

Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy, podrobný geotechnický průzkum pro trasu a tunel

Část hydrogeologie



2023

Projekce iGEO s.r.o.

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

IČ: 061 90 499, DIČ: CZ061 90 499

tel.: 608022443

web: www.igeo.cz

e-mail: ivan.poul@igeo.cz

Geotechnika, statika, inženýrská a stavební geologie, hydrogeologie

Název zakázky: Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy,
podrobný geotechnický průzkum pro trasu a tunel

Číslo zakázky: 039-2023

Objednatel: Dopravní podnik města Brna a.s.

Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy, podrobný geotechnický průzkum pro trasu a tunel

Část hydrogeologie



Zodpovědný řešitel: **RNDr. Mgr. Ivan Poul, Ph.D.**

Brno, listopad 2023

Obsah

1. Úvod	4
1.1 Průběh realizace	4
2. Hydrogeologická pozorování	5
2.1 Hladiny podzemních vod	5
2.2 Hydrologická měření – srážky	7
2.3 Hydrodynamické zkoušky	8
3. Závěr	9

Přílohy:

- 1. Podrobná situace hydrogeologických objektů (vrty, studny + hydroizoipsy)**
- 2. Pasportní listy objektů individuálního zásobování**
- 3. Primární dokumentace hydrodynamických zkoušek**
- 4. Fotodokumentace**

Rozdělovník:

1 -3 a digitálně Dopravní podnik města Brna, a.s.
Digitálně Projekce iGEO s.r.o.

1. Úvod

Z hydrogeologického hlediska zájmová lokalita spadá do povodí III. řádu Svratka po Svitavu (4-15-01) - povodí Dyje, do hydrogeologického rajonu Krystalinikum brněnské jednotky (6570). Na území plánované trasy je z regionálně hydrogeologických typů prostředí: hydrogeologický skalní masiv s puklinovou propustností (silně tektonicky porušený) a neogenní jíly a písky a nezpevněné písčité sedimenty a kvartérní svahoviny.

Hydrogeologický masiv, ke kterému se řadí i brněnský granodioritový masív, bývá charakteristický vznikem jednoho celistvého kolektoru v přípovrchové zóně rozpukání a rozvolnění hornin a sahá do hloubky několika prvních desítek metrů. Těmito místy dochází k plošné infiltraci vod do podzemního oběhu, zejména ve vrcholových partiích, odkud se voda pohybuje svahovými oblastmi směrem k erozní bázi, kde dochází k odvodnění.

Zvodně bývají charakteristické mělkým oběhem v zóně rozvolnění a rozpukání, avšak velký význam pro oběh podzemních vod mají četné otevřené tektonické poruchy a litologické hranice, kterými voda sestupuje a tvoří hluboký oběh podzemních vod. Z tohoto důvodu jsou vody náchylné na znečištění. Relativně hluboký oběh podzemních vod byl patrný z oxidačních procesů, kterými prošly neogenní jíly zakomponované do puklin granitoidů.

Směrem do podloží přechází průlinová porozita kvartérních sedimentů v puklinový systém oběhu podzemních vod. Kvartérní sedimenty vykazují střední až nízkou propustnost $X.10^{-6}$ m/s. Neogenní jíly jsou téměř nepropustné $X.10^{-8}$ m/s. Neogenní písky (ottnang) vykazují průlinovou propustnost $X.10^{-5}$ m/s. Koeficient filtrace v rámci skalních hornin závisí na míře rozpukání – RQD a výplni puklin.

Cílem hydrogeologického průzkumu **bylo definování hydrogeologických poměrů projektované trasy prodloužení TT Bystřec-Kamechy a nejbližšího okolí** pro posouzení možného vlivu výstavby na hydrogeologický režim vybraného území. **Zejména bylo účelem získat dostatek průkazných informací pro výpočet přítoku podzemní vody do raženého tunelu.** V rámci hydrogeologických prací se navazovalo na výsledky předběžného geotechnického průzkumu od firmy GEOTest a.s. (Novotný, M., 2016). Byly provedeny hydrodynamické zkoušky, pasportizace vodních objektů, byla určena a sledována hladina podzemních vod v průzkumných vrtech a hydrogeologických sondách.

1.1 Průběh realizace

Před zahájením terénního průzkumu (08-10/2023) byly provedeny nezbytné úkony vyplývající ze zákonných povinností. Průzkumné práce byly zaregistrovány u Česká geologické služby. Dále byl průzkum ohlášen u městských částí a také bylo požádáno o stanovisko Oblastní báňský úřad a Jihomoravský kraj. Pro místa, kde bylo nutné realizovat sondy v místě silničních komunikací, byly vyžádány povolení ke vstup a nebo povolení dočasného záboru. Průzkumné práce probíhaly také v kolejišti současné tramvajové trati. Výluka byla v nočních hodinách.

Průzkumné vrtné práce byly zahájeny v od 31.8.2023. Vrtné práce realizovala firma Geo krtek s.r.o. a G-test s.r.o. V průběhu dokumentace vrtů byla měřena naražená hladina podzemní vody a po ukončení realizace vrtu také hladina

ustálená. Vzhledem k tomu, že se nacházíme ve městě, kde probíhá čilý ruch, byly vrty zakryty překážkou před pádem. Některé z vrtů byly osazeny perforovanou výtažnicí a ponechány jako hydrogeologické pozorovací (viz tab. 1). Rozšíření vrtů na průměr 165 mm realizovala firma G-test s.r.o. za použití pneumatického kladiva se vzduchovým vyfoukáváním z vrtu (4 vrty). Další vrty byly osazeny inklinometrickou výpažnicí (3 ks), nebo plastovou trubkou pro karotážní měření (7 ks). V takto upravených vrtech neproběhlo měření ustálené HPV, nebylo to technicky možné. Ostatní vrty byly pro realizaci likvidovány zpětným záhozem. Terénní etapa byla ukončena v říjnu 2023.

Hydrogeologické vrty

V rámci průzkumu byly vystrojeny a geodeticky zaměřeny 4 hydrogeologické vrty v těsné blízkosti budoucí stavby – HV110, HV117, HV121 a HV133 (viz tab. 1). Vrty byly vystrojeny PVC zárubnicemi DN 125 s perforací 2 mm v délce 4 m nad pevnou horninu. Jako obsypový materiál byl využit štěrk frakce 4/8 mm. Záhlaví vrtu bylo zajištěno uzavíratelnou chráničkou. Dále byly do monitoringu zahrnuty starší pozorovací vrty z předběžného průzkumu – HV-8 a HV-13.

sonda	hloubka	datum realizace	Y	X	Bvp (m)
HV133	12,5	08. 08. 2023	606021.77	1157334.73	334.79
HV121	30,0	29. 08. 2023	605819.68	1157277.88	351.99
HV117	30,0	17. 08. 2023	605709.23	1157173.65	343.69
HV110	15,0	10. 08. 2023	605382.93	1157134.26	326.51
HV-8*	6,0	29. 03. 2016	605535,45	1157204,27	328,79
HV-13*	30,0	17.-22. 3.2016	605801,82	1157247,50	352,44

*) z předběžného průzkumu

Tab. 1: Přehled hydrogeologických průzkumných vrtů zařazených do monitoringu

2. Hydrogeologická pozorování

2.1 Hladiny podzemních vod

V rámci jádrových vrtů byla pozorována hladina naražené a ustálené podzemní vody v hloubkách viz tab. 2. V případě vrtů J106, J124 a J130 došlo k rozdílu mezi napjatou a ustálenou hladinou, jelikož při realizaci došlo k průniku přes zvodnělý kolektor a spodní izolátor do suchého kolektoru v podloží. Vzhledem k malému časovému odstupu měření od realizace sondy, hladina podzemní vody pravděpodobně nedosáhla piezometrické hladiny. Případně hlouběji bylo naraženo na druhou zvodně s rychlejším prouděním, díky které došlo k odtoku vody směrem do podloží. Případně byla naražená HPV stanovena nepřesně např. vlivem vrtání s výplachem.

V archivních vrtech J15 a J16 hladiny podzemní vody vystoupala na nezvykle vysokou úroveň. Vysvětlením by mohlo být naražení nějaké natlakované pukliny.

Tab. 2: Hladiny podzemních vod ve studnách v zahrádkářské oblasti. Hladiny mohou být ovlivněny čerpáním vody ze studní

Domovní studna	HPV p.t. (m)	ph	EC (μS/cm)	T (°C)
ST1	18,9	7.49	525	12.4
ST2	13,49	6.305	1712	13.1
ST3	18,43	5.466	1495	16
ST4	15,44	5.51	1593	-
ST5	18,69			
ST6	18,28	4.906	879	13.2
ST7/1	11,8	4.9	671	14.5
ST7/2	22,52			
ST8	22,55			

Název objektu	HPVn m p.t.	HPVu m p.t.
J103	6	6
J104		9,8
J106	12,7	12,95
HV110	11,8	8,87
J111	9,5	9,5
HV117		14,74
INK118*	16,4	
INK119*	17,7	
J120*	15,8	
HV121		14,25
J122*	13,2	
J123	11,2	7,38
J124	12,5	12,9
J125		8,6
J130	2,5	2,7
HV133		10
J145		4,8

*Tabulka 3: Hloubka zastížených hladin pozemní vody ve vrtech: naražená a ustálená hladina v době realizace (08-09/2023), *) vystrojení bránící měření*

Dále byly provedeny pasporty stávajících studní, které mohou být ovlivněny z důvodu ražby a existence tunelu (změna hydraulického režimu). Ve studnách proběhlo základní změření hladiny podzemní vody, konduktivita (EC v μS/cm) a teplota (T ve °C).

Tab. 4: Dlouhodobé pozorování hladiny podzemní vody v m p. t. (od realizace sond po odevzdání 11/2023)

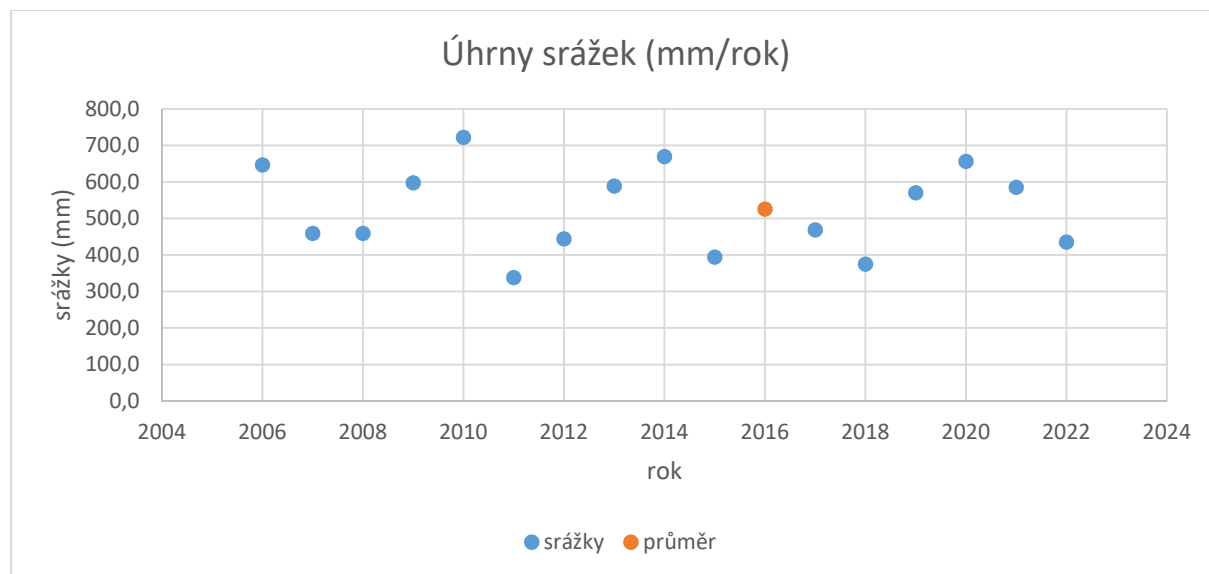
sonda	30.9.	10.10.	17.10.	31.10.	15.11.
HV133	9,82	10,00	10,03	10,10	10,03
HV121	14,22	14,25	14,25	14,24	14,27
HV117	14,75	14,74	14,72	14,85	14,90
H13	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80
H8	3,90	3,95	4,04	4,32	3,98
H110	8,85	8,87	8,94	8,92	9,48

Tabulka 5: Porovnání úhrnu srážek za roky 2006 až 2022 (Brno – Žabovřesky)

Rok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Suma
2006	33.5	31.2	76.9	68.3	72.4	65.3	41.8	183.2	14.6	16.2	21.1	21.6	646.1
2007	47.4	31.1	65.5	2.1	34.8	31.3	35.2	36.6	81.8	31.4	43.5	18.3	459.0
2008	20.4	8.3	37.3	49.2	44.1	73.7	56.8	43.1	44.3	23.5	36.1	21.9	458.7
2009	20.7	60.9	71.1	5.1	42.3	107.4	118.2	24.5	15.2	33.3	50.3	48.0	597.0
2010	70.9	18.6	14.1	51.6	118.0	95.6	100.7	88.3	77.5	9.5	46.5	30.7	722.0
2011	15.6	2.1	47.8	19.7	46.2	45.8	88.9	0.6	37.8	16.9	0.0	16.9	338.3
2012	35.7	10.6	2.7	17.9	28.4	72.6	60.9	77.9	32.0	47.8	19.4	37.8	443.7
2013	26.5	50.6	55.8	19.5	120.0	117.4	1.8	69.9	59.7	36.1	23.0	8.4	588.7
2014	27.3	13.4	14.3	18.0	67.4	22.1	162.4	85.1	144.5	49.6	31.5	33.7	669.3
2015	26.4	10.9	35.2	9.8	54.7	31.3	39.4	69.9	18.2	56.1	26.3	15.9	394.1
2016													
2017	22.6	10.0	19.9	45.5	61.7	37.8	71.0	40.6	72.1	45.5	27.0	15.2	468.9
2018	41.2	16.4	15.6	11.8	31.5	32.9	46.6	18.1	87.7	18.8	22.5	31.7	374.8
2019	26.4	21.7	31.3	16.9	89.3	87.3	63.1	50.0	63.0	32.6	45.4	43.1	570.1
2020	11.3	38.9	24.9	15.1	64.7	125.6	58.1	88.4	75.5	94.5	21.2	38.1	656.3
2021	31.1	27.6	16.4	19.5	60.1	77.2	106.1	138.3	9.7	14.1	43.8	40.7	584.6
2022	17.5	8.8	14.5	13.6	63.6	29.9	68.4	98.3	51.1	10.9	12.9	46.1	435.6
2023	30.5	19.6	16.8	87.0	63.2	14.1	26.6	135.6	12.5	28.1	-	-	-

2.2 Hydrologická měření – srážky

Veškerá voda, která je v podzemí se pod povrch dostala vsakováním dešťových srážek (tab. 5). Vzhledem k tomu, že se jedná o pahorkatinový reliéf a území je částečně zastavěno (domy, komunikace, obchody...), tak velké množství vody bude stékat po povrchu, bude odváděné do kanalizace a nebude přímo vsakovat. Velké množství srážek se také odpaří. Nejvíce srážek spadne v letních měsících, kdy logicky dochází i k největšímu odparu. Vsáknutá voda celkově za rok může dosáhnout 30-50 % úhrnu srážek. Odtok podzemní vody samozřejmě probíhá i v podzemí. Ze sledovaných období 2006-2022 je objem srážek za rok setrvalý případně mírně klesající (viz tab. 5), tj. průměr 1,37 l/den.



2.3 Hydrodynamické zkoušky

Na hydrogeologických vrtech byly realizovány krátkodobé hydrodynamické čerpací a stoupací zkoušky. Na dvou z určených hydrogeologických vrtů nebyla hydrodynamická zkouška realizována. Na sondě HV133 z důvodu nízké hladiny podzemní vody, která **čerpací zkoušky neumožňovala, na sondě HV-13 z předběžného geotechnického průzkumu kvůli zanesení vrtu** – vlhké, podhoubím zapáchající bahno v hloubce 13,3 m od povrchu. Hydrodynamické zkoušky tudíž proběhly na čtyřech sondách, v případě sondy HV8 proběhly dvě zkoušky. Interpretací čerpací a stoupací zkoušky byly získány koeficienty filtrace pro dané prostředí, viz tab. 6.

Tab. 6: Vypočítané koeficienty filtrace ze stoupacích zkoušek, HV-13 a H133 nevhodné pro čerpací zkoušky – nebyly realizovány, *archivní podklady (2016)

sonda	koeficient filtrace k (m/s)
HV8 *	4,07143E-04
HV8-II*	5,54439E-04
HV117	1,23469E-06
HV110	3,55353E-05
HV121	1,77337E-06

Hydrogeologické vrty HV117 a HV121 jsou situovány pro objekt tunelu v masivu z amfibolitu a granodioritu s eluviem v přípovrchové zóně, kde dochází k infiltraci a sestupu vod průlinovým a posléze puklinovým systémem. Sondy HV8 a HV110 situovány u východního ústí tunelu zastihují i kvartérních a předkvartérní sedimenty (neogenní jíly).

Hydrodynamické výpočty proběhly na základě postupu Kusakina, kdy do výpočtu přítoku do stavební jámy vstupuje rozdíl hladin (snížení HPV), hloubka stavební jámy a plocha stavební jámy. Výsledky pro 2 vrty (J117, J121) s různými koeficienty vaku viz tab. 7.

*Tabulka 7: Výpočet přítoku do tunelu podle Kusakina (délka plně saturované části je 245 m). Uvedené výsledky platí pro proražení tunelu, pro stanovené koeficienty filtrace. *Nejsou započítány případné anomálie mimořádných přítoků při vydatných deštích nebo při ražbu skrz tektonicky velmi porušenou horninu s vysokým puklinovým koeficientem filtrace.*

sonda	koeficient filtrace	šířka stavební jámy	délka stavební jámy	půdorys stavební jámy	výška hladiny ve výkopu (snížení)	výška hladiny nad nepropustnou vrstvou	rozsah snížení	náhradní poloměr	přítok ze svahu	přítok dnem	celkový přítok
	k	D	L	A	h	H	R	ro	Q1	Q2	Q*
	(m/s)	(m)	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
J117	1.23469E-06	10.9	245	2670.5	8	20	34.288	29.156	0.001676	0.000254	0.00193
J121	1.77337E-06	10.9	245	2670.5	8	20	41.093	29.156	0.002129	0.000359	0.00249

3. Diskuse

Na základě analýzy dostupných dat lze odborným odhadem stanovit objem vody, který vyteče během ražby (tj. bude na H.H. tunelu). Pokud se na morfologii podíváme ve 3D, tak čtvrt Kamečky stojí na izolovaném kopci. Po výrubu a odvádění vody drenážemi poklesne ustálená hladina na výšku asi 348 m n.m. Pokud na základě hydrogeologických dat sestavíme kulovou úseč s poloměrem přibližně 60 m s povrchem hladiny podzemní vody, objem vody získáme jako funkci k předpokládané nové úrovni HPV 348 m n.m. Objem $V = 0,166 \cdot p \cdot v(3 \cdot p^2 + v^2)$, kde p je poloměr výseče a v je výška. Výsledkem je $V = 39\,800 \text{ m}^3$. Pokud budeme uvažovat nad rozpukaností skalního podloží (na základě výsledků karotáže a popisů vrtných jader), může být objem volných prostor na puklinách 3 %. Potom by objem vody, který zřejmě odteče během ražby (časový odhad 3 měsíce), byl $1\,193 \text{ m}^3$.

4. Závěr

V rámci průzkumných prací proběhla realizace vrtných sond, ve kterých byla stanovena naražená a ustálená hladina podzemní vody. Na základě těchto informací byla sestavena mapa hydroizoips. Tyto výsledky byly využity pro konstrukci příčných řezů.

Dále byly realizovány HG vrty, ve kterých proběhly čerpací a stoupací zkoušky. Vydatnost přítoků je spíše malá, a tak během řádově minut došlo vyčerpání veškeré vody, kam dosahovalo čerpadlo. Čerpaný objem byl stálý 0,57 l/s. Po vyčerpání vrtu probíhala stoupací zkouška, ze které byl vyhodnocen koeficient filtrace. Pro výpočet přítoku vody do tunelu jsou relevantní 2 vrty: J117 a J121.

Na začátku ražby budou přítoky do stavební jámy nejvyšší, kdy uvažujeme nad hladinou podzemní vody vysoko nad kalotou tunelu. Přítok by mohl být 0,5 l/s na

10 m délky. S postupující ražbou bude jednotlivých úseků s pravidelným přítokem přibývat a celkový přítok bude jejich sumou. S postupující ražbou a odtokem vody se budou průtoky pro jednotlivé úseky postupně snižovat, až dosáhneme dlouhodobého přítoku do stavební jámy (Q) přibližně na 2 – 2,5 l/s. Voda bude samovolně vytékat systémem drenáží. Rozsah dlouhodobého snížení na každou stranu od okraje tunelu bude 34 – 41 m. Objem úhrnů srážek se během roků příliš nemění a tak budou dotace do podloží stejné.

Brně dne 15.11.2023

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

odborná způsobilost v hydrogeologii 2138/2011

Spolupracovala: Mgr. BcA. Daniela Vošahlíková, DiS.

PŘÍLOHY: