spadem dešťové vody 35 mm/h, tento objem nemusí být rozšiřován koeficienty bezpečnosti.

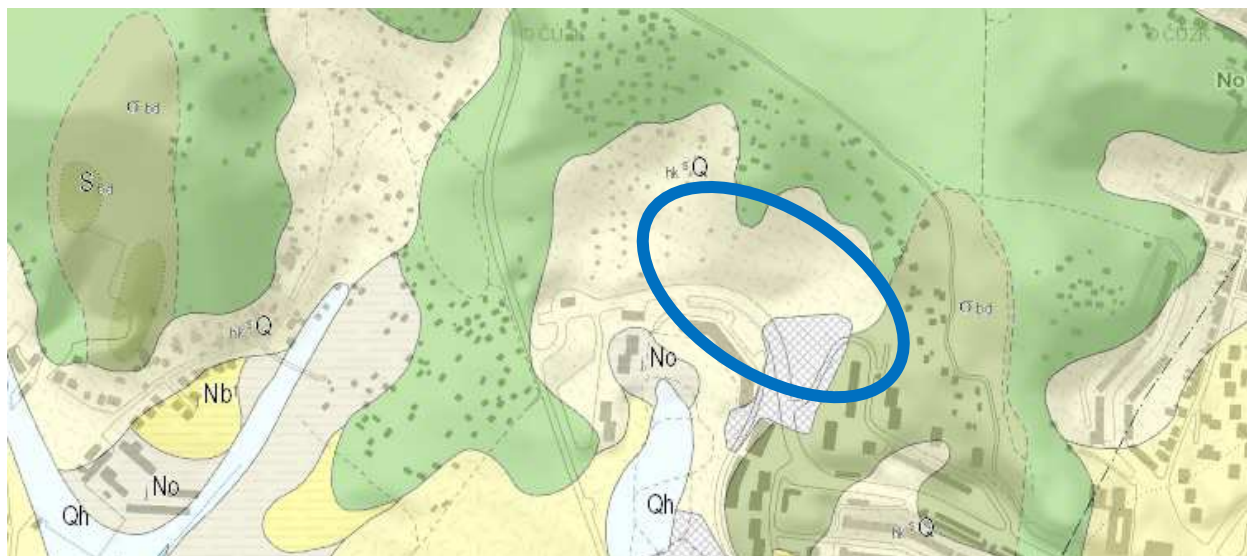
Geomorfologie

Zájmová oblast, kde je uvažováno s výstavbou obytného souboru Kamenný vrch II (dále KV II), se nachází na jižním okraji tzv. Kohoutovické vrchoviny, která je součástí celku Lipovské vrchoviny. Zájmový prostor má proměnlivě ukloněný svažité terén s nárůstem sklonu severním směrem. V jižní části je sklon terénu do 7° a severním směrem stoupá až na sklon cca 27°. Velikost sklonu závisí přímo na typu a pevnosti zemin a hornin, které budují daný svah. Skalní horniny budují strmé svahy. Zeminy jemnozrnné je možné identifikovat na rovinách a v mírných svazích. Na zkoumaném území je plynulý sklon ve střední části porušen spádníkovou depresí. Svah je částečně zarostlý stromovým porostem a křovím. Je částečně využíván rekreačně

(zahrádky), ve vrcholové části pod ulicí Travní jsou některé objekty využívány k trvalému bydlení.

Geodynamické jevy a geohazardy:

Sesuvy – ano, poddolování – ne, zátopová oblast – ne, seismicitá (ČSN EN 1998) – ne.



Obr. 3.1: Výřez geologické mapy zkoumané oblasti (modrá elipsa), vysvětlivky: σ_{bd} - amfibolický až biotit-amfibolický diorit až metadiorit, S_{bd} - nerozlišené ultramafické horniny, metagabro až metadiorit, ${}_jNb_1$ - šedé vápnité jíly (baden), ${}_jNo$ - jíly (ottnang), h^sQ - svahové hlinitokamenité až kamenitohlinité sedimenty, zdroj www.geology.cz, bez měřítka

Geologický vývoj oblasti

Město Brno se rozkládá na styku dvou různých regionálně geologických jednotek: střeoevropské variscidy (Český masiv) a Západní Karpaty. Západní Karpaty nejsou sice přímou součástí, ale při subdukci Českého masivu pod Alpy a Karpaty vznikla předhlubeň, která byla zalita mořskou vodou. Na masiv bylo uloženo velké množství klastických mořských pokryvných útvarů, které se vyskytují i v okolí posuzovaných parcel. Karpatská předhlubeň často zasahuje v hlubokých údolích a přiléhajících jako platformní pokryv hluboko na Český masiv. V následujících odstavcích budou tyto jednotky popsány z hlediska geologického a současně bude nastíněn jejich odlišný vývoj.

Český masiv je pozůstatkem horstva, které bylo vytvořeno během variské orogeneze v mladších prvohorách (během 380 až 310 miliónů let před současností) konsolidací různých geotektonických celků. Pohoří tvořilo v Evropě jeden rozsáhlý pás, jehož pozůstatky můžeme nyní pozorovat od Pyrenejského poloostrova, přes Francii až do střední Evropy. K vyklenutí masivu a následujícímu obnažení nejstarších hornin došlo až během alpínského vrásnění, kdy na jv. okraj byly natlačeny Karpaty. Následná eroze vtiskla reliéfu současnou tvárnost (občasné došlo k prokopírování dřívějších údolí, které byly vyplněny měkkými polosklanými horninami). Z petrologického hlediska je masiv tvořený převážně magmatity a méně metamorfity, na nichž spočívá na některých místech až několik km mocný sedimentární pokryv (proterozoikum až kvartér). Východní část Českého masivu v okolí Brna je pojmenovaná jako brněnská jednotka.

Brněnská jednotka - bývalý mikrokontinent - je rozdělena na západní a východní kru, které dříve tvořily dva dílčí samostatné mikrokontinety. Mezi krami je situován šev (ofiolit), tzv. metabazaltová zóna, probíhající přes město Brno ve směru téměř S-J. Jedná se o tzv. ofiolit, kde jsou převažující metamorfované bazalty a intruzivní masívy dioritu (dioritová zóna, ozn. δa_d).

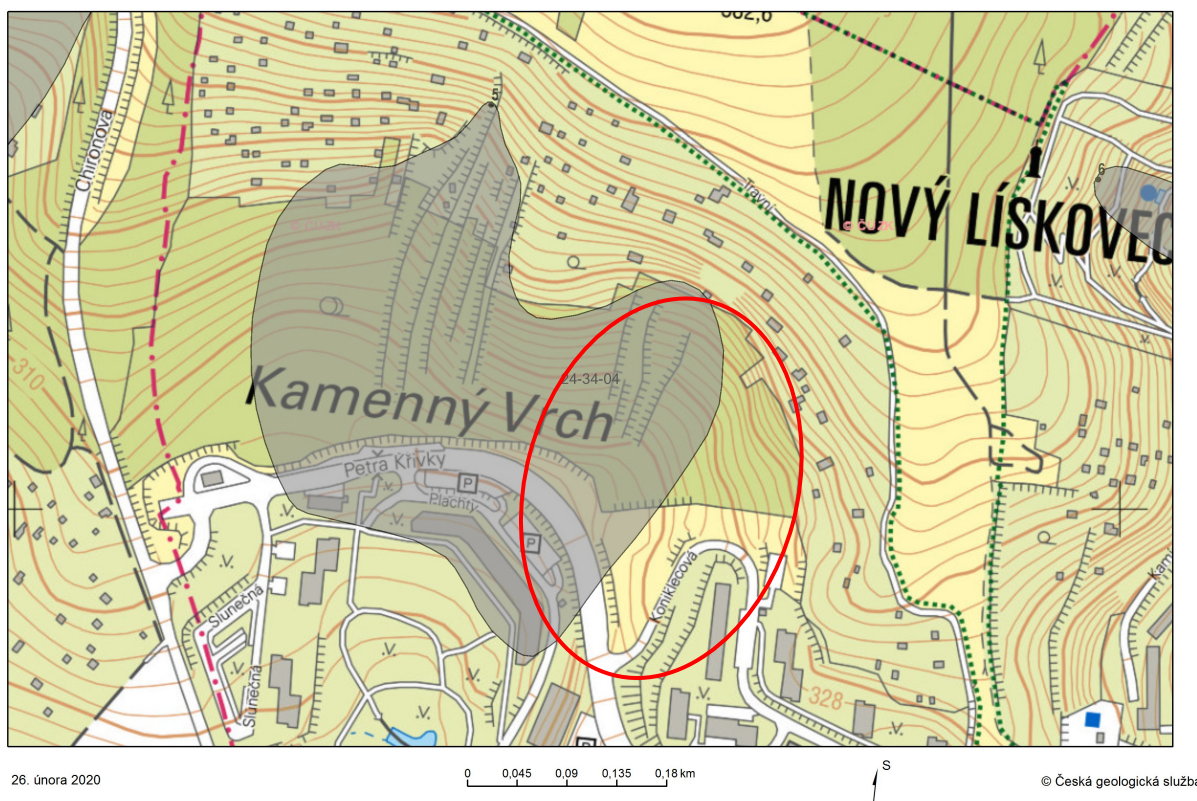
Obsahuje v širší oblasti různě velká tělesa ultrabazických, serpentinizovaných a uralitizovaných hornin. Povrchová část dioritového masívu (poblíž místa průzkumu) je silně až zcela zvětralá a místy až rozložená na reziduální zeminy (šterkové eluvium). Tyto zvětraliny bývají často pokryty mladšími zeminami (např. neogenními jíly).

Západní kru tvoří několik „I“ typů granitoidů (vznikly přetavením magmatitu), které intrudovaly (přibližně před 585 MA) do klastických hornin charakteru drob a pískovců s občasnými vulkanity. Během intruze byla některá klastika metamorfována až do amfibolitové facie. Jádru východní kry je tvořeno intruzemi granitoidu typu „S“ (vznikl přetavením sedimentu). Nejstarší pokryvné sedimenty pochází z devonu. Jedná se o červená slepence a pískovce facie „old red“ a následují šedé až bílé vápence viditelné dnes jako tektonický relikt Moravský kras. Tyto vápence byly v době vrcholícího variského vrásnění (starší karbon) překryty mocnými usazeninami slepenců a drob (mimo Brněnskou aglomeraci). Následovalo období převážné eroze s dílčími mořskými transgrese (jura, křída). Horniny brněnského masívu (proterozoické) se nacházejí blízko povrchu v severních částech KV II a v části jižní je překrývají předkvarterní zeminy marinní, brakické a proluviální.

Západní Karpaty jsou částí rozsáhlého pásebného pohoří, které se táhne od Pyrenejí až do Himalájí. Jeho vznik a vývoj spadá převážně do třetihor (alpínské vrásnění). Hlavním podnětem pro vznik pohoří byla srážka africké a indické kontinentální litosférické desky se severněji položenými kontinenty - zejména Euroasíí. Během této srážky docházelo k zániku paleooceánu Tethys. Pohybující se masy strhávaly z mořského dna velké množství sedimentů, které pak hrnuly před sebou. Jedná se o flyšové akumulace na východní a jihovýchodní Moravě. Ke konci vrásnění došlo k připojení jižně situovaných mikrokontinentů k Eurasii a ke zpevnění v jeden celek.

Karpatská předhlubeň je podélná sníženina na předpolí karpatského horstva, která je od severozápadu lemovaná vyklenutým Českým masivem a od jihovýchodu karpatským pohořím. Pokleslou oblast několikrát zalilo neogenní moře a uložilo zde několik stovek metrů písků/pískovců, jílu a šterků. Během regresí docházelo k erozi uložených zemin (hornin), kdy se vodní toky zařezávaly do usazenin a z vypreparovaných pahorků docházelo k sesouvání a kutálení svahovin a ke skalnímu říční. Během tohoto období eroze a vyklízení údolí vznikalo velké množství výplavových kuželů a akumulací nevytříštěných svahovin (proluvium). Tyto zeminy byly mnohde erodovány mořskou transgresí; případně zůstaly zachovány v tektonicky podmíněných údolích.

Po ústupu moře spojeného s poklesem napětí v litosféře nastávaly na zlomech poklesové pohyby a začala rychlá eroze jílu, která byla způsobena zejména erozivní činností řek ale i plošnou erozí spojenou se zvětráváním a rekrytalizacemi slíd a jílových minerálů. Původní říční koryta byla vyklízena od jílových usazenin a současně docházelo k erozivní činnosti v nově vznikajících údolích (založených na poklesových zlomech). Jíly tak byly porušeny velkým množstvím různě orientovaných zlomů. **Do zahlubujících se údolí z důvodu poklesu stability mířily sesuvy různě velkých jílových ker** (které byly posléze opět erodovány). Docházelo k mísení jílu i s pleistocenními šterkovými terasami. Dle údajů na serveru ČGS byl v západní části zájmového území v roce 2011 vymapován dočasně uklidněný plošný sesuv velikosti cca 430 x 420 m, který bude zasahovat i do území s uvažovanou další etapou výstavby bytových domů. Na povrchu skalního podloží jsou z lokality i jejího okolí známy i fosilní sesuvy zvětralin na povrchu skalního podloží, které souvisí s ústupem třetihorního moře, a jsou zakryty kvarterními sedimenty. Situace vymapovaného sesuvu je na následujícím obrázku.



Obr. 3.2: Výřez z mapy svahových nestabilit zkoumané oblasti (červená elipsa),

Kvartérní pokryv tvoří přípovrchové souvrství v celém zájmovém prostoru. Je tvořeno různými typy hlinitých sedimentů s různým podílem pískové a štěrkové příměsi deluviální geneze (svahoviny). Tyto zeminy jsou velmi mobilní a akumulují se na rovinách a na mírných svazích. Mocnost kvartérního klesá severním směrem (proti svahu).

Tektonická skladba v podloží města Brna je velmi složitá založená na přítomnosti kontaktů různých hornin; k jejichž sblížení došlo během 2 významných vrásnění: hercynské a alpínské. První vrásnění probíhalo během končících prvohor a Český masiv výrazně zasáhlo. Ve městě Brně se jedná zejména o násunové struktury jejichž orientace je zejména S-J a případně také SZ-JV. Tyto zlomy porušily zejména okolí ofiolitové zóny. Po ukončení horotvorných pohybů následovala etapa gravitačního rozpadu vzniklého velehorstva, které se projevilo vznikem hlubokých depresí a poklesových zlomů orientace SSV-JJZ. Během alpínského vrásnění byly aktivní zejména zlomy orientace SZ-JV a SV-JZ. První orientace patří zejména subvertikálním zlomovým systémům, které nově vznikaly, ale zejména došlo k reaktivaci systémů starších. Druhý systém je spjatý s násunou (SV-JZ).

Hydrogeologické poměry

Studovaná lokalita Kamenný Vrch je součástí hydrogeologického rajonu základní vrstvy 2241 Dyjsko-svratecký úval a hydrogeologického útvaru podzemních vod 22410 Dyjsko-svratecký úval (Olmer, 2006). Dyjsko-svratecký úval představuje hydrogeologickou pánev přiléhající k českému masívu. Geologicky se jedná o opakovaně se vytvářející pánev vyplněnou neogenními sedimenty různého stáří. Hydrogeologická pánev je součástí hydrogeologických struktur průlinových podzemních vod neogénu karpatské předhlubně (Michlíček, 1986).

Hydrologicky je oblast brněnského masívu se svými miocenními výběžky součástí dílčího povodí třetího řádu 4-15-01 Svratka po Svitavu a čtvrtého řádu 4-15-01-1580 Leskava s plochou

dílčího povodí 20,626 km². Tyto miocéní sedimenty jsou překryty kvartérními uloženinami, které jsou zejména reprezentovány fluviálními a eolickými sedimenty (sprašemi), v menším rozsahu také deluvioeolickými, svahovými, splachovými či antropogenními sedimenty (Kryštofová a Burda, 2016). Pro lokalitu Kamenný Vrch je typický výskyt svahových jílovitých, hlinitokamenitých až kamenitohlinitých sedimentů s různým podílem pískové a štěrkové příměsi deluviální geneze s občasným výskytem antropogenní navážky.

Hydrogeologické poměry charakterizuje **nesouvislá zvrstvení** v propustnějších částech kvartérního souvrství. K jejímu doplňování dochází vlivem atmosférických srážek (Hanák, 2017). Podložní neogenní soudržné jíly, vápnité jíly a slíny vytvářejí pro pohyb podzemní vody velmi nepříznivé prostředí. Dochází ke vzdouvání proudící vody a voda působí na okolí vztlakem. V místech, kde jsou zeminy s velkým koef. filtrace je hladina podzemní vody volná. Zdrojem jsou atmosférické srážky. Zájmový prostor má proměnlivě ukloněný svažité terén s nárůstem sklonu severním směrem. Generální měř proudění podzemní vody je (po spádnicí svahu) od severovýchodu k jihozápadu.

Na základě rešerše archivních záznamů vrtné prozkoumanosti bylo zjištěno, že ustálená hladina podzemní vody se v okolí plánované výstavby obytných budov A1 až A4 a B1 a B2 pohybuje v rozmezí od 300,7 (vrt S-96) do 303,4 (vrt S-78) m n. m., v okolí budov C1 až C4 od 307 (S-88) do 302,3 (S-77) m n. m. a v okolí budov D1 až D3 a E1 až E4 v rozmezí od 313,4 (S-89) do 309,7 (S-82) m n. m. (Hanák, 2017).

Zájmová lokalita není součástí CHOPAV, LAPV a ani zde nejsou evidovány ochranná pásma vodních zdrojů (heis.vuv.cz).

4 Inženýrskogeologické poměry

Inženýrskogeologické poměry v zájmovém prostoru jsou v této kapitole popsány na základě údajů získaných z realizovaných jádrových vrtů současného průzkumu, z interpretace penetračních sond a z výsledků geofyzikálního profilování. **Geologická stavba v prostoru dotčeném průzkumnými pracemi je přehledně prezentována v osmi inženýrskogeologických řezech A-A' až H-H', které tvoří obsah přílohy č. 5 této závěrečné zprávy.** Nejstarší zjištěné horniny jsou proterozoické v různém stupni zvětrání (diority, metabazalty), na které nasedají nevytříbené chaoticky uložené nehomogenní sutě a nevytříbené proluvium (které zřejmě vnikaly v dobách mořské regrese v neogénu). V partiích s **nízkou mocností** pokryvných útvarů (severní část výše po svahu) je horninový masiv již od svrchní části tvořen **navětranou** horninou, neboť zvětralá rezidua horniny byly v geologické historii odneseny svahovými pohyby dolů po svahu jako proluviální sedimenty. Oproti tomu partie s **vysokou mocností** pokryvných a proluviálních sedimentů (jižní partie v dolní části svahu) byly chráněny těmito sedimenty proti erozi a na jejich povrchu se nachází **významně mocná vrstva** horniny v **rozloženém a zvětralém** stavu.

Mladšími zeminami jsou neogenní proluviální (suchozemská) klastika, která nebyla transformována mořskou transgresí. Klastika jsou složena ze zcela rozložených až zvětralých hornin různého stáří. Jedná se převážně o diority, metabazalty nazelenalé a šedivé barvy proterozoického stáří, žilný křemen, dále červené (až nafialovělé) slepence, pískovce a písčité jílovce devonského stáří. Tyto jmenované rozložené až navětralé klasty chaoticky plavou v jílové hnědé až nazelenalé matrix jílu. Pokud je toto proluvium stáří ottangu, jedná se o akumulace, které zvětrávají už přibližně 18 miliónů roků, což způsobilo většinou kompletní rozklad hornin a z uvedeného důvodu je i problematický popis, zda se jedná o jíl s úlomky a štěrkem, nebo štěrk jílovitý. Častokrát se „štěrk“ rozpadne na jemnější frakce. Celý vrstevní sled je překryt kvartérními kamenitými sutěmi (navětralé až zdravé úlomky dioritů), které jsou

promíseny se sprašovou hlínou, případně se snad jedná přímo o pohřbené spraše. Svrchní partie (hlíny, sutě a jíly) jsou promíseny z důvodu fosilních sesuvů a skalních řícení.

Popis zemin proběhl podle normy ČSN EN ISO 14688 a jako doplněk pro korelaci se staršími výzkumy také podle ČSN P 73 1005 (klasifikace odpovídá ČSN 73 6133).

Kvartérní pokryv

- a) Nejsvrchnější vrstva je v zájmovém území tvořena **navážkami** charakteru písčité hlíny s příměsí štěrku, cihlové drti, hlinitého písku a kusů betonu o mocnosti od několika cm do 2,6 m. Vzhledem k tomu, že se zájmové území nachází v místech zrušené zahrádkářské osady se zbytky plotů, zahradních chatků a terasových záhonků, předpokládáme, že i v místech, kde nebyla sondážními pracemi navážka zjištěna se lidskou prací ovlivněné zeminy, nachází v mocnosti minimálně 20 cm.
- b) Pod vrstvou navážek bylo průzkumnými sondami ověřeno **kvartérní souvrství** deluvioeolických a deluviálních sedimentů tvořené polohami soudržných a nesoudržných zemin, které do sebe průběžně přecházejí. **Soudržné zeminy** představují hlinité a písčité jíly, v nichž je lokálně vložena vrstva písčitých hlín. Toto souvrství je v nadloží omezeno vrstvou navážek a v podloží nasedá na povrch masivu jílu předkvartérního stáří, případně na skalní podloží (v severní části území). Tyto zeminy jsou dle ČSN EN ISO 14688 převážně tuhé až pevné konzistence a jsou klasifikovány jako saCl, clSa, siCl, Cl+Gr a dle ČSN P 73 1005 je lze začlenit do tříd F6 CI až F4 CS. Ve střední části svahu bylo zastíženo těleso sprašových hlín pevné konzistence o mocnosti do 1,6 m, které řadíme dle ČSN EN ISO 14688 do siCl, saCl a podle ČSN P 73 1005 do třídy F6 CI. **Nesoudržné zeminy** kvartérního stáří představují deluviální proměnlivě zajiřované písky se štěrkem. Ty jsou dle ČSN EN ISO 14688 občasné kypře až středně ulehlé saGr, CSaGr, grSa aj. a dle ČSN P 73 1005 řadíme je do tříd S3 S-F až S5 SC a G4 GM až G5 GC.

Předkvartérní podloží je v zájmovém prostoru budováno proměnlivě písčitymi jíly proluviální geneze, které nasedají na silně zvětralé až rozložené skalní podloží.

- a) **Písčité jíly s ojedinělými rozloženými úlomky podložní horniny** jsou pravděpodobně neogenního stáří (ottnang?), ovšem toto nebylo žádnou přesnou metodou potvrzeno a mohou být i starší. Jíly nemají mikropaleontologickou informaci; nebylo možné stanovit stáří. Tyto jíly s příměsemi vznikly jako zvětrávací relikt podložního dioritového masivu s mladšími horninami (které se už na současném svahu nevyskytují), který byl ve formě splachů a sesuvů přemístěny k patě svahu. Jíly mají dle ČSN EN ISO 14688 pevnou až velmi pevnou konzistenci a množství písčité a štěrkovité příměsi se ve vertikálním i horizontálním směru výrazně mění. Vzhledem k tomu, že jíly obsahují velké množství různě rozložených klastů hornin (i celých balvanů, bloků až šupin horniny), může ve vrtném jádře zemina přecházet až do jílovitého písku apod. Tyto bloky jsou patrné v řezu ERT nazelenalou barvou, kdy jsou obklopeny tmavě až světle modrou (satureovaný jíl). Dle ČSN EN ISO 14688 se jedná o variabilní zeminy saCl, siCl, clSa, FsaCl+Gr aj. Dle ČSN P 73 1005 můžeme tento materiál radit převážně do tříd F6 CI a F4 CS, lokálně však lze očekávat i drobná tělesa a polohy materiálu tříd F8 CH a S5 SC.

Skalní podloží v zájmovém území představuje metabazitová zóna brněnského masivu, která je na lokalitě tvořena metadioritem. Skalní podloží okolí je tektonicky postiženo zlomy směru cca VSV – ZJZ, podél kterých došlo k poklesům a výzdvihům bloků horninového masivu. Horninu lze na základě provedených sond a oborného odhadu zařadit dle ČSN P 73 1005 do tříd R6 – R5. Hlouběji se vyskytují horniny R4 a pevnější, ale tyto horniny nebyly vrtným ani penetračním průzkumem zastíženy. Dynamické penetrace byly zpravidla ukončeny při dosažení počtu 500 úderů/10 cm (což za pomoci interpretačních výpočtů odpovídá zvětralé hornině hodnocené R6/R5).

Hladina podzemní vody (tekoucí) byla naražena pouze některými průzkumnými sondami a vytváří nesouvislou zveď. Pokud by monitoring probíhal delší dobu, je zřejmé, že by se ve vrtech i otvorech po penetracích objevila volná velmi pomalu proudící voda skrz jíly. Vzhledem k tomu, že se střídají zemin, které jsou relativně dobře propustné (a hladina podzemní vody se zde objevila) a jiné téměř nepropustné (nebyl vodě propůjčen dostatečný čas na vyplnění vrtu), je výhodnější pro potřeby mechaniky zemin a zakládání staveb posuzovat saturaci zemin. 100 % satureovaná zemina díky kapilární vztlakovosti posouvá hladinu podzemní vody do vyšších poloh. Nicméně je nutné uvažovat nad postupným nárůstem hydrostatického tlaku za betonovými konstrukcemi.

Provedenými chemickými rozbory vzorku podzemní vody odebraného z vrtu J122 bylo zjištěno, že se jedná o slabě mineralizovanou vodu kterou dle ČSN EN 206+A1 řadíme do třídy **XA1 – slabě agresivní chemické prostředí**. Z hlediska ČSN 03 8375 je její agresivita na ocel **velmi vysoká (IV.)**.

5 Geomechanické vlastnosti zemin

V rámci průzkumu byly realizovány **jádrové vrty**, ze kterých byly na místě přítomným geologem odebírány vzorky zemin. Tyto vzorky byly odvezeny do akreditovaných laboratoří akciové společnosti GEOTest, kde byly podrobeny laboratorním rozborům a zkouškám. Dále byly realizovány sondy **statické penetrace**, jejichž výsledky i bez interpretace je možné podle normy ČSN EN 1997-2 použít k přímé geotechnické projekci plošného i hlubinného založení a sondy **dynamické penetrace**, j jejich záznamu lze pomocí korelačních vztahů odvodit některé geotechnické parametry zastižených zemin.

Mechanické vlastnosti zastižených zemin zjištěné průzkumem vychází z interpretací penetračních sond a z výsledků laboratorních rozborů odebraných vzorků zemin. Interpretace probíhaly pomocí metodik popsáné v ČSN EN 1997-2 a korelační vztahy byly doladěny na základě místní zkušenosti. Jedná se zejména o úpravu koeficientů interpretace za pomoci průkazných laboratorních analýz mechaniky zemin, které mají dle ČSN EN 1997 nevyšší váhu. Výsledky penetračních sond tedy byly „laděny“ tak, aby zeminy, které byly odebrané poblíž penetrační sondy a v dané hloubce vykazovaly podobné vlastnosti (podmínkou byla i stejná litologie).

Mechanické vlastnosti použité do statických výpočtů byly získány primárně na základě laboratorních zkoušek provedených na odebraných vzorcích zemin a výsledky z penetračních zkoušek byly použity pouze na doplnění a upřesnění. **Vzhledem k podezření na sesuvy, byly prováděny převážně krabicové smykové zkoušky, kdy výsledkem byla vrcholová i reziduální smyková pevnost.** Pro korelaci neodvodněné smykové pevnosti penetračních sond (zejména statických), proběhlo testování vzorků třídy 3 (písčitých jílu) v lisu – prostá tlaková zkouška. Výsledky jednotlivých laboratorních zkoušek mechaniky zemin a jsou prezentovány v přílohách č. 7 „Výsledky laboratoří mechaniky zemin“ a č.8. „Výsledky laboratoří mechaniky hornin“.

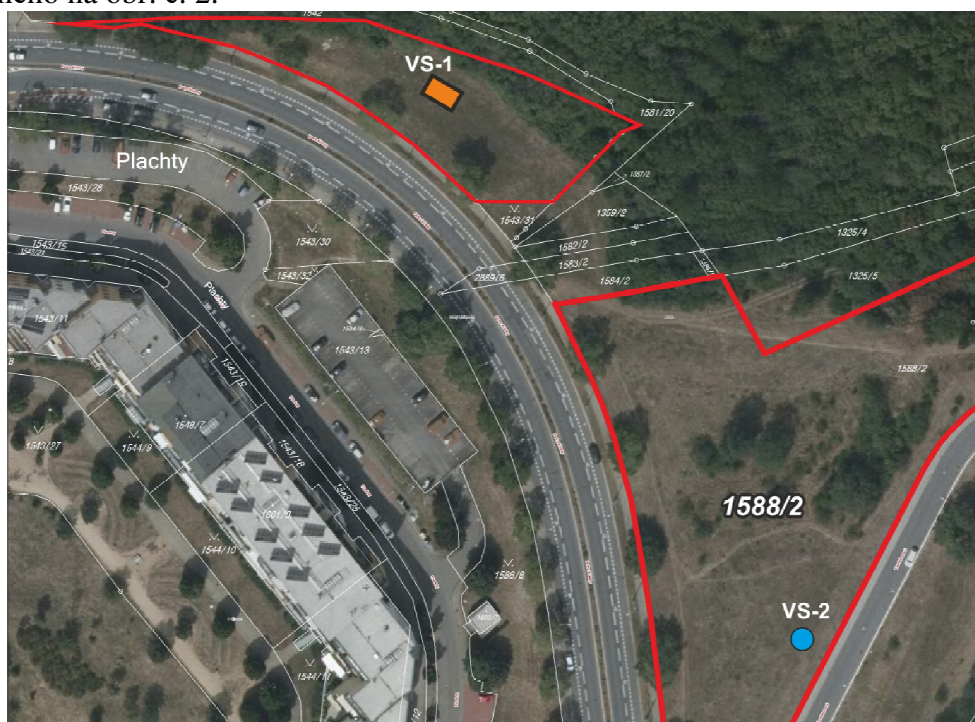
V průběhu průzkumu bylo zjištěno, že charakter zemin v zájmovém území byl v průběhu geologického vývoje postižen tektonickými (skalní podloží a proluviální sedimenty) a svahovými pohyby (pokryvné sedimenty). **Dle výsledků tohoto průzkumu se předpokládá, že jsou tyto pohyby již uklidněny, případně k nim dochází pouze ojediněle v srážkově mimořádně bohatém období a v malém rozsahu.**

Z výše uvedených důvodů (nepravidelné a dosti chaotické střídání jednotlivých typů zemin) nebylo možno vytvořit v zájmovém území více než **3 kvazihomogenní celky (1 – kvartérní svahoviny, 2 – proluviální ?neogenní? jíly se zvětralými a rozloženými úlomky až bloky původní horniny a 3 – navětralé až zvětralé skalní horniny)**. Z tohoto důvodu pro stavební

účely doporučujeme použít hodnoty získané v dané úrovni při provádění penetračního sondování (Příloha 4 „Geologické profily a interpretace penetračních sond“) a hodnoty získané v laboratořích při provádění rozborů odebraných vzorků. Za použití mechanických vlastností je zodpovědný projektant základových konstrukcí, při projekčních pracích doporučujeme vycházet z hodnot použitých ve stabilitních výpočtech nebo je přejmout.

6 Hydrogeologické a hydrologické poměry a realizace vsakovací zkoušky

Za účelem ověření infiltračních schopností horninového prostředí byly dne 10. 2. 2020 realizovány dvě vsakovací zkoušky. V rámci terénních prací byly vyhloubeny dva průzkumné objekty – kopaná sonda (VS-1) a vsakovací vrt J-117 (VS-2). Umístění vsakovacích objektů je znázorněno na obr. č. 2.



Obr. č. 2: Situování vsakovacích objektů VS-1 a VS-2

Vsakovací objekty VS-1 a VS-2 byly vyhloubeny na volné ploše, jejímž vlastníkem je statutární město Brno. Vsakovací objekt VS-1 o rozměrech 2 x 0,8 x 2,5 m ($d \times š \times h$) byl situován na pozemku s p. č. 1543/1 a objekt VS-2 o hloubce 8,65 m a průměru 0,137 m na pozemku s p. č. 1588/2. Prostor zájmového území je svažité. Vsakovací sonda VS-1 byla umístěna v nižší části území s nadmořskou výškou kolem 302 m n. m. Vsakovací vrt VS-2 byl situován v svažitéjší části s nadmořskou výškou kolem 310 m n. m. **Zájmový prostor je na stránkách České geologické služby vedený jako svahová nestabilita.**

Metráž	Popis
0,00–0,50	antropogenní navázka s travním drnem
0,50–2,50	hlína sprašová, okrová barva (kvartér)

Tabulka č. 6.1: Geologický profil vsakovacího objektu VS-1

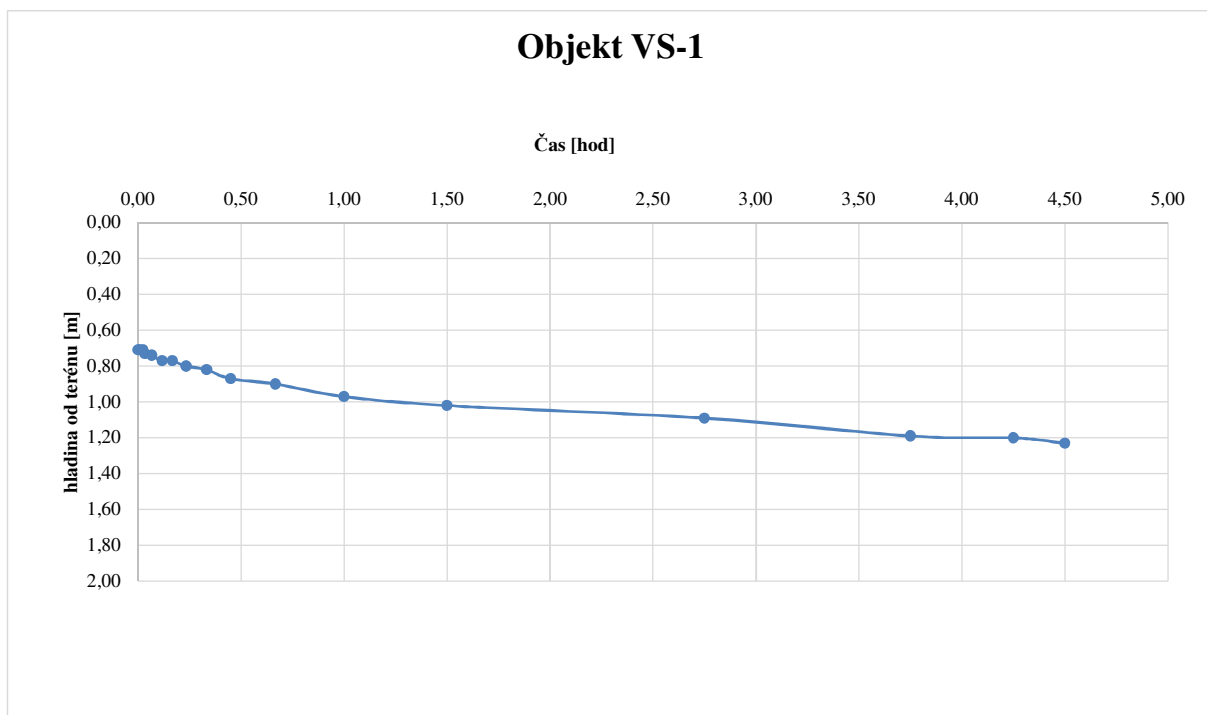
čas [s]	čas [min]	čas [hod]	hladina od terénu [m]	poznámky
0	0,00	0,00	0,71	Rozměry: 2 x 0,8 x 2,5 m (d x š x h)
30	0,50	0,01	0,71	Začátek plnění: 9:05
90	1,50	0,03	0,71	Konec plnění: 9:13
120	2,00	0,03	0,73	Začátek zkoušky: 9:13
240	4,00	0,07	0,74	Konec zkoušky: 13:43
420	7,00	0,12	0,77	Doba trvání: 4,5 h
600	10	0,17	0,77	Celkový pokles hladiny: 0,52 m
840	14	0,23	0,80	
1200	20	0,33	0,82	
1620	27	0,45	0,87	
2400	40	0,67	0,90	
3600	60	1,00	0,97	
5400	90	1,50	1,02	
9000	165	2,75	1,09	
13500	225	3,75	1,19	
15300	255	4,25	1,20	
16200	270	4,50	1,23	

Tabulka č. 6.2: Průběh vsakovací zkoušky u objektu VS-1

Metoda vsakovací zkoušky byla založena na principu zkoušky s proměnou hladinou vody v čase t. Průzkumný objekt VS-1 byl naplněn do hloubky 0,71 m pod terénem a objekt VS-2 do hloubky 4,72 m pod terénem. Následně byl měřen pokles hladiny v čase. V případě kopané sondy VS-1 probíhalo zasakování do méně propustných sprašových hlín. U vsakovacího vrtu VS-2 probíhalo zasakování do zvětralinového pláště podloží (eluvia). Geologický profil objektu VS-1 je uveden v tabulce č.2. Podrobný geologický profil VS-2 (vrt J-117) je součástí přílohy č. 3.

Průběh vsakovací zkoušky u objektu VS-1

Do pozorovací sondy VS-1 bylo napuštěno za 484 sekund (8 min.) 4,5 m³ pitné vody. Rychlost napouštění pitné vody z přistavené nádrže odpovídá v průměru cca 9,3 l.s⁻¹. Hladina vody v pozorovacím objektu se nacházela po napuštění v hloubce 0,71 m pod terénem, vodní sloupec byl 1,79 m. Po napuštění na požadovanou úroveň byla zahájena vsakovací zkouška. Vsakovací zkouška byla ukončena po 4,5 hodinách a hladina vody v pozorovacím objektu VS-1 se nacházela 1,23 m pod terénem. Celkový pokles hladiny vody byl o 0,55 m. Naměřené hodnoty poklesu hladiny v jednotlivých časových intervalech jsou uvedeny v tabulce č. 3. Grafický průběh vsakovací zkoušky je znázorněn v grafu č. 1.



Graf č. 6.1: Průběh poklesu hladiny vody v závislosti na čase

Průběh vsakovací zkoušky u objektu VS-2

Do vystrojeného vsakovacího vrtu, který byl suchý, bylo nalito celkem 70 l vody a následně byla zahájena vsakovací zkouška. Počáteční hladina vody byla v hloubce 4,72 m pod terénem. Vodní sloupec byl 3,93 m. Hladina vody byla měřena pomocí ručního hladinoměru v jednotlivých časových intervalech po dobu 4 hodin (viz tabulka č. 4). Po ukončení vsakovací zkoušky se hladina ve vrtu nacházela v hloubce 5,27 m pod terénem. Grafický průběh zkoušky je uveden v grafu č. 2.

Vyhodnocení vsakovacích zkoušek

Vsakovací zkoušky u pozorovacích objektů VS-1 a VS-2 byly následně vyhodnoceny podle následující rovnice (viz ČSN 75 9010):

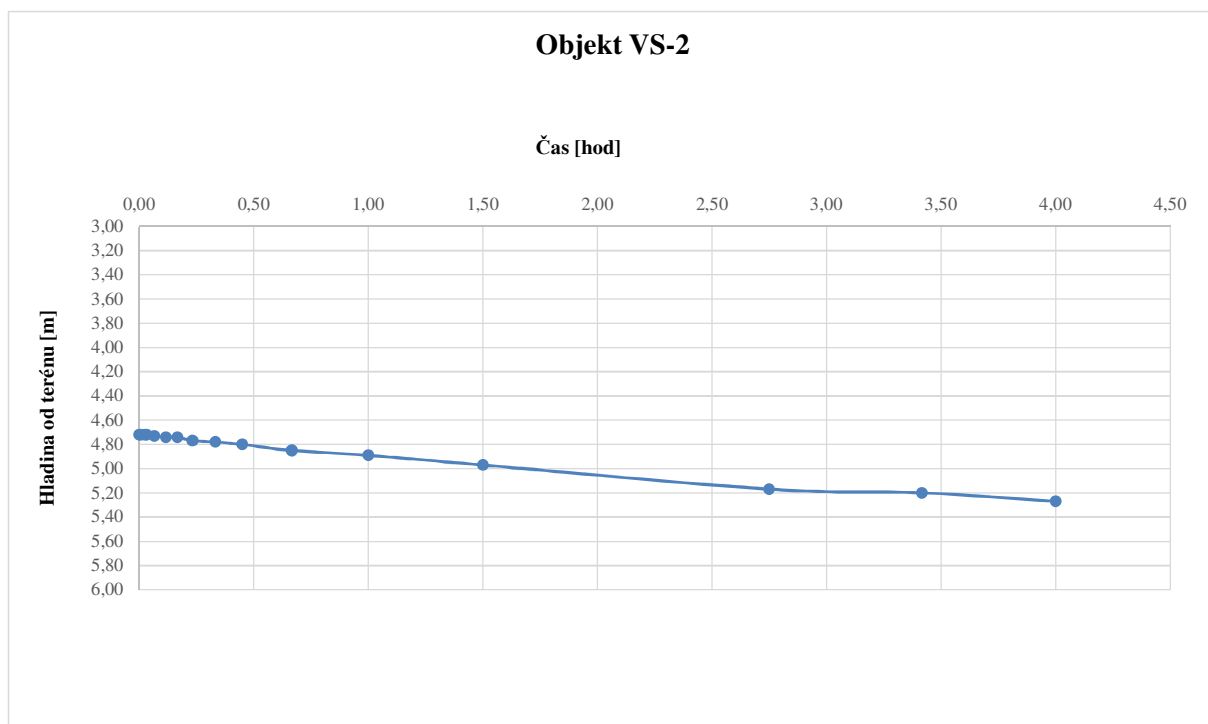
$$k_v = \frac{Q_v}{p \cdot t},$$

kde:

- k_v - koeficient vsaku (m/s),
- Q_v - objem infiltrované vody (m³),
- p - vsakovací plocha (m²),
- t - celková doba vsakovací zkoušky (s).

čas [s]	čas [min]	čas [hod]	Hladina od OB [m]	Hladina od terénu [m]	poznámky
0	0,00	0,00	4,65	4,72	Hloubka: 8,65 m
30	0,50	0,01	4,65	4,72	Průměr: 137 mm
90	1,50	0,03	4,65	4,72	Odměrný bod: 0,07 m p.t.
120	2,00	0,03	4,65	4,72	Začátek: 10:14
240	4,00	0,07	4,66	4,73	Konec: 14:14
420	7,00	0,12	4,67	4,74	Doba trvání: 4 h
600	10	0,17	4,67	4,74	Celkový pokles hladiny: 0,55 m
840	14	0,23	4,70	4,77	
1200	20	0,33	4,71	4,78	
1620	27	0,45	4,73	4,80	
2400	40	0,67	4,78	4,85	
3600	60	1,00	4,82	4,89	
5400	90	1,50	4,90	4,97	
9900	165	2,75	5,10	5,17	
12300	205	3,42	5,13	5,20	
14400	240	4,00	5,20	5,27	

Tabulka č. 6.3: Průběh vsakovací zkoušky u objektu VS-2



Graf č. 6.2: Průběh poklesu hladiny vody v závislosti na čase t

Z výše uvedené rovnice byl vypočítán koeficient vsaku k_v , který charakterizuje vsakovací schopnost horninového prostředí na zkoumané lokalitě Kamenný Vrch. Koeficient vsaku k_v pro objekt VS-1 odpovídá hodnotě $1,13 \times 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ a byl vypočítán z konce vsakovací zkoušky a pro objekt VS-2 odpovídá koeficient vsaku k_v hodnotě $3,3 \times 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$.

Souhrn hydrogeologie

Pro účel posouzení vhodnosti pokryvných kvartérních útvarů pro zasakování srážkových vod byly na pozorovacích objektech VS-1 a VS-2 provedeny vsakovací zkoušky. Jednalo se o jednorázový nálev určitého objemu vody a měření jejího úbytku v pozorovacích objektech ve stanovený časový interval. Na základě vsakovacích zkoušek byl odvozen koeficient vsaku k_v průlinově propustného prostředí.

Zasakování vody probíhalo poměrně pomalu. Z grafického vyhodnocení získaných údajů vsakovacích zkoušek u objektů VS-1 a VS-2 lze vidět, že z počátku byl pokles hladiny vody rychlejší (docházelo k sycení zeminy) a cca po 2 hodině docházelo k postupnému zpomalování. Pomalejší zasakování v případě sondy VS-1 je ovlivněno nadložními sprašovými hlínami. Sprašové hlíny jsou méně propustné a pro zasakování nevhodné. Pro koeficient vsaku jílovitých sedimentů jsou obecně udávány hodnoty řádově $<10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$. V případě sondy VS-1 byl koeficient vsaku řádově 10^{-6} . U pozorovacího objektu VS-2 probíhalo zasakování do zvětralinového pláště podloží a výsledný koeficient vsaku byl řádově 10^{-8} .

Pro posouzení záměru vsakování srážkových vod do horninového prostředí je nutné vycházet z geologických podmínek daného prostředí. **Tyto podmínky se jeví na lokalitě Kamenný Vrch jako nepříznivé.** Vzhledem k tomu, že lokalita Kamenný Vrch je vedena jako **svahová nestabilita**, je zasakování srážkových vod do horninového prostředí, které je budováno sprašovými hlínami, pod kterými se nachází **eluvium zvětralinového pláště, zcela nevhodné.**

7 Petrologický a mikropaleontologický výzkum

Vzorky z vrtu J-128 (M. Bubík, Česká geologická služba):

5,3-5,5 m (světle šedý vápnitý jemnozrnný jílovitý písek) - bezfosilní, výplav tvořen minerálními zrnny plagioklasu, amfibolu, pyroxenu, opakních minerálů aj.

8,0-8,15 m (šedý písčitý jílu) - bezfosilní; výplav tvořen minerálními zrnny jako předchozí vzorek (vz.)

9,3-9,4 m (rudohnědý vápnitý písčito-prachovitý jílu) - bezfosilní; výplav tvořený korodovanými minerálními zrnny a agregáty jako předchozí vz. + hrudky limonitu

13,25-13,35 m (zelenavě šedý kamenitý jílu až jílovitý štěrk) - bezfosilní; výplav tvořen minerálními zrnny plagioklasu, amfibolu, pyroxenu, epidotu, opakních minerálů aj. Orientační kvantitativní analýza pefitické frakce nad 5 mm: kumulátová gabra (94%), ultramafika - "metapyroxenit" (4%), žilný křemen (2%)

Souhrn:

Sedimenty zachycené vrtem obsahují výhradně lokální materiál. Nebyly pozorovány recyklované klasty sedimentárního původu (zaoblený křemen, glaukonit, rohovec, křídové mikrofosílie), které bývají běžně v sedimentech ottnangu. Zároveň střídání různých jílu, písků a štěrků ukazuje na to, že jde o sediment a ne eluvium. Pravděpodobně se jedná o přechodnou deluvio-lakustrinní facií nebo sedimenty výnosového kuželu na patě paleosvalu. Vzhledem k širším regionálním souvislostem lze sedimenty přiřadit ke spodnímu miocénu (ottnang?).

8 Tektonická stavba

Tektonická stavba skalního podkladu v zájmovém území je vzhledem k jeho stáří poměrně komplikovaná a z vrtného průzkumu nebyla zcela zřejmá. Proto zhotovitel přikročil k upřesnění pomocí geofyzikálních profilů. **Na geofyzikálních profilech jsou patrné náhlé přechody mezi zeminami/horninami, kdy se velmi liší vodivosti zemin.** Tato zjištění je možné **interpretovat za pomoci poklesových zlomů.** Tyto zlomy jsou sdružené do soustavy, která se zformovala do poklesového údolí vyplněného proluvialními zeminami s orientací VSV-ZJZ. Délka vertikálního pohybu na jednotlivých zlomech směrem k severu postupně vyznívá. Stáří zlomů lze odhadnout pouze orientačně, neboť protíná proterozoické diority i neogenní(?) zeminy charakteru jílu a jílovitých štěrků a písků. Z uvedeného plyne, že jsou zlomy mladší než neogén. Zda zlomy protínají i mladší svahoviny (nebo jsou ještě aktivní), není možné potvrdit ani vyvrátit.

9 Stabilita svahu

V rámci prováděného průzkumu byla za pomoci statických výpočtů a geotechnického softwaru GEO5 – Stabilita svahu posouzena stabilita. Jednalo se o geologické řezy C-C' a D-D', které byly sestaveny na základě geofyzikálních měření a průzkumných sond. Jednalo se o analýzy se smykovými parametry vrcholovými a reziduálními získanými laboratorně. Výpočty probíhaly podle pravidel, doporučení a koeficientů ČSN EN 1997-1 návrhové kombinace DA3 – GEO (viz příloha 10).

Souhrn:

Na základě všech výpočtů při standardní hladině podzemní vody **byla stabilita svahu vyhovující**, kdy využití smykové pevnosti nikdy nepřekročilo 50 % (limit je 100 %). V případě vydatných dešťů by mohlo dojít k infiltraci dešťové vody do propustných zemin pouze v povrchových partiích. Na základě hydrogeologického průzkumu jsou **neogenní zeminy téměř nepropustné** s neprůběžnou hladinou podzemní vody. Ke změně saturace by mohlo dojít až po extrémně dlouhých deštích. **Z uvedeného vyplývá, že svahy jsou stabilní a je na nich možné projektovat a realizovat výstavbu.**

10 Doporučení pro projekci pozemních komunikací

Během průzkumných prací byly odebírány technologické vzorky pro stanovení CBR a IBI a klasifikaci zemin podle ČSN 73 6133. Na základě laboratorních výsledků je zřejmé, že kvartérní svahoviny charakteru **tuhých až tvrdých sprašových hlín F6 CL, CI** jsou podle normy ČSN 73 6133 **nevhodnými zeminami do podloží vozovky** – do aktivní zóny. Tyto zeminy mají nízký kalifornský poměr CBR (2,5-3,5 %), nízký deformační modul a norma ČSN 73 6133 tabulka 5 doporučuje jejich úpravu, nebo nahrazení v tloušťce 400 až 500 mm.

Na základě zkušeností se stabilizací zemin podobného typu je úprava doporučena za použití cementu (1,5 %) a mechanického zhutnění (s vibrací, může být použito i strukturovaného válce s tzv. „kozími kopýtky“). Použití vápna není doporučeno; zeminy jsou aktuálně relativně málo vlhké (9-10 %) a není nutné je vysušovat. Provedené zkoušky Proctor standard (pro zeminy bez pojiv) pro tyto zeminy doporučují optimální vlhkost 13-14 %. V případě, že by se jednalo o zeminy **F3 MS a F4 CS, tyto zeminy je podmíněčně možné využít do aktivní zóny.** Pro bezpečný návrh doporučujeme provedení hutnicího pokusu ověřující deformační modul (Edef,2)

pro provedení zlepšení. Testování by mělo probíhat za využití statické zatěžovací desky Průměru 300 mm. Výsledná skladba silniční komunikace může vycházet z TP170 a ČSN 73 6109.

11 Technický závěr

Předložený inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum byl sestaven z většího množství různých metodik tak, aby plně respektoval přírodní poměry a poskytl dostatek údajů pro projektovou dokumentaci obytných souborů. Na základě syntézy všech dostupných dat získaných v rámci průzkumných prací se na lokalitě jedná o složité přírodní poměry a předpokládané staticky náročné konstrukce. Z uvedených důvodů průzkum probíhal podle zásad 3. geotechnické kategorie (ČSN EN 1997). V zájmovém území byl zjištěn velmi různorodý sled přemístěných, reziduálních i místních zemín a hornin, kdy bylo velmi obtížné sestavení geotechnických typů.

11.1 Inženýrskogeologické závěry

Pod pokryvnými holocenními sutěmi, které jsou smíchány s hlínami a písčitými hlínami, jsou přítomné spraše, jejich podloží potom představují proluviální jíly (ottnag?) a skalní hornina. Spraše a sutě jsou velmi dobře patrné na geofyzikálních řezech (jsou zbarveny oranžově až žlutě), kdy zeminy s velkým elektrickým odporem (spraše a zajiřované sutě obsahují v pórech malé množství vody) obklopují jíly s malým elektrickým odporem – modré (obsahují velké množství vody). **Ze současného pozorování a z průzkumu není možné určit, zda jsou některé kontakty mezi jednotlivými typy zemín sedimentární (zřícení), nebo se jedná o velmi staré smykové plochy.** Na základě výsledků tohoto průzkumu se jeví otázka, zda se jedná o smykové plochy pouze uklidněné, které by bylo možné aktivovat nešetrným zásahem člověka nebo změnou přírodních podmínek (dlouhotrvající deště apod.), nebo zdali jsou tyto staré sesuvy zcela neaktivní. Skalní podloží (navětralé i zvětralé) lze pro plánovanou projekční činnost a předpokládanou výstavbu bytových domů označit jednoznačně za **stabilní**. Na základě statických výpočtů (příloha 10), které byly provedeny pro současný stav a také za reziduálních efektivních smykových parametrů, je zřejmé, že svahy lze **v současném stavu** považovat za **stabilní**. V případě zrnitostního složení proluviálních zemín se jedná o jíly s velkým obsahem písku, občasné i šterku, zrnitostně tedy dosti odlišný materiál než neogenní mořský jíl (tégel), který na mnohých pozemcích v městě Brně způsobuje problémy s geodynamickými jevy vlivem jeho objemových změn vlivem změny vlhkosti. Zastižené proluviální jíly **nepodléhají zásadním objemovým změnám**.

Provedenými stabilitními výpočty bylo zjištěno, že **stávající svah je stabilní** a při dodržení technologické kázně lze v zájmové lokalitě realizovat projektované stavby. Na základě výsledků provedených prací a stabilitních výpočtů doporučujeme projektované nepodsklepené stavby realizovat jako lehké prefabrikované stavby, aby nedošlo k nadměrnému zatížení svahu. Vzhledem k charakteru pozemku ve svahu je **doporučeno založení staveb spíše na kombinaci základových krabic (suterén zahloubený do svahu)**. Pokud bude projekt uvažovat s hlubinným způsobem založení na vrtaných velkopřůměrových pilotách či mikropilotách, lze s tímto způsobem souhlasit, protože použití hlubinného prvku založení **pomůže zvýšit stabilitu svahu**. Ač se proluviální jíly jeví jako téměř nepropustné, byly během průzkumu zjištěny zvodnělé polohy, které působí hydraulickým vztlakem. Vzhledem k tomu, že se nepředpokládá podsklepení projektovaných budov, **nebudou** mít nové domy vliv na hydraulické poměry lokality. V případě jejich případného podsklepení je však třeba uvažovat, že podzemní patra budou fungovat jako hydraulická bariéra.

Ač na místě **nebyly pozorovány projevy recentních svahových deformací** a i statické výpočty stability svahu poukazují na stabilní prostředí, **doporučujeme vybudování systému monitoringu v období bezprostředně před zahájením výstavby v podobě vyhloubení série inklinometrických vrtů**. Inklinometrické vrty by v případě v současnosti neaktivních smykových ploch prokázali spolehlivě případnou aktivaci svahové nestability v souvislosti se stavebními pracemi a přesuny zeminy. Současně by se jednalo o dlouhodobé zajištění bezpečnosti a stability projektovaných obytných domů a jejich obyvatel. Doporučujeme realizovat inklinometrické vrty tak, aby základní a první měření proběhly ještě před započatím zemních prací, dále by potom byly pravidelně 3 – 4 x ročně měřeny.

11.2 Hydrogeologické závěry

Z výsledků provedených vsakovacích zkoušek bylo zjištěno, že podmínky pro vsakování srážkových vod ze zastavěného území se na lokalitě jeví vzhledem k nízké propustnosti zemin jako **nepříznivé** a vzhledem k evidované svahové nestabilitě, u které by vlivem vsakování do zeminného masivu mohlo dojít k jejímu oživení, zcela **nevhodné**. Vzhledem k tomu, že se nepředpokládá podsklepení projektovaných budov, **nebudou** mít nové domy vliv na hydraulické poměry lokality. V případě jejich eventuálního podsklepení je však třeba uvažovat, že podzemní patra budou fungovat jako hydraulická bariéra.

Vzhledem k výše uvedenému zjištění nízké propustnosti povrchových zemin, a tím k malému riziku aktivace svahových pohybů, **doporučujeme** odvádění srážkových vod pomocí průlehů. Variantně lze tyto vody odvádět povrchově do retenčních nádrží případně jezírek s krajínotvornou funkcí navržených v patě svahu. Tak bude docházet k částečnému zpětnému výparu srážkové vody a tím ke zvyšování vlhkosti vzduchu a snížení jeho teploty především v letních měsících.

Naopak **nedoporučujeme** provádět vsakování srážkových vod ze zastavěných ploch do zeminného masivu vzhledem ke zjištěné nízké propustnosti zastižených zemin a vzhledem k potenciálně možnému přispění k aktivaci svahových pohybů v zájmové lokalitě.

Brno, 14. února 2020

7. Použité prameny

- [1] Hanák J.: Brno – Kamenný Vrch II, rešerše. GEOtest, 2017
- [2] Michlíček, E. et al. (1986): Hydrogeologické rajóny ČSR. sv. 2, Povodí Moravy a Odry. Brno. GEOtest.
- [3] Olmer, M., Herrmann, Z., Kadlecová, R., Prehalová, H. et al. (2006): Hydrogeologická rajonizace České republiky. Sborník geologických věd, hydrogeologie, inženýrská geologie, 23. Česká geologická služba, Praha.
- [4] https://mapy.geology.cz/svahove_nestability

Předpisy a normy:

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

ČSN 03 8375 – Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi

ČSN 73 6109 - Projektování polních cest

ČSN 73 6133 - Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací

ČSN 75 9010 - pro návrh, výstavbu a provoz vsakovacích zařízení srážkových vod

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 13286-2 - Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Proctorova zkouška

ČSN EN 13286-47 - Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání

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 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 17892-3 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 3: Stanovení zdánlivé hustoty pevných částic zemin pomocí pyknometru

ČSN EN ISO 17892-4 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 4: Stanovení zmitosti zemin

ČSN EN ISO 17892-5 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 5: Stanovení stlačitelnosti zemin v oedometru

ČSN EN ISO 17892-6 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 6: Kuželová zkouška

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

ČSN EN ISO 17892-12 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 12: Stanovení konzistenčních mezí zemin

ČSN EN ISO 22475-1 Geotechnický průzkum a zkoušení – Odběry vzorků a měření podzemní vody – Část 1: Zásady provádění

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

ČSN EN ISO 22476-12 Geotechnický průzkum a zkoušení - Terénní zkoušky - Část 12: Statická penetrační zkouška (CPTM)

ČSN EN 206+A1 - Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
TP170 – Navrhování vozovek pozemních komunikací