



Závěrečná zpráva

Zhodnocení navržených variant nového propojení železničních stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín ve vztahu ke geologické stavbě zájmového území reprezentované vytvořeným koncepčním 3D geologickým modelem

Česká geologická služba

Klárov 131/3, 118 21 Praha 1

www.geology.cz

Listopad 2020

Název projektu: Modernizace železniční trati Praha-Výstaviště (mimo) – Praha-Veleslavín (mimo)

Závěrečná zpráva: Zhodnocení navržených variant nového propojení železničních stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín ve vztahu ke geologické stavbě zájmového území reprezentované vytvořeným koncepčním 3D geologickým modelem

Investor projektu: Správa železnic, státní organizace (IČ 70994234)
Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1

Objednatel: METROPROJEKT Praha a. s. (IČ 45271895)
Argentinská 1621/36, Holešovice, 170 00 Praha 7

Zhotovitel: Česká geologická služba (IČ 00025798)
Klárov 131/3, Malá Strana, 118 21 Praha 1

Číslo smlouvy objednatele: 7461/MP-K60

Číslo smlouvy zhotovitele: 2020002

Číslo úkolu zhotovitele: 500191

Odpovědný řešitel: Ing. Milan Aue

Autorský kolektiv: RNDr. Petr Budil, Ph.D.
Mgr. Stanislav Čech
RNDr. Jan Čurda
Mgr. Jan Franěk, Ph.D.
Mgr. Martin Knížek, Ph.D.
Ing. Petr Kycl
prof. Ing. Naďa Rapantová, CSc.
Mgr. Jakub Roháč

Předkládá: Mgr. Zdeněk Venera, Ph.D. – ředitel České geologické služby

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Vymezení zájmové oblasti	1
1.2	Časový harmonogram prací	3
2	Metodika a rozsah prací	5
2.1	Dosavadní geologická prozkoumanost	5
2.1.1	Archivní podklady využité pro sestavení modelu	5
2.1.2	Laboratorní rozborů odebraných vzorků zemin a hornin	8
2.1.3	Posouzení střetů zájmů	8
2.2	Tvorba 3D modelu	9
2.2.1	Vstupní data a jejich příprava	9
2.2.2	Pravidla modelování	14
2.2.3	Konstrukce 3D strukturně-geologického modelu	14
2.2.4	Nejistoty modelu	17
3	Přírodní poměry zájmového území	18
3.1	Geomorfologické a klimatické poměry	18
3.2	Geologické a strukturně-tektonické poměry	18
3.2.1	Předkvartérní (skalní) podklad	19
3.2.2	Tektonická stavba skalního podloží	27
3.2.3	Zvětrávání předkvartérního podkladu	33
3.2.4	Kvartérní uloženiny	36
3.3	Hydrogeologické a hydrologické a poměry	37
3.3.1	Kvartérní hydrostratigrafická jednotka	38
3.3.2	Svrchnokřídová hydrostratigrafická jednotka	39
3.3.3	Paleozoická hydrostratigrafická jednotka	41
3.3.4	Historie jímání podzemních vod v širším zájmovém území	42
3.3.5	Koncepční hydrogeologický model	51
3.3.6	Agresivita podzemních vod	55
4	Inženýrskogeologické zhodnocení 3D modelu	58
4.1	Hlavní geotypy modelu a jejich charakteristické vlastnosti	58
4.1.1	GT1 – An (antropogenní uloženiny – navážky)	58
4.1.2	GT2 – Eo (spraše a sprašové hlíny)	59
4.1.3	GT3 – DI (deluviální sedimenty – svahoviny nerozlišené)	60
4.1.4	GT4 – Dfl (deluviofluviální sedimenty – Holocenní výplně podél toků a splachových depresí)	61

4.1.5	GT5 – Fl (fluviální sedimenty – pleistocenní terasy řeky Vltavy).....	62
4.1.6	GT6 – Kt (bělohorské souvrství – opuky)	63
4.1.7	GT7 – Kcp (perucko-korycanské souvrství – křemenné pískovce, glaukonitické pískovce)....	63
4.1.8	GT8 – Kcj (perucké vrstvy – jílovce).....	64
4.1.9	GT9 – Vi (vinické souvrství).....	64
4.1.10	GT10 – Ltn (letenské souvrství – černé jílovité břidlice, písčité břidlice, droby)	64
4.1.11	GT11 – Ln (libeňské souvrství – černé jílovité břidlice).....	65
4.1.12	GT12 – LnR (libeňské souvrství – řevnické křemence).....	66
4.1.13	GT13 – Dbr (dobrotivské souvrství – černé jílovité břidlice).....	66
4.1.14	GT14 – DbrS (dobrotivské souvrství – skalecké křemence)	66
4.1.15	GT15 – Sa (šárecké souvrství – černé jílovité břidlice).....	67
4.1.16	GT16 – TEKT (tektonické zóny, poruchové oblasti).....	67
4.2	Shrnutí geotechnických parametrů pro vybrané geotypy	67
4.3	Vymezení geodynamických fenoménů.....	69
4.3.1	Svahové pohyby	69
4.3.2	Poddolování	70
4.3.3	Seismicita	70
4.3.4	Kras	70
4.4	Export 3D geologického modelu pro navazující geotechnické simulace	71
4.4.1	Tvorba 2D řezů (podélné a příčné).....	71
4.4.2	Možnosti 3D exportu modelu.....	71
5	Závěry a doporučení.....	72
5.1	Posouzení dosud provedených předběžných průzkumů	72
5.2	Porovnání jednotlivých variant – riziková analýza.....	75
5.2.1	Varianta HLOUBENÁ	77
5.2.2	Varianta SEVER	78
5.2.3	Varianta STŘED	79
5.2.4	Varianta JIH.....	80
5.2.5	Vyhodnocení objemů výrubů k jednotlivým geotypům	81
5.2.6	Souhrnné hodnocení minimalizace rizik	82
5.3	Závěrečné shrnutí.....	91
5.3.1	Shrnutí provedených prací	91
5.3.2	Závěrečné vyhodnocení ČGS	95
6	Podklady.....	96

Seznam obrázků

- Obr. 1** Zájmové území tvořené vnějším polygonem, vymezeným za účelem sběru geologických dat pro tvorbu 3D modelu, a vnitřním polygonem jako oblastí tvorby 3D modelu samotného. Jednotlivé navrhované trasy mezi železničními stanicemi Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín jsou barevně rozlišeny (mapový podklad ZABAGED®)..... 2
- Obr. 2** Dokumentace vrtných prací inženýrskogeologického průzkumu pro trasy železničních tunelů stavby „Modernizace železniční trati Praha-Výstaviště (mimo) – Praha-Veleslavín (mimo)“ v rámci standardního výkonu státní geologické služby: **a)** Vrtná souprava hloubící vrt HJ-5; **b)** Dokumentace jádra vrtu HJ-5; **c–d)** Dokumentace jádra vrtu HJ-16 (Foto P. Budil leden 2019, M. Aue 24. dubna 2020)..... 4
- Obr. 3** Histogramy zobrazující četnost hloubek využitých GDO (převážně vrty a kopané sondy) nacházejících se v zájmové oblasti (**a**) a období jejich vzniku, resp. evidence v archivech PÚDIS, a.s., a ČGS – tzv. Geofond (**b**). V případě histogramu četnosti hloubek není do analýzy zahrnuto 7 GDO, protože se jednalo o skalní výchozy, u kterých není hloubka definovaná, v případě histogramu období vzniku není do analýzy zahrnut 1 GDO z důvodů absence informace o roku jeho vzniku..... 7
- Obr. 4** Příklad reinterpretace dokumentačního bodu č. 388 (dle interního kódování v rámci zakázky – **tab. 3**). 11
- Obr. 5** Pozice všech 554 vybraných archivních vrtů a kopaných sond v zájmovém území. Pohled směrem k severu 13
- Obr. 6** Dostupné archivní vertikální geologické řezy v zájmovém území..... 13
- Obr. 7** Částečně odkrytý 3D strukturně-geologický model horninového prostředí zájmového území. Modré linie představují průběh jednotlivých variant tunelu, hnědé, zelené, šedé a tmavě modré plochy zobrazují předpokládané zlomy a rozhraní jednotlivých souvrství. Pohled směrem ze spodu 3D modelu, jih orientován nahore..... 15
- Obr. 8** Stratigrafické schéma ordoviku pražské pánve s vyznačením stratigrafického rozsahu souvrství zastížených účelovou mapou a modelem (červený obdélníkový obrys) – podle Fatky a Budila 2018, upraveno..... 23
- Obr. 9 a)** Tmavošedé jílovité břidlice letenského souvrství (ordovik), které směrem do nadloží přecházejí do vyběleného horizontu kaolinicky zvětralého ordoviku (metráž 34,1 – 35,4 m – fialová šipka). Na tyto zvětraliny nasedají tmavošedé jílovce peruckých vrstev (cenoman) s kořenovými půdami a slojkami uhlí (metráž 28,65 – 34,1 m). **b)** Rezavé limonitické krusty a železité pískovce o mocnosti 0,05–0,5 m zjištěné na bázi korycanských vrstev. **c)** V nejvyšších polohách korycanských vrstev jsou pískovce silně glaukonitické, zelenavé barvy. Vrt HJ-16 u ÚVN. **d)** Výchozy a bývalé lomy v tzv. střešovických stěnách (PP Střešovické skály) mezi vrty PJ-07 a HJ-15 (foto M. Aue 24. a 27. dubna 2020, S. Čech 4. května 2020)..... 25
- Obr. 10** Korelace vrtů přibližně v trase jižní varianty tunelu. Korelační linie mezi vrty je vyznačena černou čarou..... 26
- Obr. 11 a)** Umělý odkryv v Libocké ulici u čp. 31. Pod kvádrovými pískovci korycanských vrstev byla odkryta poloha černošedého uhelného prachovce peruckých vrstev. Tato poloha je v pravé části snímku, spolu s kvádrovými pískovci, „ustřižena“ poklesovým zlomem. (foto S. Čech); **b)** Zazděný vchod do sklepa vyhloubeného v pískovcích korycanských vrstev na severním okraji křídové plošiny ve Střešovicích (foto M. Korba)..... 27
- Obr. 12 a)** Celkem 241 měření orientace vrstevnatosti, jež jsou vynesena na spodní polokouli ve Schmidtové projekci. Tečky znázorňují póly ploch. **b)** Idealizovaná napjatost v křídle synformy v zájmové oblasti, podle analýzy z průzkumné štoly pod Stromovkou (upraveno podle Vošmika, 2008) 28

Obr. 13 Konturové diagramy vrstevnatostí z povrchových výkopů při stavbě metra trasy V.A: a) Situace v okolí Červeného vrchu (stanice Bořislavka); b) Situace z výkopů přeložek inženýrských sítí u stanice metra Veleslavín (M. Knížek, nepublikováno).....	29
Obr. 14 Přízломové porušení hornin zastižené na severojižních zlomech při ražbě stanice metra Bořislavka: a) Čelba přístupové štoly s dobrotivskými břidlicemi silně porušenými křehkou deformací ve středu a prohnětením břidličných poloh v levé části snímku; b) Intepretace přízломového provrásnění a duktilní deformací břidlic a křemenců dobrotivského souvrství při pohledu směrem na západ podle Tlamsy et al. (2012): Q – křemence, B – navětralé břidlice, Bz – zvětralé břidlice, Be – rozložené břidlice, Qd – deluviální sedimenty, An – navážky.....	31
Obr. 15 Geologická mapa zájmového prostoru s vyznačenými strukturálně geologickými prvky.....	32
Obr. 16 Zjednodušená interpretace kinematiky zlomů v západní části území.....	32
Obr. 17 a-b) Svahové sedimenty charakteru tmavošedého, rezavě smouhovaného písčitohlinitého až písčitojílovitého sedimentu se zahnětenými ostrohrannými klasty hornin. Vrt HJ-15 (foto M. Aue 30. dubna 2020).....	34
Obr. 18 a) Nezřetelný přechod v hloubkové úrovni 7,8 m ve vrtu HJ-15 mezi svahovými sedimenty a zvětralými břidlicemi stupně Wc. b) Velmi zvětralé až prakticky rozložené břidlice charakteru zeminy ve vrtu HJ-15 v hloubkové úrovni 15,2 m. c) Výkop v ulici Pod novým lesem č.p. 99/56 (pozemek parcelní č. 578). Ve výkopové jámě byly zjištěny horniny letenského souvrství – tence deskovité, šedavé prachovce a jílovce, rytmicky se střídající s křemennými pískovci, drobami a písčitymi břidlicemi. Lze pozorovat naprostou změnu původní temně šedé barvy břidlic na šedohnědou indikující stupeň zvětrání Wc – viz detail výkopu d) prozrazující rychlé střídání deskovitých, prachovců a jílovců, rytmicky se střídající s křemennými pískovci, drobami a písčitymi břidlicemi letenského souvrství (foto M. Aue 19. května 2019 a 29. dubna 2020).	35
Obr. 19 Příklad zdravých ordovických hornin bez patrného zvětrání a) vrtné jádro HJ-16 v úseku 75–85 m b) Vrtné jádro 55,6 -55,9 m HJ-15. Vložky tenkých poloh jemnozrnných křemenných pískovců – silicifikovaných (křemenců) v prachovitých břidlicích letenského souvrství (foto S. Čech dne 5. května 2020).....	36
Obr. 20 Hydrologická povodí zájmové oblasti. Mapový podklad je tvořen datovými sadami ZABAGED® a HEIS VÚV.....	38
Obr. 21 Schématický zákres průběhu historických štol, resp. Královského vodovodu jako celku (Dragoun 2020).....	48
Obr. 22 Testovací tunel v kanadské podzemní laboratoři a schematické znázornění EDZ zón kolem tunelu. Obrázek postihuje porušení v méně běžném případě, kdy větší z hlavních napětí je napětím horizontálním (Read 2004).....	53
Obr. 23 Grafické znázornění oblastí ovlivněných ražbou podzemního díla. Pozn.: při obvykle větším hlavním napětí ve svislém směru je hranice oblasti EIZ tvořena elipsou s delší osou také ve směru svislém. (Perras – Diederichs 2016).	54
Obr. 24 a) Ve střední dolní části fotografie patrný vykrystalizovaný sádrovec bílé barvy, jakožto produkt zvětrávání pyritu v ordovických břidlicích; b) Detail krystalu sádrovce (Foto M. Aue 30. dubna 2020)..	57
Obr. 25 Obor křivek zrnitosti stanovených v případě 154 vzorků spraší (Kleček 1970).	60
Obr. 26 Obor křivek zrnitosti stanovených v případě 4 vzorků deluviálních sedimentů (Králová 1971b).	61
Obr. 27 Obor křivek zrnitosti stanovených v případě 9 vzorků fluviálních sedimentů (Králová 1971b)..	62

Obr. 28 Obor křivek zrnitosti vyšších terasových stupňů (Kleček 1970).....	63
Obr. 29 Křivky zrnitosti zvětralých vrstev geotypu GT9 podtypu LtnP (Králová 1971b).....	65
Obr. 30 Průběh varianty HLOUBENÁ vůči litostratigrafickým jednotkám. Obrázek v plném rozlišení včetně legendy jsou obsahem přílohy 11.1 . Převýšeno 2,5x.....	77
Obr. 31 Průběh varianty SEVER vůči litostratigrafickým jednotkám. Obrázek v plném rozlišení včetně legendy jsou obsahem přílohy 11.2 . Převýšeno 2,5x.....	78
Obr. 32 Průběh varianty STŘED vůči litostratigrafickým jednotkám. Obrázek v plném rozlišení včetně legendy jsou obsahem přílohy 11.3 . Převýšeno 2,5x.....	79
Obr. 33 Průběh varianty JIH vůči litostratigrafickým jednotkám. Obrázek v plném rozlišení včetně legendy jsou obsahem přílohy 11.4 . Převýšeno 2,5x.	80
Obr. 34 Legenda: Category A: Pro zmírnění rizik sedání jsou nutná technická opatření. Category B: Možné riziko způsobené sedáním. Category C: Nízké riziko způsobené sedáním. Category D: Vliv tunelování je pravděpodobně zanedbatelný (Thewes a kol. 2020).....	85
Obr. 35 Východní část tunelů před vstupem do ordovických hornin prochází kvartérními sedimenty, které jsou pro lepší přehlednost odstraněny (2,5x převýšeno). Ovlivnění parametrů 10 a 12 (tab. 11)-	88
Obr. 36 Schéma ukazuje průběh jednotlivých tras vůči kvartérnímu pokryvu. V místech, kde jsou trasy na žlutém a modrém (hladina podzemní vody) polygonu, probíhají tunely v kvartérních sedimentech, tj. v místech zvýšeného rizika ražby (hloubení). Tam kde je trasa skryta pod žlutým polygonem, probíhá pod kvartérem v ordovických horninách a v takových místech je potřeba počítat s nižším nadložím v horninovém masivu. Tam kde jsou jednotlivé trasy mimo žlutý polygon, probíhají pouze v ordovických horninách (popř. s křídovým pokryvem), kde je existence sníženého nadloží minimalizována.....	88
Obr. 37 Kosý pohled na model bez kvartérních sedimentů a křídového platformního pokryvu ukazuje průběh jednotlivých variant tras tunelů vůči ordovickým horninám. Zcela vpravo (na severu) je varianta HLOUBENÁ, uprostřed probíhá varianta SEVER a zcela vlevo (na jihu) varianta JIH. Varianta STŘED kopíruje variantu jižní a na západě se od ní odděluje k severu. Názorně zde lze vidět variabilitu geologického prostředí ve vztahu k jednotlivým trasám. Ovlivnění parametru 13 z tab. 11 , tab. 12	89
Obr. 38 Složitá západní část všech variant je významně ovlivněna zlomovou stavbou. Ovlivnění parametrů 7 a 14 z tab. 12 . Pohled od západu.	89
Obr. 39 Jiný pohled na model bez kvartérních sedimentů a křídového platformního pokryvu. Názorně zde lze vidět variabilitu geologického prostředí ve vztahu k jednotlivým trasám. Ovlivnění parametru 13 z tab. 11 a tab. 12	90
Obr. 40 Složitá západní část všech variant je významně ovlivněna zlomovou stavbou. Ovlivnění parametrů 7 a 14 z tab. 12 . Pohled od východu.....	91

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled souřadnic vrcholů polygonu definujících horizontální rozsah oblastí sběru dat a vlastního 3D modelu (S-JTSK ve verzi pro GIS; zdroj výškopisných dat ČÚZK).....	2
Tab. 2 Časový harmonogram prací na zadaném úkolu.	3
Tab. 3 Kódové označení všech předpokládaných geologických jednotek, včetně strukturních a hydrogeologických prvků.	10
Tab. 4 Standardní geologické schéma (legenda) použitá při tvorbě 3D modelu.	12
Tab. 5 Výsledky testů EDZ zón projektu Stripa (Gray 1993).....	55
Tab. 6 Souhrnná tabulka výsledků testů abrazivnosti metodou CERCHAR Extrémně vysoká abrazivnost (CAI 4,42) byla zjištěna pouze u souvrství LtnJ, W1 - zdravé laminy jemnozrnného křemence R2. U dvou vzorků byla zjištěna střední abrazivnost (LtnP) a u ostatních (11 vzorků) byla zjištěna nízká abrazivnost (Tůma – Chmelař – Hudek 2019, Dragoun 2019, 2020).....	68
Tab. 7 Základní orientační geotechnické parametry zemin vybraných geotypů ((Šimek 1969, Králová 1971b, tesař – Hudek 1971, Chmelař – Březina – Urban 2009, Vorel et al. 2009, Tůma – Chmelař – Hudek 2019, Dragoun 2019, 2020).....	68
Tab. 8 Základní orientační geotechnické parametry hornin vybraných geotypů ((Šimek 1969, Králová 1971b, tesař – Hudek 1971, Chmelař – Březina – Urban 2009, Vorel et al. 2009, Tůma – Chmelař – Hudek 2019, Dragoun 2019, 2020).....	69
Tab. 10 Počty zkoušek realizovaných průzkumem Tůmy – Chmelaře – Hudka (2019).....	73
Tab. 11 Průnik jednotlivých variant tras tunelů s geologickými jednotkami. Zeleně jsou označeny příznivé hodnoty, červeně pak nepříznivé.....	76
Tab. 12 Rozdělení výrubu jednotlivých tunelových variant pro TBM dle zastížených litologií. Idealizované objemy horninových typů odpovídají vždy jižní rouře jednotlivých variant. Objemy jsou kalkulovány z průměru výrubu 9,9 m. Pro výpočet byl využitý nástroj "Spatial join" (Have their center in) litologií a "planarized" průběhu spodní hranice tunelu. Získané plochy se použily do vzorce $V=S/2r*\pi r^2$ pro výpočet objemů. Zeleně jsou označeny příznivé hodnoty, červeně pak nepříznivé. .Pozn. Hodnota pro GT 15 je expertní odhad zastoupení tektonicky porušených hornin, který by se podle skutečně zastížených poměrů odčítal od dané horniny, kterou porušuje. Procentuálně jde o min.5 až max.10% celkového výrubu.	82
Tab. 13 Souhrnná tabulka geologických fenoménů, ovlivňujících jednotlivé varianty nového propojení železničních stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín. (Čím nižší skóre, tím nižší pravděpodobnost výskytu rizikového geologického fenoménu).	87

Seznam příloh

(pouze v elektronické podobě)

1. Mapa reinterpretovaných GDO (formát *.pdf)
2. Tabulka lokalizací reinterpretovaných GDO (formát *.pdf)
3. Vrtná dokumentace použitá do 3D modelu (formát *.pdf)
4. Soupis všech archivních průzkumů evidovaných ČGS v zájmové oblasti (formát *.xlsx)
5. Fotodokumentace (formát *.pdf)
6. Analýza zvětrání skalního podkladu (formát *.docx)
7. Hydraulické parametry hydrostratigrafických jednotek zájmového území (formát *.pdf)
8. 3D model (nativní formát MOVE™ 2019.1)
9. Legenda k 3D modelu (formát *.pdf)
10. Exporty 3D modelu (formáty *.pdf, *.mp4)
11. Exporty 2D příčných a podélných geologických řezů (formát *.pdf)

Seznam použitých zkratek

2D	Plocha, kterou lze popsat prostřednictvím dvou rozměrů (dimenzí)
3D	Prostor, který lze popsat prostřednictvím tří rozměrů (dimenzí)
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
Bpv	Výškový referenční systém Balt po vyrovnání (m n. m.)
CDZ	Construction Damage Zone
ČGS	Česká geologická služba
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
DMR5G	Digitální model reliéfu 5. generace (© ČÚZK)
DSP	Dokumentace skutečného provedení
EDZ	Excavation Damaged Zone
EdZ	Excavation Disturbed Zones
EIZ	Excavation Influence Zone
EN	Evropská norma
GDO	Geologicky dokumentovaný objekt (archiv ČGS – tzv. Geofond)
GIS	Geografický informační systém
GT	Geotyp
HDZ	Highly damaged zone
HEIS	Hydroekologický informační systém
CAI	Cerchar Abrasivity Index
CHOPAV	Chráněná oblast přirozené akumulace vod
IPR	Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy, příspěvková organizace
ISO	International Standard Organization
KD	Kontrolní den
LiDAR	Light Detection And Ranging (také LADAR)
Ma	Megaannus (jednotka času čítající 1 000 000 let)
MČ	Městská část
MD	Ministerstvo dopravy
MOVE™	Mobility Opportunities Via Education/Experience
PP	Přírodní památka
REV	Representative Elementary Volume
RQD	Rock Quality Designation Index
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SO	Stavební objekt
SOU	Střední odborné učiliště
SŽ	Správa železnic, státní organizace
TBM	Tunnel Boring Machine
TIN	Triangulated Irregular Network
TS	Technická specifikace
ÚVN	Ústřední vojenská nemocnice – Vojenská fakultní nemocnice Praha
VÚV	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.
ZABAGED®	Základní báze geografických dat ČR
ŽP	Životní prostředí

Poděkování

Autorský kolektiv by touto cestou rád poděkoval organizaci PÚDIS, a.s., jmenovitě RNDr. Radovanu Chmelařovi, Ph.D., vedoucímu střediska inženýrské geologie a geotechnického monitoringu, za zpřístupnění firemního archivu pro potřeby ČGS.

Další poděkování patří doc. RNDr. Pavlu Pospíšilovi, Ph.D., z katedry geotechniky a podzemního stavitelství Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava, za cenné odborné rady při sestavování této závěrečné zprávy.

V neposlední řadě autorský kolektiv děkuje doc. Dr. Ing. Janu Pruškovi, vedoucímu katedry geotechniky fakulty stavební ČVUT, za kritické připomínky k předkládané zprávě.

Abstrakt

Předkládaná zpráva zahrnuje odborné posouzení čtyř aktuálně navržených variant nového propojení železničních stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín ve vztahu ke geologické stavbě zájmového území. Jedná se o tunelové varianty s označením HLOUBENÁ, ražená SEVER, ražená STŘED a ražená JIH.

Jako součást odborného posouzení byl sestaven 3D koncepční geologický model znázorňující geologickou stavbu zájmového území. Na jeho základě jsou vyhodnoceny inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry všech navržených variant a doporučena optimální varianta včetně odborného geologického zdůvodnění její vhodnosti.

Jsou definovány inženýrskogeologické a hydrogeologické aspekty plynoucí z ražby/hloubení tunelů a doprovodných staveb (větrací šachty) v daném geologickém prostředí a z umístění portálů tunelů. Jsou posouzeny specifické parametry v oblasti hydrogeologie, a to možnost propojení křídových a paleozoických horizontů podzemních vod vlivem ražby tunelů (zejména při průchodu tektonickou poruchou) a vlivem ražby větrací šachty. Také je generelně posouzena míra možného ovlivnění podzemních vod během realizace a po dokončení stavby.

Součástí zprávy je rovněž posouzení splnění cílů dosud zpracovaných předběžných geotechnických (tj. inženýrskogeologických) průzkumů pro řešené varianty nového propojení železničních stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín s ohledem na určení geologických nejistot při zpracování geologického koncepčního modelu. Současně jsou identifikována místa s nižší vypovídací schopností stávajících geologických dat s doporučením, jak snížit nejistoty v těchto oblastech dalšími průzkumnými pracemi.

Klíčová slova

Praha-Dejvice, Praha-Veleslavín. 3D koncepční geologický model, geologická stavba, tunel, ražba, varianta HLOUBENÁ, SEVER, STŘED, JIH, inženýrská geologie, hydrogeologie, geotechnika, mechanické vlastnosti hornin a zemin

Abstract

The presented report includes an expert assessment of four currently proposed alternatives of the new interconnection of the Prague-Dejvice and Prague-Veleslavín railway stations in relation to the ground of the area of interest. These are tunnel alternatives with the designation CUT-AND-COVER method (HLOUBENÁ), TBM technology NORTH (SEVER), TBM technology CENTER (STŘED) and TBM technology SOUTH (JIH).

As part of the expert assessment, a 3D conceptual geological model expressing geological structure of the area of interest was compiled. Based on it, the engineering geological and hydrogeological conditions of all proposed alternatives are evaluated and the optimal alternative is recommended, including a professional geological explanation of its suitability.

The engineering geological and hydrogeological aspects resulting from the method of tunnel excavation (cut-and-cover method / tunnel boring), and accompanying structures (ventilation shafts) in the given ground and from the location of the tunnel portals are defined. Specific parameters in the field of hydrogeology are assessed. Namely it is the possibility of connecting the Cretaceous and Paleozoic groundwater aquifers due to tunnel excavation (especially when passing through a tectonic fault) and due to the excavation of a ventilation shaft. The degree of possible impact on groundwater during construction and after construction in the state of operation is also generally assessed.

The report also includes an assessment of the fulfilment of the objectives of preliminary ground investigations for the addressed alternatives of the new interconnection of railway stations Prague-Dejvice and Prague-Veleslavín. It was performed with regard to determine geological uncertainties connected with generation a geological conceptual model. At the same time, areas with lower quality of existing geological knowledge are identified with recommendations on how to reduce uncertainties in these areas in terms of further ground investigation.

Keywords

Prague-Dejvice, Prague-Veleslavín, 3D conceptual geological model, ground conditions, tunnel, tunnel cut-and-cover method, tunnel boring, alternative CUT-AND-COVER method (HLOUBENÁ), TBM technology NORTH (SEVER), TBM technology CENTER (STŘED), TBM technology SOUTH (JIH), engineering geology, hydrogeology, geotechnics, rocks and soils mechanical properties

1 Úvod

Na základě nabídky zpracované Českou geologickou službou dne 15. května 2020 a následné smlouvy o dílo uzavřené dne 13. srpna 2020 mezi organizacemi METROPROJEKT Praha, a.s. jako objednatelem, a Českou geologickou službou jako zhotovitelem, bylo vypracováno zhodnocení čtyř aktuálně zvažovaných variant tunelu pro železniční trať v úseku Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín ve vztahu ke geologické stavbě zájmového území reprezentované vytvořeným koncepčním 3D geologickým modelem. Závěrečná zpráva byla vyhotovena v rámci projektu „Modernizace trati Praha-Výstaviště (mimo) – Praha-Veleslavín (mimo)“, jehož investorem je Správa železnic, státní organizace.

Koncepce nového propojení železničních stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín prošla v minulosti složitým vývojem. Správa železnic, státní podnik, postupně prověřila několik variant vedení nové trasy, kdy se při projektování snažila zohlednit řadu limitujících faktorů: jedná se zejména o možné ovlivnění Fyzikálního ústavu Akademie věd ČR, tunelu Blanka, trasy A pražského metra, teplárny Veleslavín, přečerpávací stanice a vodojemů Bruska, a především o geologickou stavbu zájmového území. Po mnohých analýzách a diskusích byly navrženy čtyři varianty nového propojení železničních stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín: modernizace a zahloubení stávající trasy (varianta „HLOUBENÁ“) a tunelové varianty „SEVER“, „STŘED“ a „JIH“. Jejich situování v zájmovém území je znázorněno na **obr. 1**.

Pro území, ve kterém jsou jednotlivé varianty situovány, byl v rámci předkládané zprávy vytvořen 3D koncepční geologický model. Vyhotovení modelu proběhlo v software pro 3D modelování MOVE™ vyvinutém organizací Petroleum Experts Inc., který je využíván Českou geologickou službou na základě platných licenčních smluv. Pro tvorbu vlastního 3D modelu byla digitálně zpracována dostupná geologická data, především pak archivní geologické mapy různých měřítek, vrty, geologické řezy, vše doplněné dokumentací v terénu. Předkládaná závěrečná zpráva tedy v podstatě plní roli vysvětlujícího a doplňujícího textu k vytvořenému koncepčnímu 3D geologickému modelu. Věcnou stránku zprávy doplňují také elektronické přílohy.

1.1 Vymezení zájmové oblasti

Zájmové území je ohraničené dvěma polygony (**obr. 1**). Jejich prostorové vymezení bylo smluvně definováno s ohledem na průběh jednotlivých navrhovaných variant propojení výše uvedených železničních stanic a aktuální stav geologické prozkoumanosti tohoto území.

Vnější polygon (4,0 × 1,7 km; 6,3 km²) byl vymezen za účelem sběru geologických dat pro tvorbu 3D modelu, zatímco vnitřní polygon (3,4 × 1,1 km; 3,9 km²) představuje oblast tvorby 3D modelu samotného. Svými hranicemi zasahuje zájmové území do katastrálních území Vokovice (729418), Dejvice (729272), Bubeneč (730106), Veleslavín (729353), Břevnov (729582), Střešovice (729302), Hradčany (727121) a okrajově také Malá Strana (727091).

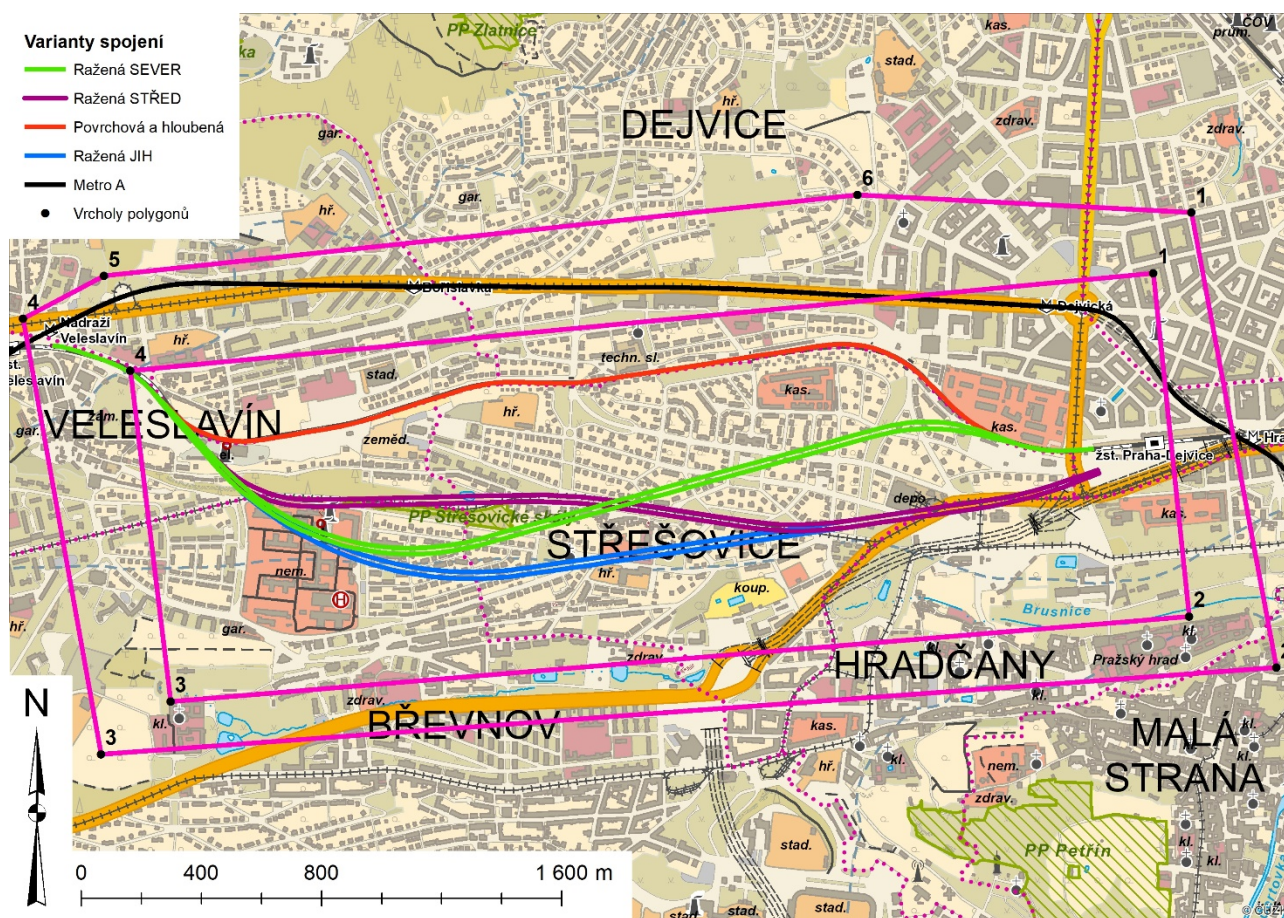
Bázi modelu je horizontální rovina vedená v nadmořské výšce 150 m, aby hloubkový dosah modelu byl minimálně 60 m pod bází nejnižšího místa plánovaných tunelů. Přehled souřadnic vrcholů polygonů definujících plošný rozsah zájmového území je uveden v **tab. 1** a na **obr. 1**.

Povrch modelu tvoří digitální model reliéfu ČR 5. generace, který představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu. Je vyjádřen v digitálním tvaru ve formě výšek

diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti bodů (TIN) o souřadnicích X, Y, Z, kde Z reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (podrobněji viz kap. 2.2.3). Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu (LiDAR) území ČR v letech 2009 až 2013.

Tab. 1 Přehled souřadnic vrcholů polygonu definujících horizontální rozsah oblasti sběru dat a vlastního 3D modelu (S-JTSK ve verzi pro GIS; zdroj výškopisných dat ČÚZK).

Polygon	Vrchol	X (m)	Y (m)	Z (m)
Vnější polygon (sběr dat)	1	-744 077,880	-1 040 993,651	212,83
	2	-743 795,155	-1 042 510,044	190,55
	3	-747 707,971	-1 042 798,113	344,69
	4	-747 967,263	-1 041 348,193	311,98
	5	-747 697,388	-1 041 205,318	296,35
	6	-745 189,133	-1 040 935,443	250,52
Vnitřní polygon (3D model)	1	-744 204,881	-1 041 196,058	214,23
	2	-744 084,495	-1 042 339,589	232,81
	3	-747 476,460	-1 042 622,694	325,26
	4	-747 610,075	-1 041 521,496	306,32



Obr. 1 Zájmové území tvořené vnějším polygonem, vymezeným za účelem sběru geologických dat pro tvorbu 3D modelu, a vnitřním polygonem jako oblastí tvorby 3D modelu samotného. Jednotlivé navrhované trasy mezi železničními stanicemi Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín jsou barevně rozlišeny (mapový podklad ZABAGED®).

1.2 Časový harmonogram prací

V rámci plnění uzavřeného kontraktu byla mezi 1. červnem a 31. červencem 2020 provedena rozsáhlá exerce dat, která se vztahují k zájmové oblasti, z archivu ČGS (tzv. Geofond). Byly dokumentovány a následně reinterpretovány podstatné geologické objekty (vrty, skalní výchozy, výkopy atd.) nacházející se v definovaných polygonech.

V této souvislosti je nutné podotknout, že ještě před zahájením prací na úkolu byla v rámci standardního výkonu státní geologické služby (v souladu s ustanovením § 17, odst. 2 zákona č. 62/1988 Sb., o geologických pracích, ve znění pozdějších předpisů) provedena v průběhu ledna 2019 a dále pak ve dnech 23. až 25. dubna, 27. až 30. dubna a 4. až 6. května 2020 dokumentace vrtných prací během inženýrskogeologických průzkumů pro trasy železničních tunelů stavby „Modernizace železniční trati Praha-Výstaviště (mimo) – Praha-Veleslavín (mimo)“ (Budil – Nohejlová – Bruthansová 2019; Aue et al. 2020 – **obr. 2 a, b, c, d**). Dokumentace vrtných prací umožnila mimo jiné provést paleontologický výzkum, a především zpřesnit geologickou stavbu zájmové oblasti.

Během srpna 2020 byl z reinterpretovaných dat postupně vytvořen koncepční 3D geologický model zájmové oblasti, který byl následně upravován a zpřesňován především na základě nově zjištěných i odvozených geologických informací. V souladu s uzavřenou smlouvou poté 31. srpna 2020 zhotovitel prezentoval vytvořený koncepční 3D geologický model objednateli.

V průběhu měsíce září 2020 byl uvedený model dokončen a k 30. září 2020 byl vypracován koncept závěrečné zprávy s úvodním zhodnocením navržených variant nového propojení železničních stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín ve vztahu ke geologické stavbě zájmového území reprezentované vytvořeným koncepčním 3D geologickým modelem.

Na základě plnění termínů ve smlouvě o dílo ze dne 13. srpna 2020 je 11. listopad 2020 dnem odevzdání čistopisu závěrečného posouzení a exportů 3D geologického modelu a dalších grafických výstupů.

Plnění prací bylo průběžně konzultováno a hodnoceno na pravidelných KD v intervalu jednou měsíčně. V rámci těchto KD vznikl jako společný konsenzus objednatele a zhotovitele také metodický postup prací pro sestavení 3D modelu a závěrečné zprávy. Časový harmonogram je přehledně shrnut v **tab. 2**.

Tab. 2 Časový harmonogram prací na zadaném úkolu.

Činnost		Termín plnění (rok 2020)
1	Přípravné práce (archiv, LiDAR, mapové podklady)	červen
2	Reinterpretace zjištěných geologických údajů	červen až červenec
3	Tvorba 3D modelu	srpen až září
4	Závěrečné zpracování (model, zpráva, grafické výstupy)	září až listopad



Obr. 2 Dokumentace vrtných prací inženýrskogeologického průzkumu pro trasy železničních tunelů stavby „Modernizace železniční trati Praha-Výstaviště (mimo) – Praha-Veleslavín (mimo)“ v rámci standardního výkonu státní geologické služby: **a)** Vrtná souprava hloubicí vrt HJ-5; **b)** Dokumentace jádra vrtu HJ-5; **c–d)** Dokumentace jádra vrtu HJ-16 (Foto P. Budil leden 2019, M. Aue 24. dubna 2020).

2 Metodika a rozsah prací

V rámci projektu „Modernizace železniční trati Praha-Výstaviště (mimo) – Praha-Veleslavín (mimo)“, resp., zhodnocení navržených variant nového propojení železničních stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín ve vztahu ke geologické stavbě zájmového území reprezentované vytvořeným koncepčním 3D geologickým modelem, byla využita metodika zahrnující následující práce a přístupy:

- Analýza dosavadní geologické prozkoumanosti
 - Archivní průzkumy využité pro sestavení modelu
 - Revize archivních průzkumů
 - Reinterpretace archivních dat
 - Posouzení střetů zájmů
- Tvorba koncepčního 3D geologického modelu
 - Vstupní data a jejich příprava
 - Stanovení pravidel modelování
 - Konstrukce 3D strukturně-geologického modelu
 - Posouzení nejistot modelu

2.1 Dosavadní geologická prozkoumanost

Pro analýzu dosavadní geologické prozkoumanosti proběhlo na studovaném území několik etap zpracování archivních dat. Výchozími informačními zdroji byly především archivy ČGS (tzv. Geofond), organizace PÚDIS, a.s., a IPR a dále různá odborná periodika, monografie a publikace (viz seznam literatury).

2.1.1 Archivní podklady využité pro sestavení modelu

Historie systematického zkoumání geologické stavby zájmového území pro účely územního plánování sahá až do období první republiky. Například v roce 1936 bylo stavební firmou Ing. Josef Záruba-Pfeffermann & spol. vyhloubeno několik průzkumných vrtů za účelem dostavby budovy Archivu země České (vrty č. 379, 380, 381 viz **přílohy 1 až 3**). Také během druhé světové války byla vyvrtána řada vrtů např. za účelem projektování a výstavby podzemní dráhy (vrty č. 231, 233, 234). Závěrečné zprávy výše zmíněných průzkumů se však v archivech bohužel nedochovaly.

Masivní nárůst průzkumných geologických prací nejen v zájmovém území, ale v rámci celého území hlavního města Prahy, však nastal až po druhé světové válce. S překotným rozvojem města vyvstala potřeba systematického přístupu při řešení náročných podmínek výstavby. S tím souvisí dobrá znalost místních geologických poměrů, která je pro urbanistické plánování, výstavbu sídlišť, komunikací i jednotlivých objektů zcela zásadní. Zrodily se proto prvotní úvahy o sestavení souboru inženýrskogeologických map pro území hlavního města Prahy.

První z poválečných map, které lze zařadit k inženýrskogeologickým, byly tzv. Plány základových púd Velké Prahy v měřítku 1 : 5 000, které byly vypracovány v letech 1951–1960. Základem zobrazení geologických poměrů byla tzv. pásková (proužková) metoda vypracovaná Dr. K. Žeberou v roce 1947. Vlivem stále se zvyšujících požadavků na podklady pro územní plánování a pro

výstavbu však tyto mapy brzy přestaly dostačovat (Králová 1971a). Jako další výzkumné práce, které systematicky popisují úložné poměry zkoumaného území, lze jmenovat např. diplomovou práci Sekala (1959), který pro část Hradčan, Dejvic, Střešovic, Břevnova a Smíchova zpracoval mapu základových půd, nebo diplomovou práci Šimka (1959a), který sestavil inženýrskogeologickou mapu severozápadní části Prahy v měřítku 1 : 5 000.

Nový přístup k tvorbě inženýrskogeologických map vzešel ze školy akademika Q. Záruby a na jejím postupném vývoji se podíleli z jeho žáků zejména J. Pašek, J. Rybář a R. Šimek. Postupně vznikla představa o souboru geologických map měřítkem 1 : 5 000, který se skládal ze čtyř dílčích map, a to mapy geologické, hydrogeologické, inženýrskogeologické a mapy dokumentačních bodů. Podle nové metodiky byla v roce 1969 zahájena tvorba těchto map pro celé území hlavního města Prahy, která probíhala až do konce 20. století s tím, že některé mapové listy byly aktualizovány i po roce 2007.

Tyto mapy poskytují detailní informace o přípovrchové i hlubinné geologické stavbě a zahrnují např. údaje o charakteru, rozsahu a mocnosti kvartérních sedimentů, hloubce hladiny a chemismu podzemní vody, geodynamických jevech, starých těžebnách, hloubce a litostratigrafii skalního podkladu apod. Uvedené informace jsou součástí průvodních zpráv k těmto mapám. Zájmové území zasahuje na listy Praha 7-0 (Kleček 1970), Praha 7-1 (Šimek 1969), Praha 8-0 (Králová 1971b), Praha 8-1 (Králová 1970), Praha 9-0 (Pařízková 1974) a Praha 9-1 (Králová 1975).

Uvedené mapy zobrazují geologické poměry na základě úrovně poznání v době jejich redakční uzávěrky – tj. k létům 1969–1975, s výjimkou listu Praha 7-0, který byl před několika lety aktualizován. Průzkumná činnost v zájmové oblasti však pokračuje i v posledních letech. Archiv ČGS (tzv. Geofond) k datu 31. května 2020 eviduje celkem 1 459 GDO, přičemž drtivá většina z tohoto počtu jsou vrty a kopané sondy. Dalšími několika stovkami objektů, avšak mnohdy bez odkazu na závěrečné zprávy, je k dispozici v archivu organizace PÚDIS, a.s. Vzhledem k částečné duplicitě s objekty evidovanými v archivu ČGS (tzv. Geofond) není celkový skutečný počet GDO v zájmové oblasti znám.

V současné době archiv ČGS (tzv. Geofond) eviduje v zájmovém území 125 závěrečných zpráv geologických prací. V rámci prováděné rešerše bylo postupně prostudováno přibližně 90 těchto závěrečných zpráv, které mají pro inženýrskogeologické a hydrogeologické zhodnocení zájmové oblasti určující význam. Tyto zprávy byly posléze převedeny do formátu PDF a jsou nyní k dispozici online v archivu ČGS (tzv. Geofond). Zjištěné archivní podklady lze tematicky rozdělit do několika skupin, a to především na průzkumy inženýrskogeologické, stavebně-geologické, geotechnické a hydrogeologické.

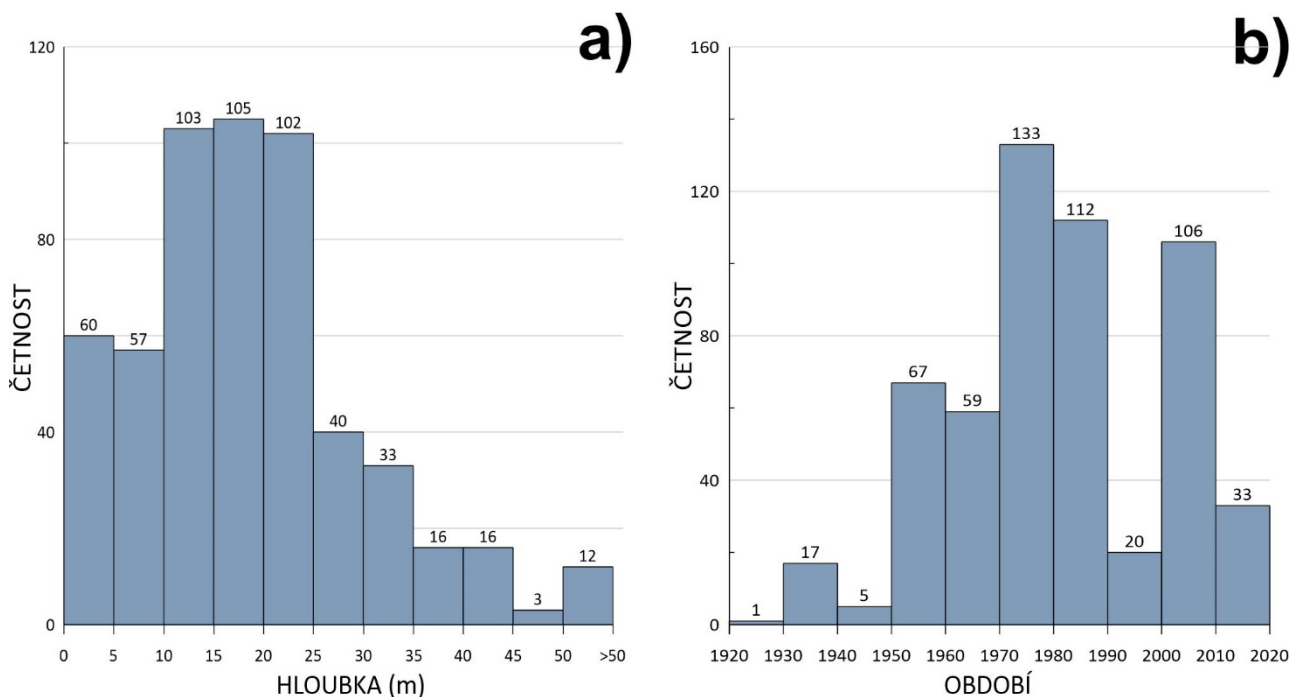
Zásadní poznatky o geologických poměrech zájmové oblasti přinesly zejména průvodní zprávy k inženýrskogeologickým mapám v měřítku 1 : 5 000 – viz výše. Další důležité informace poskytly průzkumy pro stavbu metra A: Tesař – Hudek (1971), Smolař (2008), Smolař – Votoček (2008), Bohátková (2008), Bohátková – Rout (2011), Bohátková – Tlamsa (2011) a Bohátková et al. (2011). Důležité byly také průzkumy pro stavbu městského okruhu: Chmelař – Březina – Urban (2009), Vorel et al. (2009, 2010) a Oberhelová et al. (2017). Pro získání ucelené představy o místních geologických poměrech bylo využito také informací obsažených v předběžných geotechnických průzkumech Tůmy – Chmelaře – Hudka (2019) a Dragouna (2019, 2020).

V rámci prováděných prací na sestavení koncepčního 3D geologického modelu byla z výše uvedených informačních zdrojů v několika etapách provedena selekce GDO. Celkem bylo vybráno

554 objektů, přičemž určujícími faktory pro výběr byly zejména hloubka (pro zdokumentování co největšího počtu geologických rozhraní) a dokumentace různých strukturních prvků (tektonika, vrstevnatost atp.). Tato měření se pak stala podkladem pro detailní strukturní analýzu skalního podkladu (podrobněji viz **kap. 2.2.1**). Pouze v místech, kde chybělo dostatečné množství údajů o geologické stavbě ať už z důvodů absence hlubokých vrtů, kopaných sond nebo v důsledku jiných vlivů, byly selektované GDO doplněny o objekty zasahující jen mělké formace.

V této souvislosti je nutné upozornit, že v zájmové oblasti se nachází daleko více geologických objektů, než kolik jich bylo v rámci rešerše archivní prozkoumanosti vybráno k analýze. Ve většině případů se však jedná o mělká průzkumná díla s hloubkou pouze několika prvních metrů, která by pro tvorbu 3D modelu nebyla přínosem, ale spíš přítěží z důvodu jeho možného zahlcení.

Pro získání širší představy o vybraných GDO byly vypracovány histogramy četností jejich hloubkových intervalů (**obr. 3a**) a také období jejich evidence (**obr. 3b**). Největší četnost hloubkových úrovní GDO je mezi 10 a 25 m, což představuje více než polovinu všech použitých GDO. V případě roků evidence GDO lze dobře vidět rapidní vzrůst počtu nových průzkumných děl provedených po druhé světové válce s výrazným maximem v 70. letech, během nichž v zájmové oblasti vzniklo 133 nových GDO (vrtů, resp. kopaných sond).



Obr. 3 Histogramy zobrazující četnost hloubek využitých GDO (převážně vrty a kopané sondy) nacházejících se v zájmové oblasti (**a**) a období jejich vzniku, resp. evidence v archivech PÚDIS, a.s., a ČGS – tzv. Geofond (**b**). V případě histogramu četnosti hloubek není do analýzy zahrnuto 7 GDO, protože se jednalo o skalní výchozy, u kterých není hloubka definovaná, v případě histogramu období vzniku není do analýzy zahrnut 1 GDO z důvodů absence informace o roku jeho vzniku.

Pro potřebu litostratigrafického rozčlenění hornin a zemin v průzkumných vrtech bylo nicméně třeba provést revizi stávající vrtné dokumentace. U velkého množství vrtů hloubených bezjádrově se v

dokumentaci uvádí neúměrně mocné antropogenní uložení – navážky. Při srovnání popisu těchto vrtů s profily blízkých jádrových vrtů a s přirozenými odkryvy je však evidentní, že tyto vrty ve skutečnosti zastihly podložní horniny (nikoli pouze kvartér) a že popisy hornin, jejich rozhraní a interpretace stratigrafie byly u bezjádrových vrtů ovlivněny technologií vrtání a zkušeností dokumentujícího geologa. Z důvodu nejasné dokumentace bylo několik starších vrtů zcela vyřazeno z hodnocení.

Z provedených rešeršních prací tedy vyplynula poměrně vysoká geologická prozkoumanost zájmového území. Geologické objekty (především vrty, kopané sondy, skalní výchozy a umělé odkryvy) jsou však na zkoumaném území rozmístěny velmi nepravidelně. Archivní průzkumné práce byly navíc realizovány do proměnlivé hloubky podle účelu, ke kterému sloužily.

2.1.2 Laboratorní rozbory odebraných vzorků zemin a hornin

V rámci zpracování přehledu inženýrskogeologických poměrů ke koncepčnímu 3D geologickému modelu nebyly odebrány vzorky k laboratornímu zpracování. Při popisu hlavních geotypů modelu a jejich charakteristických vlastností vycházel zhotovitel výhradně z archivní prozkoumanosti (viz **kap. 4.1**).

Při popisu charakteristik horninového prostředí na základě archivních laboratorních rozborů se v inženýrskogeologické, geotechnické a stavební praxi užívá řady předepsaných norem. V současné době jsou na území našeho státu v platnosti normy evropské označené ČSN EN, ČSN EN ISO, ČSN EN ISO/TS aj., a revidované normy české – ČSN. Některé revidované normy ČSN nemají evropský ekvivalent; jiné normy byly bez náhrady zrušeny. S ohledem na nutnost provádění rešerší archivních průzkumů, dlouholetou tradici v užívání některých normových předpisů a pro získání zkušeností je však mnoho neplatných norem ČSN v technické praxi i nadále používáno. Normy použité při popisu jednotlivých geotypů vyskytujících se v 3D modelu, resp. případné rozpory mezi normami, jsou průběžně citovány v textu. Jejich kompletní soupis je pak uveden v seznamu literatury.

2.1.3 Posouzení střetů zájmů

Tepelná čerpadla a studny v navrhovaných trasách a jejich okolí

V širším posuzovaném území byly v posledních letech hloubeny nové hluboké vrtané studny a vrty s kolektory tepelných čerpadel. V archivu ČGS (tzv. Geofond) byla nalezena dokumentace pouze k některým takovým objektům, neboť s mnohými výsledky geologických prací není nakládáno v souladu s vyhláškou č. 368/2004 Sb., o geologické dokumentaci.

Z hlediska projektované trasy raženého tunelu varianty SEVER se očekává ovlivnění 2 tepelných čerpadel a 1 vrtané studny (všechny hluboké 125 m) nacházejících se přímo v trase tunelu v ulici Lomená 499/3 (Jerie 2010).

Česká geologická služba v průběhu řešení úkolu získala neověřenou informaci, že se vrty pro tepelná čerpadla o neznámé hloubce mohou naházet také v trase varianty JIH. Podle podkladů z archivu ČGS (tzv. Geofond), kam na základě ustanovení § 12 zákona č. 62/1988 Sb., o geologických pracích, ve znění pozdějších předpisů, platí povinnost odevzdávat k archivaci výsledky geologických prací, se ale v trase stavby žádné takové objekty nenacházejí. Jednu z možných příčin tohoto nevyjasněného stavu možno na základě zkušeností zhotovitele spatřovat i v zákoně č. 543/1991

Sb., kterým se mění a doplňuje zákon České národní rady č. 62/1988 Sb., o geologických pracích a o Českém geologickém úřadu, jehož nabytím účinnosti přešla povinnost bezúplatně odevzdat do dvou měsíců po ukončení, popřípadě schválení geologických prací jejich výsledky ve stanoveném rozsahu a úpravě k trvalému uchování z organizace provádějící geologické práce na zadavatele geologických prací. Těmi mohly být v zájmovém území v mnoha případech fyzické či právnické osoby bez zkušeností s odevzdáváním výsledků geologických prací, takže i navzdory zákonné povinnosti zprávu o výsledcích geologických prací neodevzdaly.

Ložiska vyhrazených a nevyhrazených nerostů

Česká geologická služba konstatuje, že se v zájmovém území reprezentovaném 3D modelem nenacházejí žádná oznamovaná důlní díla, chráněná území pro zvláštní zásahy do zemské kůry, schválené prognózní zdroje vyhrazených nerostů, těžené dobývací prostory ani poddolovaná území (podrobněji **kap. 4.2.2**).

2.2 Tvorba 3D modelu

Technicky je model složen z většího množství ploch, které reprezentují dva typy geologických objektů – litostratigrafické hranice a plochy předpokládaných tektonických poruch. Jednotlivé plochy tvořící výsledný 3D strukturně geologický model jsou tzv. „mesh“, tvořený velkým množstvím vertexů, hran a malých dílčích sousedících ploch (v tomto případě vždy trojúhelníkových), které utvářejí danou plochu v geologickém modelu.

Každý „mesh“ s sebou nese minimálně atributy litologie („Horizon“) a název („Name“). Modelované plochy byly vytvářeny, pokud možno s plynulým průběhem. Kromě povrchu a vnitřku modelu byly vždy konstruovány vertikální hranice a horizontální báze modelu. Topologické chyby v modelech dosahují měřítek desetin až jednotek metrů (zejména nepřesnosti na hranicích sousedících ploch). Tyto chyby nejsou v měřítku modelů vizuálně patrné a jsou přítomny proto, že využitý modelovací software neobsahuje účinné nástroje na jejich odstranění.

2.2.1 Vstupní data a jejich příprava

Reinterpretace archivních dat

Před zahájením reinterpretace archivních geologických dat bylo nejdříve nutné vytvořit zjednodušenou legendu geologických poměrů po vzájemných diskusích odborníků na kvartérní geologii, křídovou sedimentologii a stratigrafii paleozoika širšího regionu. Litostratigrafické jednotky byly navrženy již v počáteční fázi řešení úkolu na základě znalostí regionální geologie, petrografických a stratigrafických argumentů.

Vznikla tak tabulka všech předpokládaných geologických jednotek v širším zájmovém území, zjištěných zejména z inženýrskogeologických map v měřítku 1 : 5 000. Každá geologická jednotka měla přidělen svůj unikátní kód (**tab. 3**). Podle vytvořeného kódovníku pak byla provedena reinterpretace všech vybraných 554 objektů – viz **obr. 4 a příloha 1–3**.

Reinterpretované GDO se zapisovaly do zdrojové tabulky pro interpolaci 3D modelu, která čítá téměř 2 600 řádků. Zaznamenávány byly všechny podstatné informace o zastiženém geologickém prostředí, jako jsou mocnost vrstev, hloubka odběru a typ vzorku (zemina/voda), index kvality hornin

(RQD), úklon vrstev v jádře, tektonické poruchy a naražená/ustálená hladina podzemní vody či zvětrání břidlic jakožto dominantního typu hornin, ve kterých má ražba tunelů převážně probíhat.

Tab. 3 Kódové označení všech předpokládaných geologických jednotek, včetně strukturních a hydrogeologických prvků.

Pořadí	Kód jednotky	Název geologické jednotky
1	XX	Neinterpretovatelný interval vrtu (příliš staré nebo příliš pochybné údaje...)
2	Qa	kvartér – antropogenní
3	Qs	kvartér – svahové deformace (výsledek řícení, sesouvání, ploužení)
4	Qfh	kvartér – fluviální holocenní sedimenty
5	Qe	kvartér – eolické sedimenty
6	Qt	kvartér – terasy – pleistocenní fluviální štěrky a písky
7	Qd	kvartér – deluvia
8	Qn	kvartér – nerozlišený přírodní
10	Kb	Křída – bělohorské souvrství – spongilitické vápnitójílovité prachovce (opuky)
11	Kk	Křída – korycanské vrstvy – křemenné pískovce zčásti glaukonitické
12	Kp	Křída – perucké vrstvy – jílovité prachovce místy s organikou
13	Kpk	Křída – perucko-korycanské souvrství nerozlišené – pískovce, prachovce
14	Ov	Ordovik – vinické souvrství – černé jílovité břidlice
15	OltJ	Ordovik – letenské souvrství – černé jílovité břidlice
16	OltW	Ordovik – letenské souvrství – střídání drob a písčitých břidlic
17	Olt	Ordovik – letenské souvrství – nerozlišené
18	Oln	Ordovik – libeňské souvrství – černé jílovité břidlice
19	OlnR	Ordovik – libeňské souvrství – řevnické křemence
20	Od	Ordovik – dobrotivské souvrství – černé jílovité břidlice
21	OdS	Ordovik – dobrotivské souvrství – skalecké křemence
22	Os	Ordovik – šárecké souvrství – černé jílovité břidlice
23	Ot	Ordovik – vulkanická facie – vulkanity a vulkanoklastika – diabasy
24	Obn	Ordovik – černé břidlice nerozlišené
25	Pkz	Proterozoikum – kralupsko-zbraslavská skupina – droby, prachovce a břidlice
26	tekt_jista	Tektonika – zlom (jíl, mylonit, brekcie aj.) - jasné tektonické porušení
27	tekt_nejista	Tektonika – indikace zlomu, kataklastické ostrohranné úlomky
28	tekt_hydroterm	Tektonika – žilná vyplň (křemen, karbonát apod.)
29	UH	Ustálená hladina podzemní vody
30	NH	Naražená hladina podzemní vody
31	Wc	Horizont rozložené až silně zvětralé břidlice
32	Wb	Horizont slabě zvětralé až navětralé břidlice
33	Wa	Horizont zdravé břidlice

PROJEKTOVÝ ÚSTAV DOPRAVNÍCH A INŽENÝRSKÝCH STAVEB PRAHA 2, ŠKOLSKÁ 88, STŘ. MĚZ. GEOL. PRŮZKUMU			
Číslo 3-0156-8200-8	Adresa Dejvice-Nám.řítnové revoluce	Scénář V 3	Prázdná 498
Popis Jančaříková	Podnik PÚEIS	Rok 1967	Mapa P 7-0/50
Souřadnice y = 744.377 m	x = 1041.216 m	z = 217,21 m	
Qa	50	tmavě hnědá hlína se šterky křemene a úlomky cihel-navážka	
	300	světle hnědá, jemně písčité sprašová hlína s vápnitými žilkami, tuhá až pevná	
	480	ditto s úlomky opuky o ϕ 1 - 3 cm	
Qe	540	světle hnědá odvápněná sprašová hlína, pevná až tuhá	
	580	žlutohnědá narezavělá jemně písčité, slabě jílovitá hlína, pevná až tuhá	
Qd	620	šedo hnědá písčité hlína s hojnými šterky křemene a buližníku o ϕ 5-7 cm	
	680	světle hnědý, ulehlý šterkopísek o ϕ valounů 2-5-9, 60 % šterku, hrubě zrnitý písek	
	790	světle hnědý, silně ulehly šterkopísek s 4 valounů 2-5-8-12, 60 % šterků, křemen, křemenec, buližník	
	850	světle hnědý, silně ulehly šterkopísek o ϕ val. 2-4-7-11 cm, 60 % šterků, středně zrnitý písek	
	1000	šterkopísek - velké množství šterků- převážně křemenec, s výplní hrubě zrnitého písku	
	1200	hnědé ulehle šterkopísky o ϕ valounů 2-4-8-10, 70 % šterků, hrubozrný písek	
	1260	poloha světle hnědých křemencových a buližníkových kamenů přes celý vrt	
	1300	světle hnědý, silně ulehly šterkopísek s ϕ val. 2-4-6-8 cm, 60 % šterků, hrubozrný písek	
	1470	hnědé, ulehle šterkopísky s ϕ val. 2-5-9-17 cm hrubozrný písek, 70 % šterků	
	1600	světle hnědé silně ulehle šterkopísky o ϕ valounů 2-6-8-10 cm, 60 % šterků, hrubozrný písek	
	1750	hnědé, ulehle šterkopísky o ϕ valounů 2-5-10 cm, 70 % šterků, hrubý písek	
	1860	světle hnědé, silně ulehle šterkopísky o ϕ val. 2-4-7-10 cm, 70 % šterků, hrubý písek	
Qt	1900	tmavě hnědé, silně ulehle šterkopísky o ϕ val. 2-6-8 cm, 50 % šterků, hrubý písek	
Od	1930	šedočerná, jemně slídnatá hlinitostřípkovitá až úlomkovitě zvětřalá břidlice	
	1960	šedočerná, jemně slídnatá, úlomk. zvětř. břidlice	
	2060	šedočerná, jemně slídnatá, úlomk. zvětř. břidlice s většinou pevnými úlomky	

Obr. 4 Příklad reinterpretace dokumentačního bodu č. 388 (dle interního kódování v rámci zakázky – tab. 3).

Při vytváření jednotného geologického schématu (legendy) se postupně ukázalo, že nikoliv všechny navrhované jednotky bude možné jednoznačně rozlišit v celé modelované oblasti, zejména kvůli nedostatku, resp. nevyhovující kvalitě archivních dat. Týká se to především tmavých břidlic ordovického stáří. Facie tmavých či černých břidlic si je totiž litologicky podobná napříč celými souvrstvími středního a svrchního ordoviku pražské pánve. Pokud tyto břidlice neobsahují fosilie umožňující jejich stratigrafické zařazení, lze jejich litostratigrafickou příslušnost často jen odhadovat z geologického kontextu. V některých případech však ani ten neumožňuje spolehlivé určení příslušného souvrství.

Z tohoto důvodu nejsou všechny plánované jednotky použity v konečném 3D geologickém modelu. Celkově se model skládá z 13 litostratigrafických jednotek (**příloha 7**). Oproti výše uvedenému kódovníku (**tab. 3**) a níže uvedené legendě (**tab. 4**) byly sloučeny kvartérní jednotky, neboť i přes jejich dostatečné pokrytí vrtnými daty není ve všech částech modelu možné tyto nepravidelně vyvinuté pokryvné sedimenty věrohodně modelovat. Dále z obdobných důvodů model neobsahuje vymezení eluvia, resp. zvětralých zón. Podrobněji o zónách zvětrání viz **kap. 3.2.3**).

Tab. 4 Standardní geologické schéma (legenda) použitá při tvorbě 3D modelu.

Zkr.	Horizont	Barva	Zkr.	Horizont	Barva
Qa	Antropogenní uložení		Kp	Jílovce peruckých vrstev	
Qs	Svahové deformace		Ov	Jílovce vinického souvrství	
Qfh	Holocenní sedimenty		OltJ	Jílovce letenského souvrství	
Qe	Eolické sedimenty		OltW	Písčité břidlice letenského souvrství	
Qt	Terasové sedimenty		Olt	Břidlice letenského souvrství nerozl.	
Qd	Deluviální sedimenty		Oln	Břidlice libeňského souvrství	
Qn	Přírodní nerozlišený		OlnR	Křemence libeňského souvrství	
Wc,b,a	Horizonty zvětrání břidlic		Od	Břidlice dobrotivského souvrství	
Kb	Opuky bělohorského souvrství		OdS	Křemence dobrotivského souvrství	
Kk	Pískovce korycanských vrstev		Os	Jílovce šáreckého souvrství	

Sjednocená digitální geologická mapa povrchu oblasti 3D modelu

Sjednocená zjednodušená účelová digitální geologická mapa pro modelovanou oblast byla vytvořena na základě archivních map, reinterpretovaných vrtných dat a terénních dat v software ArcMap. Geologické hranice byly určeny kvalifikovaným odhadem a současně byl definován litologický typ, který tvoří základ pro definici litostratigrafických jednotek modelu – „Horizon“ v modelovacím programu MOVE™. Takto kompilovaná digitální geologická mapa byla použita pro konstrukci geologického 3D modelu. Kromě zakryté geologické mapy byly sestaveny též mapy odkryté pro bázi kvartéru a pro bázi křídy.

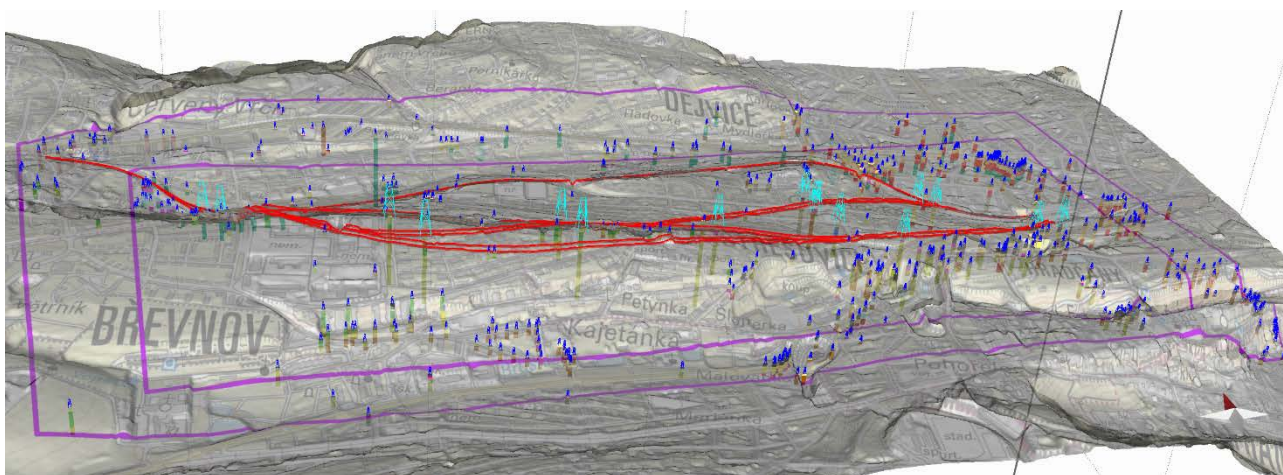
Strukturní data

Strukturní data využitá pro tvorbu geologického modelu zahrnují výhradně orientace vrstevnatosti paleozoických sedimentů. Tyto údaje byly získány digitalizací ze tří zdrojů – základní geologické mapy 1 : 25 000, inženýrskogeologické mapy 1 : 5 000 a archivní dokumentace kopaných sond. Celkem se ze širšího okolí studovaného území podařilo shromáždit 241 měření orientace vrstevnatosti, která jsou vynesena na spodní polokouli ve Schmidově projekci (**obr. 12 – kap. 3.2.2**).

Tato data ukazují relativně malý rozptyl s výrazným maximem. Výsledky byly využity při modelování masivu paleozoických hornin.

Vrtná data

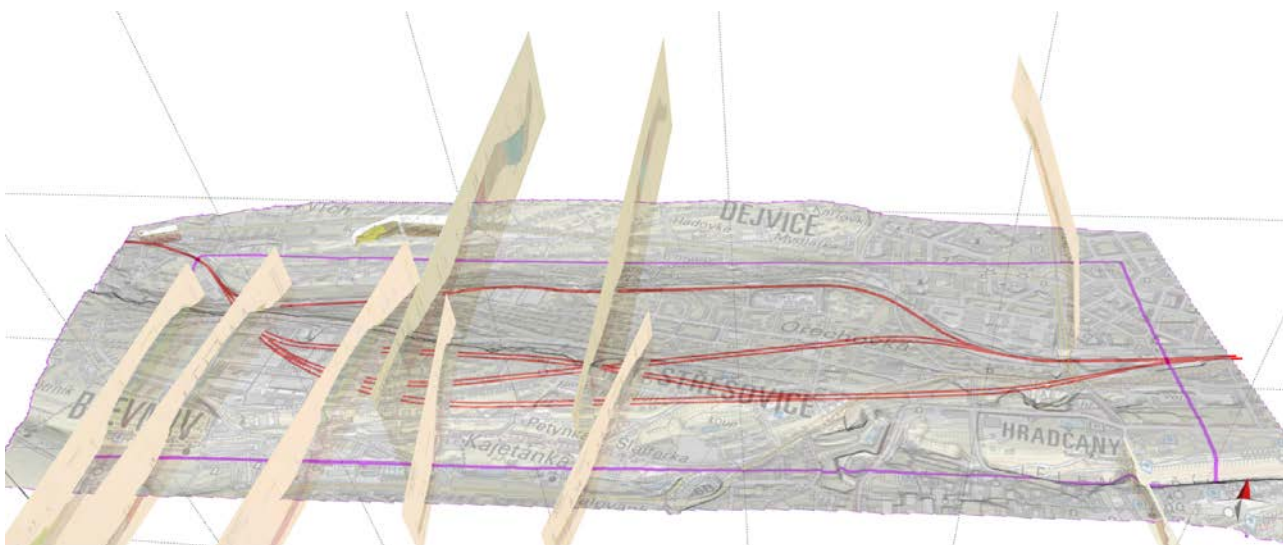
Geologické popisy všech 554 vybraných archivních vrtů a kopaných sond (**obr. 5**) byly překlasifikovány podle modelových litostratigrafických jednotek. Vzhledem k problematické kvalitě některých originálních popisů vrtných jader bylo nutno některé vrty v průběhu tvorby modelu opakovaně reinterpretovat v kontextu vrtů okolních.



Obr. 5 Pozice všech 554 vybraných archivních vrtů a kopaných sond v zájmovém území. Pohled směrem k severu

Geologické řezy

Dostupné archivní vertikální geologické řezy ze zájmového území (**obr. 6**), získané z inženýrskogeologických map 1 : 5 000 a geologické dokumentace stanic metra Bořislavka a Nádraží Veleslavín byly importovány do MOVE™ ve formě rastrových obrázků a georeferencovány (podle dostupných mapových dat).



Obr. 6 Dostupné archivní vertikální geologické řezy v zájmovém území.

Zlomová síť

Zlomová síť v zájmové oblasti vykazuje složitou geometrii a vícefázový vývoj v průběhu paleozoika. Tento vývoj vedl k vytvoření sítě zlomů, jejichž přesnou lokalizaci je často obtížné určit kvůli kvartérnímu pokryvu a obecně velmi malému počtu horninových výchozů. Všechny zlomy jsou tudíž interpretované výhradně dle archivních materiálů. Všechny tyto zlomy jsou obsaženy ve 3D geologickém modelu, neboť pozice a charakter jednotlivých zlomů představují významné aspekty z hlediska stability horninového prostředí a v některých případech také transmise podzemní vody. Ve 3D modelu bylo modelováno celkem 5 zlomů. Sklony zlomů byly odhadnuty na základě dostupných archivních dat.

Varianty průběhu železničních tunelů

Negeologickou, avšak z hlediska zadavatele důležitou součástí výsledného 3D modelu je geometricky přesná reprezentace jednotlivých variant plánovaného železničního tunelu. Jejich prostorové umístění bylo získáno ve formátu *.dwg od objednatele.

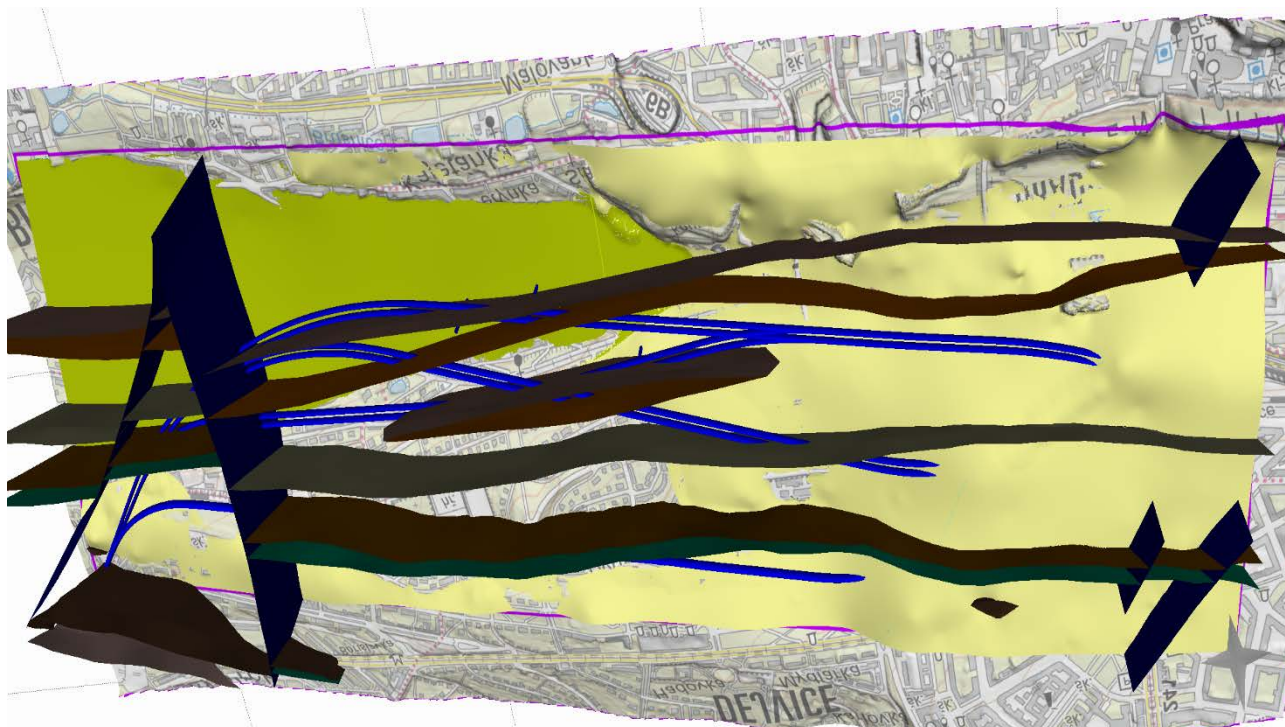
2.2.2 Pravidla modelování

V průběhu celého modelovacího procesu bylo při tvorbě litologických hranic aplikováno obecné geologické pravidlo: mladší litostratigrafické jednotky přetínají (porušují) starší jednotky. Pokud jde o zlomy, nelze použít tyto vztahy z důvodu opakované reaktivace jednotlivých zlomových populací během dlouhé historie křehké tektoniky zájmové oblasti. Zlomová síť byla modelována kvalifikovanou extrapolací a následnou extruzí povrchového průběhu zlomů podle sklonu odhadnutého pro každý zlom zvlášť. Modelovaná zlomová síť byla poté použita jako jedno z omezení při modelování sousedících horninových těles. Modelování geologických těles bylo prováděno třemi zásadně odlišnými přístupy:

- Kvarterní a křídové sedimenty byly modelovány jako subhorizontální až mírně ukloněné povrchy v MOVE™ a také v ArcMap GIS pomocí hloubkových dat z reinterpretovaných vrtů a z povrchové hranice výskytu odpovídajících jednotek s využitím interpolačních algoritmů.
- Paleozoická souvrství představují litologicky variabilní prostředí duktilně deformované v průběhu variské orogeneze. Hranice těchto geologických těles byly modelovány ručně a individuálně na základě odborného posouzení geologické pozice a strukturních údajů z okolí každého tělesa a na základě konzultací s geology specializujícími se na problematiku paleozoika pražské pánve.

2.2.3 Konstrukce 3D strukturně-geologického modelu

Konstrukce 3D modelu byla založena na digitálním zpracování a interpretaci dostupných geologických dat popsaných výše. Pro konstrukci 3D modelu bylo ČGS využito softwaru MOVE™ (**obr. 7**). V software MOVE™ byla využívána hlavně geostatistická metoda lineární interpolace, některé složitější interpolace a operace s gridy byly prováděny v software ArcMap.



Obr. 7 Částečně odkrytý 3D strukturně-geologický model horninového prostředí zájmového území. Modré linie představují průběh jednotlivých variant tunelu, hnědé, zelené, šedé a tmavě modré plochy zobrazují předpokládané zlomy a rozhraní jednotlivých souvrství. Pohled směrem ze spodu 3D modelu, jím orientován nahore.

Import sjednocené geologické mapy včetně zlomové sítě

Zakrytá geologická mapa byla do modelu importována jako polygonová vrstva ve formátu *.shp. Každý polygon měl již v atributové tabulce uvedeno své litologické zařazení dle předem vytvořené legendy (předdefinované v položce „Horizon“). V nastavení importu GIS vektorových dat v rámci programu MOVE™ pak byl pouze přiřazen tento atribut položce „Horizon“. Import zlomové sítě (liniový shapefile) proběhl podobným způsobem. Po importu se linie zařadily do manuálně vytvořené vrstvy pro zlomy.

Import rastrových podkladů a jejich rektifikace

Import geologických řezů ve formě rastrových obrázků lze provádět v širokém rozsahu formátů, čistých rastrů i rastrů s uloženými metadaty (např. polohopis, výškopis aj.). V případě vertikálních geologických řezů byly nejprve importovány jejich průběhy a odpovídající metráže jako 1 liniový a 1 bodový shapefile. Z linií řezů byly následně v MOVE™ vytvořeny tzv. sekce. Do každé sekce pak byl importován rastrový obrázek odpovídajícího řezu, přičemž ořez i georeferencování ve 3D byly provedeny během importu a následně transformací snímku v rámci sekce.

Import vrtných dat

Vrtná data jsou důležitou součástí při konstrukci modelu a program MOVE™ jejich důležitost reflektuje propracovaným rozhraním importu průběhu vrtu a mnoha doplňkových informací. Vrtná

data byla importována z textového formátu ASCII (*.csv nebo *.txt), přičemž všechny použité vrty byly aproximovány jako vertikální pro naprostý nedostatek inklinometrických dat. Textové soubory obsahovaly název vrtu, zaměření vrtu v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv, údaj o hloubce vrtu v metrech, údaje o litostratigrafických horizontech dle legendy definované v položce „Horizon“ a jejich hloubkovém rozsahu.

Import strukturních dat

V programu MOVE™ je možné vkládat a vizualizovat strukturní data různého charakteru – záleží na uživateli, jaké kategorie si zvolí a jaké strukturní prvky bude do programu vkládat. Ve 2D režimu se tektonická znaménka zobrazují v klasické podobě, ve 3D pak jako kruh (čtverec, trojúhelník, kužel) orientovaný ve směru sklonu a sklonu daného měření.

Import dat proběhl z tabulky v textovém formátu (obdobně jako u vrtů) za využití souřadnic místa měření (X, Y) a samotných naměřených údajů. Jak již bylo zmíněno, využita byla strukturní data ze základních geologických map 1 : 25 000, inženýrskogeologických map 1 : 5 000 a dále strukturní data z dokumentace výstavby trasy A pražského metra. Strukturní data sloužila jako jeden z podkladů při konstrukci těles paleozoických hornin.

Při zpracování modelu byl brán v potaz odklon severu od poloosy +Y v souřadnicovém systému S-JTSK o 7° ve směru hodinových ručiček.

Import DMR5G, projekce dat na DMR5G

Pro horní hranici modelu byl využit DMR5G s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu, který byl do modelu importován jako resamplovaný grid, na který byla dále vyprojektována geologická mapa, zlomové linie a další povrchová data. Zemský povrch bylo nutno resamplovat na velikost základní buňky 5 m z důvodu hardwarového omezení, neboť v současnosti ani vyšší třída počítačů neumožňuje efektivně zpracovávat takto relativně rozsáhlé 3D geologické modely v hustotě „mesh“ odpovídající podrobnosti DMR5G.

Tvorba geologických těles

Samotná tvorba geologických hranic těles do hloubky byla provedena s pomocí manuální tvorby „mesh“ s využitím konstrukčních linií. Tyto konstrukční linie byly částečně vytvářeny ve 2D horizontálních řezech, kde je snazší udržovat korektní topologii editovaných objektů, částečně editací přímo ve 3D prostoru.

Tvorba zlomů

Linie zlomů byly vyprojektované na grid vzniklý sloučením DMR5G, báze křídý a kvartéru. Následně byly použity pro tvorbu „mesh“ zlomů, kdy byly jednotlivými liniemi proloženy plochy s definovaným sklonem a orientací do hloubky odpovídající zhruba polovině délky zlomu. Následně byly intersekční linie zlomů a báze modelu manuálně upraveny tak, aby odpovídaly smyslu pohybu na zlomech vyobrazeném na zakryté geologické mapě.

2.2.4 Nejistoty modelu

Trojrozměrné geologické modely jsou často vytvářeny na základě nejednoznačných a nepřesných dat, která jsou při sběru a interpretaci předmětem šíření chyb. Dále jsou data často heterogenní a nedostatečně pokrývají zájmové území, takže autor modelu závisí na interpretaci založené na generalizovaném modelu, např. předpokladu konkrétního tektonického režimu nebo stylu deformace. Kromě malých modelů ložisek nerostných surovin nejsou tyto nejistoty často vyhodnocovány ani prezentovány uživatelům a zúčastněným stranám, protože v současné době neexistuje žádný standardizovaný ani publikovaný přístup k vyčíslení nejistot pro podobně složitě a plošně rozsáhlé modely s obdobně variabilními zdrojovými geovědními daty.

V případě této zakázky jsou nejistoty modelu způsobeny chybami v datech, nedostatkem údajů a metodikou modelování. Tyto chyby dat se vztahují k různým měřítkům zpracování, chybám projekce a digitalizačním chybám geologických map. Kromě toho byly zdrojové mapy a řezy vytvořeny různými geology, kteří měli různé odborné názory na geologickou genezi daného území. Nepřesnosti hranic modelových jednotek se také vztahují k nepřesnosti zlomové sítě. Použitá zlomová síť byla vytvořena jako kompilace všech dostupných tektonických interpretací a map různých měřítek. Každý jejich autor měl však opět odlišný názor na celkový vývoj křehké tektoniky dané lokality, a proto se archivní mapy zlomové sítě neshodují s výslednou mapou využitou pro tvorbu 3D modelů. Sklon zlomu, smysl a magnituda pohybu mohly být pro většinu zlomů určeny pouze expertním odhadem.

Ani současné poměrně podrobné pokrytí zájmové oblasti vrtnými a povrchovými daty neumožňuje vytvoření přesného geologického modelu pro toto území. To je dáno hlavně zdejší geologickou stavbou v kombinaci s nedostatečnou výchozovou situací v této hustě zastavěné oblasti a značně variabilní kvalitou geologických popisů vrtných jader. Nelze např. vyloučit, že hranice paleozoických hornin skrytých pod křídovými sedimenty mají průběh částečně odlišný od prezentovaného modelu nebo že tyto horniny vykazují vyšší litologickou variabilitu, než je v této zprávě popsáno. Rovněž nelze vyloučit, že se v blízkém okolí nenacházejí další menší čočkovitá synsedimentární tělesa, která mohla při svých malých rozměrech zcela uniknout geologickému mapování i vrtnému průzkumu.

Pro účel této zakázky lze nicméně vytvořený 3D model považovat za dostatečně přesný. Pro další fáze návrhu a upřesnění modelu lze doporučit realizaci podrobných průzkumů splňující kritéria uvedená v **kap. 5.3.1**.

3 Přírodní poměry zájmového území

3.1 Geomorfologické a klimatické poměry

Z hlediska geomorfologického členění zájmové oblasti podle Demka et al. (2006) náleží zájmové území a jeho širší okolí do provincie I Česká vysočina, IV Poberounská soustava, IVA Brdská podsoustava, IVA-2 Pražská plošina, IVA-2B Kladenská tabule, IVA-2B-1 Hostivické tabule a IVA-2B-1-1 Bělohorská pahorkatina.

Původní pokřídový střešočeský peneplán byl rozrušen erozí levostranných vltavských přítoků. Hlavní etapy eroze spadají do pleistocénu. Jsou závislé na postupném zahlubování vltavského údolí v Pražské kotlině. V zájmovém území byl hlavním erozivním činitelem Veleslavínský (Dejvický) potok (na severu) a Brusnice (na jihu), jejichž působením byly denudovány svrchnokřídové sedimenty a obnaženy podložní horniny ordovického stáří. Při formování svahů, odlehčených erozí, se uplatňovaly v pleistocenním klimatu sesuvné pohyby formy kerných sesuvů, kdy se rozpučené kry svrchnokřídových pískovců korycanských vrstev bořily do podložních rozvlečených jílovců peruckých vrstev a společně s nimi se gravitačně posunovaly po svahu.

V morfologii daného území se dále výrazně projevil zásah člověka. Širší zájmové území bylo v jihozápadní části předmětem těžby pískovců, resp. písků např. v lomu Františka Řečínského ležícím přibližně v místech dnešní ulice Kusá, nelze však zcela vyloučit ani tzv. selskou těžbu písku štolami. Při zástavbě svahů v území, která mnohdy probíhala naprosto živelně, byl terén upravován do teras – místy byl odtěžen, místy nasypán. Hřbetem střešovického návrší (lokality „Na bateriích“) probíhá dílčí rozvodnice, oblast na sever od ní je odvodňována Veleslavínským (Dejvickým) potokem, jižní část pak drénuje potok Brusnice. Odtokový koeficient je závislý hlavně na svažitosti terénu a míře urbanizace daného území – podrobněji viz **kap. 3.3**.

Nadmořská výška terénu kolísá v rozmezí 228 až 354 m, nejnižší je na počátku stavby v oblasti předpokládaného portálu při křižovatce ulic Milady Horákové a Svatovítská, naopak nejvyšší výšky je dosaženo v oblasti ÚVN, směrem k závěru úseku stavby pak terén klesá na kótu 300–305 m n. m.

Dle Quitta (2009) zájmová lokalita spadá do teplé klimatické oblasti. Léto je dlouhé s 40–50 letními dny, teplé s průměrnou teplotou vzduchu 15–16 °C, přiměřeně vlhké se srážkami 200–400 mm a 100–140 dny se srážkami > 1 mm za den. Přejídné období je krátké se 100–140 mrazovými dny, mírně teplým jarem s průměrnou teplotou vzduchu 7–8 °C a teplým podzimem s průměrnou teplotou vzduchu 8–9 °C. Zima je normálně dlouhá s 50–60 ledovými dny, mírně chladná s průměrnou teplotou vzduchu -2 až -3 °C, vyššími srážkami > 400 mm a spíše kratším trváním sněhové pokrývky v délce 50–60 dnů.

3.2 Geologické a strukturně-tektonické poměry

Podle aktuálního regionálně geologického členění ČR (Chlupáč – Štorch eds 1992) se zájmové území, resp. jeho širší okolí, nachází na rozhraní dvou jednotek Českého masivu. Severní část širšího okolí zájmového území náleží k jednotce Český masiv – krystalinikum a prevariské paleozoikum Barrandienu, jež je součástí střešočeské oblasti (bohemikum). Jižní část širšího okolí zájmového území patří k jednotce Český masiv – pokryvné útvary a postvariské magmatity spadající

do oblasti české křídové tabule (vltavsko-berounský vývoj), respektive jejích denudovaných zbytků v dané oblasti.

Popis geologických poměrů vychází především ze zdrojů uvedených v **kap. 2.1.1**. Pro získání ucelené představy o lokálních geologických poměrech bylo využito také informací obsažených v monografiích Záruby (1948), Píchala et al. (1979), Kovandy et al. (2001) a Chlupáče et al. (2002), s přihlédnutím k základním geologickým mapám v měřítku 1 : 25 000 (Králík et al. 1983, 1984) a novějším paleontologicko-stratigrafickým publikacím – např. Budil – Chlupáč – Hradecký (2003), Peršín – Budil (2009), Peršín et al. (2018) či Fatka – Budil (2018).

Z výše uvedených informačních zdrojů v souhrnu vyplývá, že přímé geologické podloží zájmového území, resp. jeho širšího okolí, je tvořeno lokálně silně tektonicky porušenými horninami paleozoika oblasti Barrandienu stáří nejvyššího středního až svrchního ordoviku (různé facie vulkanických hornin, šáreckého, dobrotivského, libeňského, letenského a vinického souvrství) ležících s angulární diskordancí na intenzivně tektonicky porušených a slabě regionálně metamorfovaných horninách kralupsko-zbraslavské skupiny neoproterozoického stáří (s převažujícími drobami, prachovci a podřízenými břidlicemi), které všude tvoří hluboké podloží zájmového území a nadložními již téměř nezvrásněnými horninami české křídové pánve stáří cenoman–turon (perucko-korycanské a bělohorské souvrství). Křídové horniny s výraznou angulární diskordancí nasedají na starší zvrásněné a zlomy porušené horniny barrandienského paleozoika. Nejvýše se v ideovém vrstevním sledu vyskytují kvartérní uloženiny. Zjednodušená stratigrafie hornin od nejstarších k nejmladším, tak jak byly vyčleněny v rámci vnějšího polygonu (**obr. 1**), je stručně shrnuta v následujících podkapitolách a schematicky znázorněna na **obr. 8** (pouze ordovik).

3.2.1 Předkvartérní (skalní) podklad

Ordovik – „vulkanická facie“ – vulkanity a vulkanoklastika – diabasy

Nejstarší ordovické horniny v zájmovém území jsou reprezentovány „vulkanickou facií“ *sensu* Králík et al. (1983, 1984) stáří floian až nejnižší darriwil. Tato facie se nachází mimo oblast vlastního 3D modelu, proto je popsána pouze velmi stručně.

Facií tvoří šedozelené bazaltové tufy s karbonátovým tmelem (tzv. žabáky), červenavě až fialově zvětrávající bazaltové tufy, tufity a podřízeně i prachovce s obsahem vulkanoklastického materiálu s hematitovým a limonitovým tmelem – ten byl s čočkovitými tělesy a neprůběžnými polohami oolitických železných rud těžen např. v oblasti nedalekého Červeného vrchu. Podřízeně se vyskytují i bazalty a bazaltové mandlovce. Tato „vulkanická facie“ bývá ztotožňována s tzv. komárovským vulkanickým komplexem. Původně bylo předpokládáno (Králík et al. 1983, 1984; Waldhausrová 1986, 1987; Röhlich 1957; Havlíček in Chlupáč et al. 1998; Röhlich – Fediuk 2005 aj.), že „vulkanická facie“ reprezentuje v zájmové oblasti spodní část šáreckého souvrství (střední ordovik, darriwil).

Vzácné nálezy ramenonožců v prachovcových vložkách „vulkanické facie“ v Troji a na Červeném vrchu (Peršín et al. 2018) ovšem umožnily ztotožnit minimálně spodní část „vulkanické facie“ s tzv. olešenskými vrstvami klabavského souvrství (spodní floian, možná ještě nejvyšší tremadok). Stáří zbytku „vulkanické facie“ je tak nejisté, může pokrývat i značně široký stratigrafický interval od floianu až po darriwil (viz **obr. 8**). Mocnost „vulkanické facie“ v širším zájmovém území dosahuje ca 50 m. Západně od koupaliště Džbán může tato facie zastupovat snad i téměř celou mocnost šáreckého souvrství (Havlíček in Králík et al. 1983, 1984), na některých místech ale zřejmě naopak zcela chybí

(Šárecké údolí severovýchodně od Jenerálky). V Horní Liboci bylo dokumentováno vzájemné prstovité zastupování „vulkanické facie“ a šáreckého souvrství (Havlíček in Králík et al. 1983, 1984).

Ordovik – šárecké souvrství – černé jílovité břidlice

Černé až černošedé jílovité břidlice šáreckého souvrství stáří spodního až (?) středního darriwilu (regionální stupeň oretan, dříve llanvirn) jsou charakteristické svojí rekrystalizovanou a často paralelně usměrněnou základní hmotou. Tyto břidlice mají v předmětné oblasti poměrně vysoký obsah organického uhlíku (0,32–1,53 %) a vtroušeného pyritu.

Obsah klastické slídy kolísá – většinou je jemná, vtroušená, lokálně však velikost klastů stoupá a ty pak mohou pokrývat i celé vrstevní plochy. Směrem k východu stoupá obsah siltových vložek, vzácně tak mohou být přítomny až jemnozrné droby. Siltové vložky však lokálně mohou být přítomny i v západní části zájmového území.

Břidlice šáreckého souvrství obsahují množství nodulí – tzv. šáreckých či rokycanských kuliček obsahujících velmi bohatou faunu fosilií – přes 200 druhů, náležících tzv. euorthisina-placopariovému společenstvu s význačnými rody ramenonožců *Euorthisina* a *Eodalmanella*, s hojnými trilobity rodů *Placoparia*, *Ormathops*, *Pricyclopyge*, *Ectillaenus*, *Asaphellus* aj., hojnými ostnokožci rodů *Mitrocystites*, *Lagynocystites* aj., doprovázenými graptolity (*Corymbograptus*, *Didymograptus* aj.), phyllocaridními korýši (*Caryocaris*), ostrakody (např. *Conchoprimitia*), měkkýši (např. gastropodi rodů *Tropidodiscus*, *Sinuities*, mlži rodů *Redonia*, *Praenucula* či hlavonožci rodu *Bathmoceras*) atd. Fauna se samozřejmě vyskytuje i v břidlicích, kde ovšem bývá silně deformovaná. Mocnost šáreckého souvrství v oblasti severně od pražského zlomu (kam náleží i předmětné území) dosahuje ca 250–270 m, je však silně ovlivněno předordovickým reliéfem a místy tak může klesat i pod 40 m (Havlíček in Králík et al. 1984).

Ordovik – dobrotivské souvrství – skalecké křemence

Tzv. skalecké křemence jsou ve skutečnosti křemennými pískovci s jen částečně rozpuštěnou základní hmotou, původní zrna jsou stále patrná. Tato facie je všude v předmětném území charakteristická pro nižší polohy dobrotivského souvrství. Ve spodní části skaleckých křemenců převládají světlé křemenné pískovce uložené v lavicích ca 10–50 cm mocných (ojediněle i několikametrových), oddělené vložkami prachovitých a písčitých břidlic; ve vyšších polohách jsou břidličné polohy hojnější až postupně zcela převládají.

Ze skaleckých křemenců jsou známy jen sporadické nálezy fauny (například graptolitů z břidličných vložek v Šárce, viz Röhlich 1960), hojný je však výskyt ichnofosilií (dominuje ichnorod *Skolithos*, vzácnější je ichnorod *Pragichnus* a další taxony). Mocnost skaleckých křemenců je silně proměnlivá – kolísá mezi 80–100 m východně od předmětného území (Žižkov) až po 40 m (Horní Liboc), časté je i laterální zastupování vyšších poloh křemenných pískovců břidlicemi dobrotivského souvrství, dokumentované např. v Dejvicích východně od Červeného vrchu (Havlíček in Králík et al. 1984). Uvnitř spodní či střední části facie břidlic dobrotivského souvrství se však mohou vyskytovat také pískovcové lavice či čočkovitá tělesa křemenných pískovců, což je mimo jiné i případ zájmového území.

Ordovik – dobrotivské souvrství – černé jílovité břidlice

Facie černých jílovitých břidlic reprezentuje zhruba svrchní dvě třetiny dobrotivského souvrství. Litologicky jde o temně šedé až černé jílovité, často výrazně slídnaté jílovce až jílovité břidlice s hojnou prachovitou příměsí, střípkovitě se rozpadající při navětrání. Obsah organického uhlíku v nich často stoupá nad 1 %; ve výchozu u bývalého železničního nádraží v Bubenči byl obsah C_{org} natolik zvýšený, že byl tento výskyt v časopise Živa v roce 1903 popsán jako sloj tuhy (Havlíček in Králík et al. 1984; anonym „Č.“ 1903).

U bývalého bubenečského nádraží i na některých dalších místech v nejbližším okolí zájmového území byly v dobrotivském souvrství zjištěny i droby, často vystupující v polohách mezi skaleckými křemenci a břidlicemi. Tyto droby nápadně upomínají na horniny letenského souvrství, nebyla v nich však zjištěna fauna (Havlíček in Králík et al. 1984). Celková mocnost dobrotivského souvrství může dosahovat až 400 m. Břidlice dobrotivského souvrství obsahují hojné nodule s pevným karbonátovým tmelem, ty však často zvětrávají do písčitojílovitého rezidua. Ve zvětralém stavu jsou tak většinou měkčí než obdobně vypadající nodule ze šáreckého souvrství (Klouček 1916).

Také břidlice dobrotivského souvrství obsahují hojné zbytky fosilií, především trilobity (*Placoparia*, *Ormathops*, *Zeliszella*, *Mytocephala*, *Pricyclopyge* aj.), phyllocaridní korýše (*Caryocaris*), měkkýše (*Tropidodiscus*, *Sinuites*), ramenonožce (*Benignites*) a další faunu, její diverzita je však již o něco nižší než u souvrství šáreckého.

Ordovik – libeňské souvrství – řevnické křemence

Řevnické křemence (stáří spodní sandbian až katian – regionální stupeň beroun) tvoří relativně málo mocnou, ale v předmětném území vždy přítomnou polohu na bázi libeňského souvrství.

Litologicky jsou reprezentovány polohami křemenných pískovců o mocnosti ca 10–50 cm (ojediněle jsou přítomny i lavice mocné přes 200 cm) s podřízenými vložkami písčitych, často však i jílovitých břidlic a jílovců. Litologicky jsou velmi podobné starší facii skaleckých křemenců (dobrotivské souvrství) a jsou tak rozlišitelné vždy jen ve vztahu k okolním horninám.

Spodní i svrchní hranice řevnických křemenců je vždy ostrá. Jejich mocnost v oblasti kolísá mezi ca 15–40 m (lokálně může klesnout i pod 15 m), tvoří tak méně než $\frac{1}{4}$ mocnosti libeňského souvrství jako celku. Podle starších podkladových vrtných a výkopových dat zhodnocených při zpracování 3D modelu je pravděpodobné, že podobně jako u podložních skaleckých křemenců se mohou ojediněle vyskytovat čočkovité polohy křemenných pískovců i uvnitř facie břidlic libeňského souvrství, zde by se však již jednalo o vyznívající facii řevnických křemenců.

Řevnické křemence v předmětném území prakticky neobsahují faunu, lokálně jsou však přítomné v hojné míře ichnofosilie (především ichnorod *Skolithos*).

Ordovik – libeňské souvrství – černé jílovité břidlice

Facie černých jílovitých břidlic (stáří sandbian) je vázána na střední a svrchní polohy libeňského souvrství. Litologicky jsou podle Havlíčka in Králík et al. (1984) břidlice libeňského souvrství velmi podobné až nerozlišitelné od podložních břidlic souvrství dobrotivského – jde o černé jílovce až jílovité břidlice, hojně slídnaté, za čerstvého stavu nedokonale odlučné, při zvětrávání se rozpadající na drobné střípky.

Dle názoru ČGS jsou břidlice libeňského souvrství většinou o něco jemnozrnější než břidlice souvrství dobrotivského, přičemž klasty slídy bývají jemnější a prachovitá příměs v břidlicích není tak výrazná. V každém případě jemnozrné droby ve vrstevním sledu zcela chybí. Obsah organického uhlíku je v břidlicích libeňského souvrství pod 1 %. Na bázi může být lokálně přítomna nevýrazná poloha s jílovitými a myelinovými ooidy.

Fauna je v břidlicích libeňského souvrství velmi vzácná – lokálně hojnější jsou v předmětném území pouze drobní brachiopodi rodu *Paterula*. Mocnost břidlic libeňského souvrství je v zájmovém území kolem 100–120 m, směrem k západu klesá až na 80 m.

Ordovik – letenské souvrství – střídání drob, písčitých prachovců a pískovců s vložkami jílovců

Horniny letenského souvrství (stáří sandbian) jsou litologicky velmi pestré, vertikálně i laterálně značně proměnlivé. Většinu mocnosti souvrství v dané oblasti reprezentují droby (často tak chudé jílem, že připomínají protokvarcity). Rytmičky se droby střídají s pískovci s jílovitým tmelem, písčitými prachovci, prachovci a s podřízenými polohami jílovců.

Mocnost jednotlivých lavic drob a pískovců je ca 5–15 cm, břidličné vložky mají většinou mocnost do několika centimetrů. Proměnlivá je zrnitost hornin i jejich chemické složení – charakteristický je vysoký obsah draselných živců (max. až 22 %, většinou mezi 3–5 %; Havlíček in Králík et al. 1984). Litologická charakteristika letenského souvrství silně připomíná flyšoidní sekvence, chybí však významnější role turbiditních proudů, protože sedimentace probíhala ve výrazně mělkovodních podmínkách (hloubky jednotky až desítky metrů).

Celé letenské souvrství je velmi intenzivně bioturbované. Fauna s dominantními trilobity a ramenonožci se vyskytuje jen v některých polohách, většinou však bývá velmi hojná, i když se znatelně nižší diverzitou. Dominují trilobiti *Deanaspis goldfussi* a *Dalmanitina socialis*, doprovázené dalšími, mnohem vzácněji se vyskytujícími druhy, lokálně jsou hojní ramenonožci rodů *Drabovia*, *Drabovinella* a *Drabodiscina*, místy jsou hojnější konulárie, ostnokožci a další fauna.

Lokálně se v letenském souvrství vyskytují i velké pelokarbonátové konkrce čočkovitého tvaru o délce až několika metrů a mocnosti často přes jeden metr (viz např. Čech 1972). Tyto konkrce jsou velmi tvrdé a houževnaté a mohou tvořit nečekanou nehomogenitu v horninovém masivu. Mocnost letenského souvrství jako celku dosahuje 500–600 m.

Ve spodních a zejména středních polohách souvrství jsou hojnější jílovité a prachovité vložky mocné přes 50 m, zatímco ve svrchních partiích souvrství dominují droby a pískovce. Část vrstevního sledu, kde tyto jemnozrné sedimentární horniny výrazně převažují, byla zastížena vrty a výkopy ve středních partiích letenského souvrství – jde zřejmě o pokračování mocných poloh jílovců a prachovců o mocnosti ca 100 m dokumentovaných Röhlichem (1960) na Bílé skále na Bulovce a Mikulášem (1994) v Rudolfově štole pod Letnou. Nově zjištěná data z vrtů provedených východně od ÚVN naznačují pokračování této polohy v předmětném území i západním směrem. Další vrty a výkopy indikují přítomnost jiné, zřejmě méně mocné polohy v nižší části souvrství v oblasti severně od Střešovic. Mocnost těchto poloh s vyšším zastoupením jílovitých prachovců je na předmětném území minimálně 50, možná až 100 m, a jejich přesnější rozsah by měl být ověřen dalším geologickým průzkumem. Tyto partie jsou v modelu znázorněny samostatnou položkou Ltn – podgeotyp LtnJ (podrobněji **kap. 4.1.9**).

Ordovik – vinické souvrství – černé jílovité břidlice

Jílovce či jílovité břidlice vinického souvrství (stáří spodní katian) vystupují pouze v jižní části řešeného území a do vlastního 3D modelu nezasahují.

Jsou vyvinuty jako černé jílovité břidlice s podílem (10–20 %) křemenného prachu, lokálně i s příměsí hrubšího detritu. Břidlice obsahují rozptýlená jemná zrnka klastické slídy, jen vzácněji tato zrnka tvoří výraznější shluky. Obsah organického uhlíku je vysoký (i přes 1 %).

Fauna vinického souvrství je v předmětné oblasti špatně známa. Je nicméně tvořena trilobity (*Vysocania*, *Dalmanitina*, *Deanaspis* aj.), měkkýši (např. gastropodi rodů *Sinuitopsis* a *Lophospira*, lokálně hojní mlži), ostnokožci, ramenonožci (*Aegiromena*, *Paterula*) a graptolity (především rod *Climacograptus*).

Na bázi vinického souvrství se často objevuje tzv. zdicko-nučický rudní obzor nebo jeho alternativy (pelokarbonáty s řídky rozptýlenými ooidy) tvořící neprůběžný horizont. Mocnost vinického souvrství v dané oblasti dosahuje ca 170 m, mocnost zdicko-nučického obzoru zřídka přesahuje 1 až 2 m.

GLOBÁLNÍ					REGIONÁLNÍ		Rozsah souvrství na předmětném území
ÚTVAR	ODDĚLENÍ	STUPNĚ	STAGE SLICES	TS	TU	STUPNĚ	
ORDOVIK	SVRCHNÍ	HIRNANT	Hi2	6c	21	KOSOV	KOSOVSKÉ
			Hi1				
		KATIAN	Ka4	6b	20	KRÁLODVOR	KRÁLODVORSKÉ
				6a	19		
			Ka3	5d	18		
			Ka2		17		
		SANDBIAN	Ka1	5c	16	BEROUN	BOHDALECKÉ ZAHOŘANSKÉ VINICKÉ
			Sa2	5b	15		
			Sa1	5a	14		
	STŘEDNÍ	DARRIWIL	Dw3	4c	13	DOBROTIV	DOBROTIVSKÉ
			Dw2	4b	12	ORETAN	ŠÁRECKÉ
			Dw1	4a	10		
		DAPING	Dp3		3b	ARENIG	KLABAVSKÉ
			Dp2				
	SPODNÍ	FLOIAN	Dp1	3a	8	ARENIG	KLABAVSKÉ
			FI3	2c	7		
			FI2	2b	6		
			FI1	2a	5		
TREMADOK		Tr3	1d	4	TREMADOK	MÍLINSKÉ	
	Tr2	1b	3	TŘENICKÉ			
	Tr1	1a	2				
			1				

Spodní polohy tzv. "vulkanické facie" odpovídají spodnímu floianu (Peršín *et al.* 2018).

Její celkový stratigrafický rozsah je však nejistý: odpovídá zřejmě intervalu floian - darriwil

Obr. 8 Stratigrafické schéma ordoviku pražské pánve s vyznačením stratigrafického rozsahu souvrství zastížených účelovou mapou a modelem (červený obdélníkový obrys) – podle Fatky a Budíla 2018, upraveno.

Křída – perucké vrstvy

Stáří těchto hornin se předpokládá v rozsahu alb (?) až cenoman. Bázi křídý tvoří silně rozpadavé, tmavošedé, jemně slídnaté aleuropelity se zuhelnatělými kořínky rostlin a s tenkými slojkami uhelných jílovců. Jejich poměrně stálá mocnost ve všech vrtech 5–10 m a absence facie písčité koryt indikuje, že v tomto území nebyla výrazně vyvinuta cenomanská fluvialní drenáž. Transgresní křídové sedimenty představují tidálně ovlivněné facie estuárie či laguny s typicky vyvinutou kořenovou půdou na bázi a heterolitickými sedimenty (střídání centimetrových vrstviček prachovců a jemnozrnných pískovců) ve stropu peruckých vrstev (např. vrt HJ-16).

V naprosté většině vrtné dokumentace však nelze najít texturní kritéria pro tuto genetickou klasifikaci. V některých vrtech byly na bázi či uvnitř peruckých vrstev popisovány polohy světlých pískovců. Ze zjednodušených vrtných popisů se však nelze vyjádřit k jejich genezi.

Tmavá barva, příměs světlé klastické slídy a přítomnost mocného eluviálního horizontu ordovických břidlic opticky maskuje rozhraní mezi tmavošedými ordovickými břidlicemi a tmavošedými jílovcí a prachovci křídý. Pouze strukturní hledisko (diskordance), kořínky rostlin a uhelné slojky či přítomnost bazálního konglomerátu (např. vrt HJ-11) umožňuje interpretovat hranici křída/ordovik. Například ve vrtu HJ-16 to byla také přítomnost bělošedě zvětralého eluvia ordoviku, která vyznačovala toto rozhraní (**obr. 9a**).

Křída – korycanské vrstvy

V nadloží aleuropelitů peruckých vrstev se vyskytují marinní sedimenty cenomanu. Jsou to naspodu bělošedé, žlutavé, místy rezavě šmouhované křemenné pískovce (tzv. kvádrové pískovce) korycanských vrstev. Jejich mocnost se v zájmovém území pohybuje kolem 13–20 m. Na bázi pískovců byly v mnoha vrtech zjištěny velmi pevné, rezavé limonitické krusty a železité pískovce o mocnosti 0,05–0,5 m (**obr. 9b**). V nejvyšších polohách jsou pískovce silně glaukonitické, zelenavé barvy (**obr. 9c**).

Mocnost zelených glaukonitických pískovců se pohybuje většinou mezi 3 až 5 m. Detailnější litologický popis cenomanských pískovců z nových vrtných jader nebyl možný kvůli intenzivnímu rozvrtání pískovců na písek tvrdokovem v úvodních částech jádrových vrtů. Dobrý přehled stratigrafické architektury a tektonického porušení pískovců však ukazují výchozy a bývalé lomy v tzv. střešovických stěnách (PP Střešovické skály) mezi vrty PJ-07 a HJ-15 podél ulice Na Petřinách (**obr. 9d**). Zde mají pískovce, podle rozpukání, kvádrový charakter, jsou středně až hrubozrnné, místy se štěrkovitými polohami. Ze sedimentárních textur se vyskytuje šikmé a korytové zvrstvení především ve světlých křemenných pískovcích. V nich jsou také časté limonitické zvlňené polohy a šmouhy. Mocnost korycanských vrstev je ve všech vrtech stabilní 18–19 m.

Křída – bělohorské souvrství

Nejmladší zastiženou křídovou jednotkou, dotvářející morfologii bělohorské a střešovické plošiny, jsou světle šedé až nažloutlé prachovité spongilitické slínovce (tzv. opuky) bělohorského souvrství. V sedimentu se často vyskytuje konkrecionální kalcifikace, která formuje tvrdá „jádra“ opuk. Opuky v přirozených výchozech tvoří decimetry mocné lavice, které jsou silně rozpukané. V povrchových výchozech je patrné, že otevřené pukliny opuk jsou vyplněny hlínou (při dokumentaci nejádrových vrtů, kdy jsou opuky rozbity na kusy, tak vzniká dojem smíšeného sedimentu, např. kvartérní

svahoviny). Opuky jsou ve svrchní části dekarbonátované (lehké), ve spodní části přecházejí až do jílovců, na bázi je často vyvinuta tenká limonitická krusta. Zastižená mocnost opuk se na střešovické plošině (např. ve vrtech HJ-11 a HJ-16) pohybuje do max. 10 m.



Obr. 9 a) Tmavošedé jílovité břidlice letenského souvrství (ordovik), které směrem do nadloží přecházejí do vyběleného horizontu kaolinicky zvětralého ordoviku (metráž 34,1 – 35,4 m – fialová šipka). Na tyto zvětraliny nasedají tmavošedé jílovce peruckých vrstev (cenoman) s kořenovými půdami a slojkami uhlí (metráž 28,65 – 34,1 m). **b)** Rezavé limonitické krusty a železité pískovce o mocnosti 0,05–0,5 m zjištěné na bázi korycanských vrstev. **c)** V nejvyšších polohách korycanských vrstev jsou pískovce silně glaukonitické, zelenavé barvy. Vrt HJ-16 u ÚVN. **d)** Výchozy a bývalé lomy v tzv. střešovických stěnách (PP Střešovické skály) mezi vrty PJ-07 a HJ-15 (foto M. Aue 24. a 27. dubna 2020, S. Čech 4. května 2020).

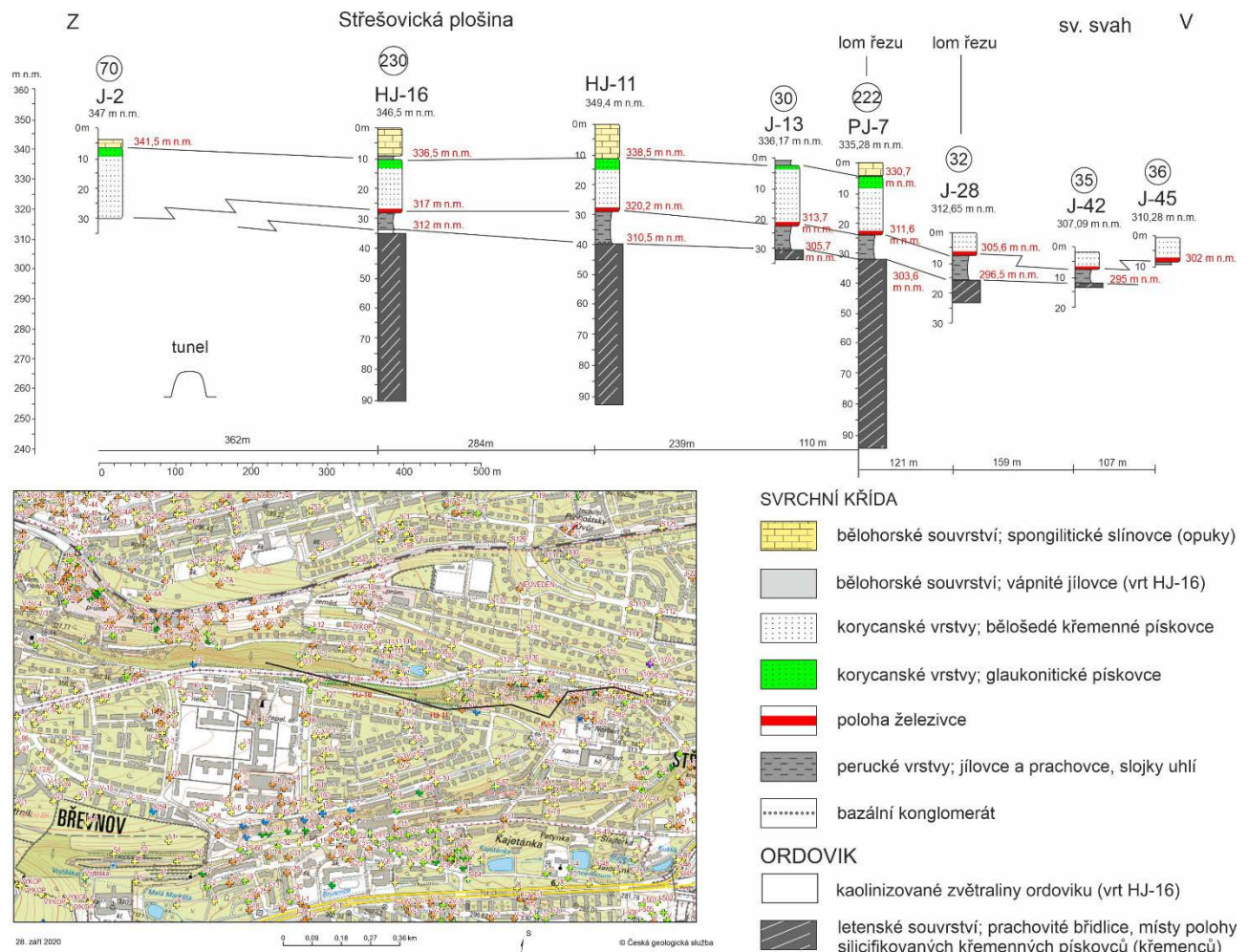
Úložné poměry křídových sedimentů

Vedle kvádrového křehkého porušení korycanských pískovců patrného v povrchových odkryvech tzv. střešovických stěn nebyly ve sledovaných vrtech v křídě zjištěny výraznější příčné zlomy pokračující z ordoviku do kříd. V novém umělém odkryvu v Libocké ulici byl zjištěn zlom, přibližně severojižního směru, porušující korycanské a perucké vrstvy (**obr. 11a**). Tato lokalita je však pouze dokumentační a nachází se mimo zájmové území.

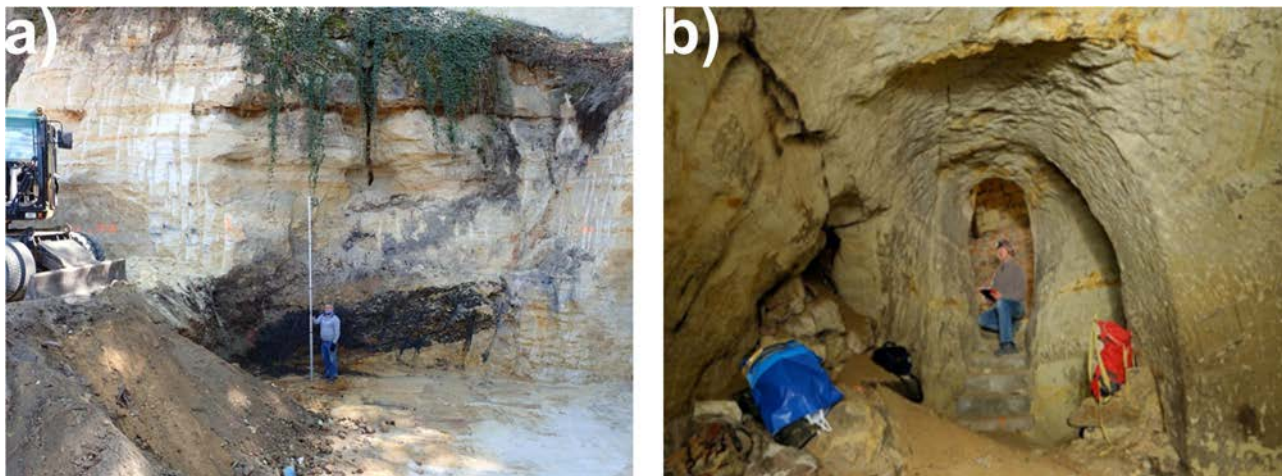
Z konstrukce báze jednotlivých křídových vrstev (báze kříd/peruckých vrstev, báze korycanských vrstev a báze bělohorského souvrství) je zřejmé, že křídové sedimenty tvoří v zájmovém území

desku ukloněnou mírně k východoseverovýchodu (**obr. 10**): báze křídý ve vrtu u Veleslavína (GDO 581560; Pařízková 1974) je v úrovni 317 m n. m., ve vrtu HJ-16 je v úrovni ca 312 m n. m.; ve vrtu HJ-1 v 310,5 m n. m.; ve vrtu PJ-07 v 303,6 m n. m. a ve vrtu J-28 v úrovni 296,5 m n. m. a v místě vrtu J-42 je dokonce báze křídý v úrovni kolem 295 m n. m.

Severovýchodně od vrtu PJ-07 je patrné, že severovýchodní kra křídý relativně poklesla o cca 7,5 m. Tato diference může být způsobena: a) postižením křídových vrstev kerným sesuvem, b) tektonicky, c) lomem řezu kolmým na úklon křídových vrstev. V případě kerného sesuvu by byly porušeny pouze křídové sedimenty a odtrhová hrana sesuvu by měla směr přibližně východ–západ. V druhém případě by byla tektonicky porušena nejen křída, ale i její ordovické podloží. Směr zlomu by byl patrně orientován přibližně ve směru sever–jih. Takový zlom by ale musel být bez výrazného horizontálního posunu ordovických hornin. Ve třetím případě by křídové vrstvy nebyly porušeny, šlo by o změnu orientace geologického řezu z podélného na kolmý k vrstevnatosti. Úroveň báze korycanských vrstev ve vrtu J-42, nižší než v okolních vrtech (**obr. 10**), je zřejmě způsobena erozí peruckých vrstev před sedimentací korycanských vrstev.



Obr. 10 Korelace vrtů přibližně v trase jižní varianty tunelu. Korelační linie mezi vrty je vyznačena černou čarou.



Obr. 11 a) Umělý odkryv v Libocké ulici u čp. 31. Pod kvádrovými pískovci korycanských vrstev byla odkryta poloha černošedého uhelného prachovce peruckých vrstev. Tato poloha je v pravé části snímku, spolu s kvádrovými pískovci, „ustřížena“ poklesovým zlomem. (foto S. Čech); **b)** Zazděný vchod do sklepa vyhloubeného v pískovcích korycanských vrstev na severním okraji křídové plošiny ve Střešovicích (foto M. Korba).

3.2.2 Tektonická stavba skalního podloží

V rámci jednotky Barrandienu leží zájmové území v severozápadním křídle tzv. pražské synformy, dříve označované jako pražská pánev (Melichar 2004). Zájmová oblast je budována nemetamorfovanými horninami staršího paleozoika (ordoviku) diskordantně uloženými na nemetamorfovaném, kadomsky zvrásněném proterozoickém podkladu kralupsko-zbraslavské skupiny (Chlupáč et al. 1998). Po zformování prostoru v rámci variského vrásnění byl tento sedimentární komplex překryt subhorizontálně uloženým platformním pokryvem křídového stáří zastoupeným bělohorským a perucko-korycanským souvrstvím.

Na zájmové lokalitě se uplatňují tektonické procesy spjaté s projevy duktilní (plastické) a rupturní (křehké) deformace. Níže jsou oba typy deformací skalního podkladu stručně popsány.

Duktilní tektonika

Pražská synforma jako celek představuje rozsáhlou a komplikovanou brachysynklinální strukturu, která vznikla deformací spodnopaleozoické sedimentární sekvence v průběhu variského vrásnění. Vrásnění zde bylo doprovázeno vznikem přesmyků obou vergencí, jen s nevýznamnou extenzí kolmo na kompresi a výrazným ztluštěním zemské kůry. Z hlediska založení zlomových struktur lze jejich vznik zařadit do období mezi frasnem a famenem (360–383 Ma), případně do období při hranici tournai/visé (± 346 Ma), kdy byly současně některé starší struktury reaktivovány (Knížek 2013).

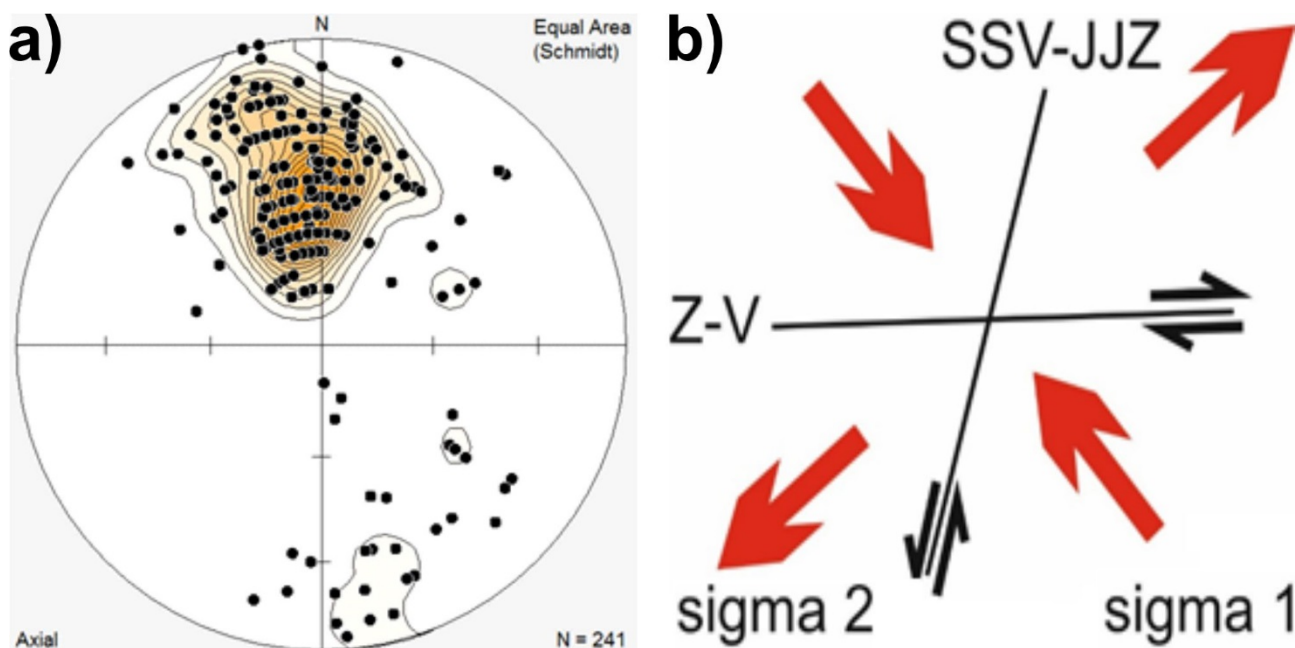
Dle Vacka – Žáka (2017) severovýchodní část této struktury zaznamenala ca 10–19% zkrácení v průběhu variské severozápad–jihovýchodní komprese bez výraznějšího protažení struktury synformy. Poslední významné období formování podoby pražské synformy probíhalo v období ca 337–346 Ma, kdy byly starší zlomové struktury deformovány a vznikly nejmladší, spíše již kompenzační nevýznamné zlomy. Regionálně významné zlomové struktury jako pražský zlom, jílová

rozsedlina atp. byly naposledy reaktivovány pravděpodobně v neogénu (podle výskytu měkkého tektonického jílu), na zlomech však již nedocházelo k výrazným pohybům jako v období formování pražské synformy (Knížek 2013).

Z tektonického hlediska lze pražskou synformu na základě deformačního porušení hornin rozdělit na dvě oblasti: oblast periferní části a oblast jádra. Oblast periferní části pražského synformy je méně tektonicky porušená, zatímco jádro synformy je postižené silným provrásněním (s jihovýchodní vergencí) a příkrovovou tektonikou. Hranice mezi dvěma oblastmi je kladena do hraniční zóny v bohdaleckém souvrství, popřípadě v souvrství královodorském, což značí, že se hranice nachází mimo zájmové území. Násunová tektonika probíhala pravděpodobně v samotném základu formování pražské synformy v období frasnú (372–383 Ma) s případnými přesahy do givetu a famenu (Melichar 2004).

Studované území spadá do méně tektonicky porušené periferní části pražské synformy. Tektonicky více porušená oblast leží několik kilometrů jižně od zájmové oblasti v rámci bohdaleckého souvrství, kde jsou tektonicky přiblíženy hlubokovodní a mělkovodní facie sedimentárních hornin.

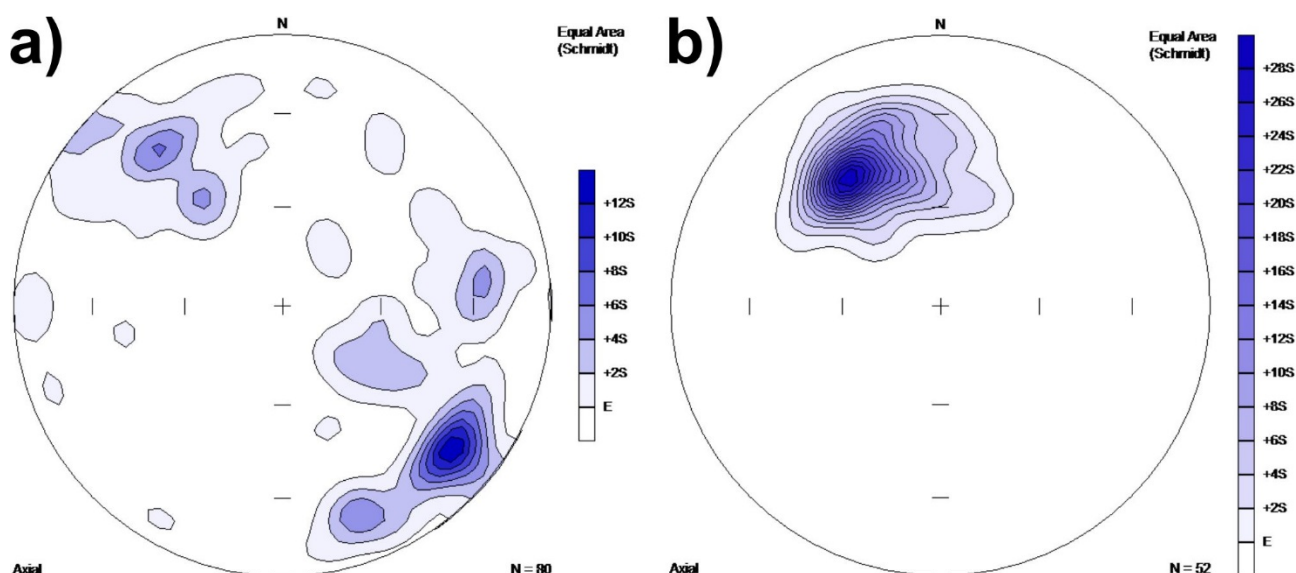
V zájmovém území, jež se nachází v periferní části synformy, jsou osy vrás orientovány podélně s geologickou stavbou jednotlivých souvrství zhruba ve směru severovýchod–jihozápad s mírným až středním sklonem k jihozápadu (Vošmik 2008). V zájmovém prostoru však provrásnění není intenzivní a geologická stavba je tak převážně monotónně reprezentována střídáním souvrství v rámci stratigrafického sledu. Jak dokládá konturový diagram na **obr. 12a**, vrstevnatost je převážně orientována přibližně ve směru severovýchod–jihozápad s generelním středním sklonem $\pm 45^\circ$ k jihovýchodu. Vzhledem k zastoupeným typům hornin se lokálně může vrstevnatost měnit v oblastech zlomového porušení a střížných zón vlivem přízlomových flexur a vrás.



Obr. 12 a) Celkem 241 měření orientace vrstevnatosti, jež jsou vynesena na spodní polokouli ve Schmidtově projekci. Tečky znázorňují póly ploch. **b)** Idealizovaná napjatost v křídle synformy v zájmové oblasti, podle analýzy z průzkumné štoly pod Stromovkou (upraveno podle Vošmika, 2008)

Takové změny vrstevnatostí byly zastiženy při stavbě metra trasy V.A na Červeném vrchu (**obr. 13 a, b**). Střížné zóny současně mohou zcela stírat vrstevnatost a nově vzniklá kliváž může vytvářet falešně zdánlivé vrstevnatosti. Například v jednolodní stanici metra Bořislavka byly zastiženy silně deformované a provrásněné polohy břidlic dobrotivského souvrství společně s polohami křemenců, které byly i lokálně „odstříženy“ jako „plovoucí kry“ v rámci silně prohněteného materiálu břidlic (Tlamsa et al. 2012). Velmi podobná geologická stavba včetně prohnětení břidlic a „zavrásnění“ bloků křemenců v rámci dobrotivského souvrství byla zastižena i při ražbách tunelů Nového spojení pod vrchem Vítkov (Straka – Röhlich 2008).

V platformním pokryvu křídý se nepředpokládá žádná výrazná duktilní deformace a sedimentární horniny jsou dle výsledků geologického mapování i dle vrtných dat v subhorizontálním uložení. Případné změny a odchylky jsou spíše odrazem sedimentárních procesů než pozdější tektonické deformace.



Obr. 13 Konturové diagramy vrstevnatostí z povrchových výkopů při stavbě metra trasy V.A: **a)** Situace v okolí Červeného vrchu (stanice Bořislavka); **b)** Situace z výkopů přeložek inženýrských sítí u stanice metra Velešlavín (M. Knížek, nepublikováno).

Křehká tektonika

Porušení křehkou tektonikou přímo odráží mechanické vlastnosti hornin. Břidlice jsou porušeny poruchami charakteru střížných zón o mocnosti až desítek metrů, které mají charakter prohnětených a silně deformovaných poloh. V geologické mapě se však projevují jako zlomy s výrazným posunem. Naopak kompetentnější horniny, například pískovce, jsou postiženy výrazným rupturním porušením, případně s kataklastickou výplní.

V Barrandienu jsou hojné zlomy protínající synklinorium ve směru přibližně sever–jih, tyto struktury byly zastiženy na některých podzemních stavbách v Praze (metro trasa V.A – **obr. 14 a, b**), tunely pražského okruhu, tunelový komplex Blanka a další). Sklon mají strmý na oba směry jak k východu, tak k západu. Kinematicky převažují obecné zlomy s převahou horizontální složky pohybu (Vošmik 2008). Díky tomu jsou dobře viditelné v mapách, kde vytvářejí výrazný odskok souvrství. Tento směr

je výrazný ve všech částech Barrandienu i mimo pražskou synformu, například v příbramsko-jinecké pánvi.

V severní části pražské synformy se projevuje ještě druhý směr zlomových struktur ve směru přibližně západ–východ, tyto ale mají často charakter zmíněných střížných zón (**obr. 12b**). Především tím, že se kombinují s vrstevnatostí a přechází v mezivrstevní prokluzu v mechanicky méně odolných jílovitějších horninách (např. Straka a Röhlich 2008; Knížek 2013). V zájmovém prostoru lze předpokládat podle úklonu vrstevnatostí jejich sklon spíše k jihu.

V geologických mapách jsou často uváděny zlomové systémy severozápad–jihovýchodního směru. Tyto struktury jsou orientovány převážně příčně k průběhu paleozoických souvrství a jsou rozprostřeny v celém prostoru pražské synformy. Jejich skutečný výskyt však nebyl během ražeb četných podzemních děl ani jiných povrchových odkryvů dostatečně prokázán, naopak byly dokumentovány spíše výše popsané zlomové struktury jiných orientací. Obvykle jsou s pomocí severozápad–jihovýchodních zlomů v geologických mapách kompenzovány laterální změny mocnosti souvrství nebo jiné neprůběžné zlomové struktury, které lokálně posunují hranice souvrství. Přesto však nelze výskyt severozápad–jihovýchodně orientovaných zlomů zcela vyloučit. Jejich význam však není dominantní a výskyt je zřejmě pouze lokální. Nejčastěji půjde o kompenzační křehké porušení mezi ostatními zlomovými systémy, které je současně omezují, či lokální diskontinuity bez výraznějšího pohybu.

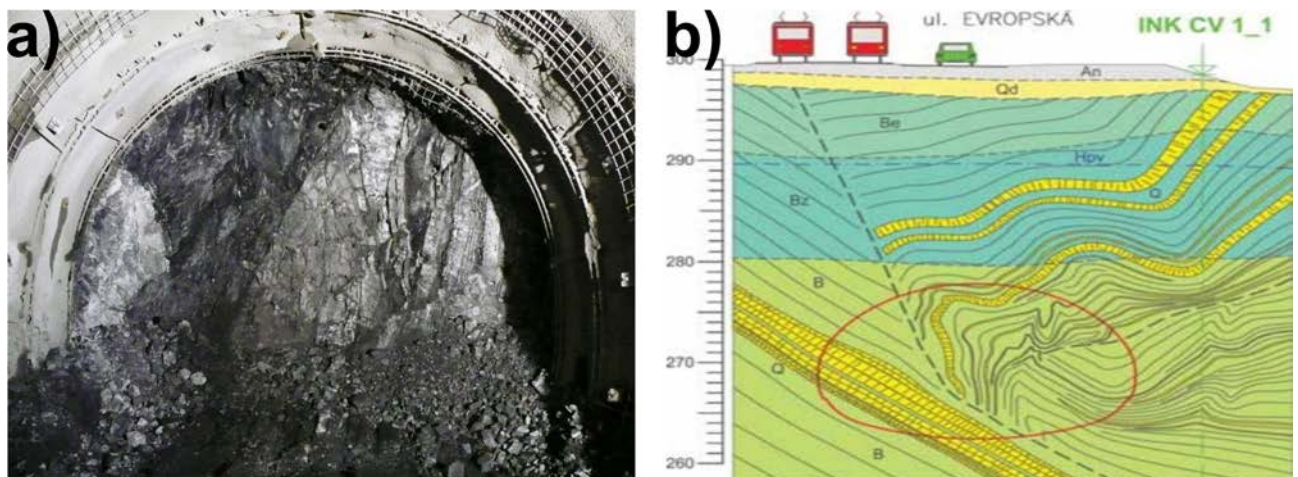
V případě platformních křídových sedimentů se na základě výsledků geologického mapování ani interpolace reinterpretovaných vrtných dat nepodařilo identifikovat žádný zlom, který by se systematicky projevoval výraznějším horizontálním nebo vertikálním posunem hranic křídových souvrství. Ani výrazná severojižní zlomová zóna porušující paleozoický sled v západní části modelu dle dostupných dat nepostihuje významněji křídové horniny, byť nelze vyloučit zvýšenou frekvenci puklin nebo puklinových zón v jejím křídovém nadloží. Puklinové systémy, které se vyskytují v křídovém pokryvu, jsou odrazem diagenetických pochodů nebo jen drobných mladších deformací, případně jsou v přípovrchových zónách ovlivněny zvětrávacími pochody, nebo jsou lokálně vyvinuty ve spojitosti s geodynamickými jevy.

Tektonické struktury zastižené v modelu mají v paleozoických horninách generelní průběh ve směru přibližně východoseverovýchod–západojihozápad se sklonem vrstevnatostí nejčastěji 30–50° k jihojihovýchodu až jihovýchodu. Výraznější provrásnění či jinou duktilní tektoniku ve vymezeném prostoru ve větším měřítku nelze očekávat. V platformních a pokryvných útvarech je duktilní tektonika zcela nevýznamná, jak bylo uvedeno výše (**obr. 15**).

Křehkou tektoniku zastupují v zájmovém území především zlomové struktury různého charakteru, které jsou nejvýraznější v geologické mapě především kvůli svému stratigrafickému odsazení (**obr. 15**). Naprostou většinu tektonických struktur a zlomů je ve špatně odkrytém a hustě zastavěném prostoru prakticky nemožné identifikovat. Přesto však jsou známy indicie, ze kterých je možné v případě nejvýraznějších zlomů interpretovat jejich nejen kinematický charakter.

Nejvýraznější zlomové struktury jsou zastoupeny v západní části zájmového území. Výraznou strukturou je severojižní zlomová struktura protínající celé zájmové území. Tato struktura byla zastižena mj. při stavebních pracích na prodloužení trasy metra V.A. Jedná se spíše o širší zlomovou zónu s výrazným „roztřepením“ jednotlivých zlomových ploch a očekávanou duktilní deformací v jejím okolí, případně s přízlovou kliváží a mezivrstevními prokluzu. Tato zlomová zóna v trase metra V.A dosahovala mocnosti až 150 m a byla charakteru četných dílčích zlomových ploch,

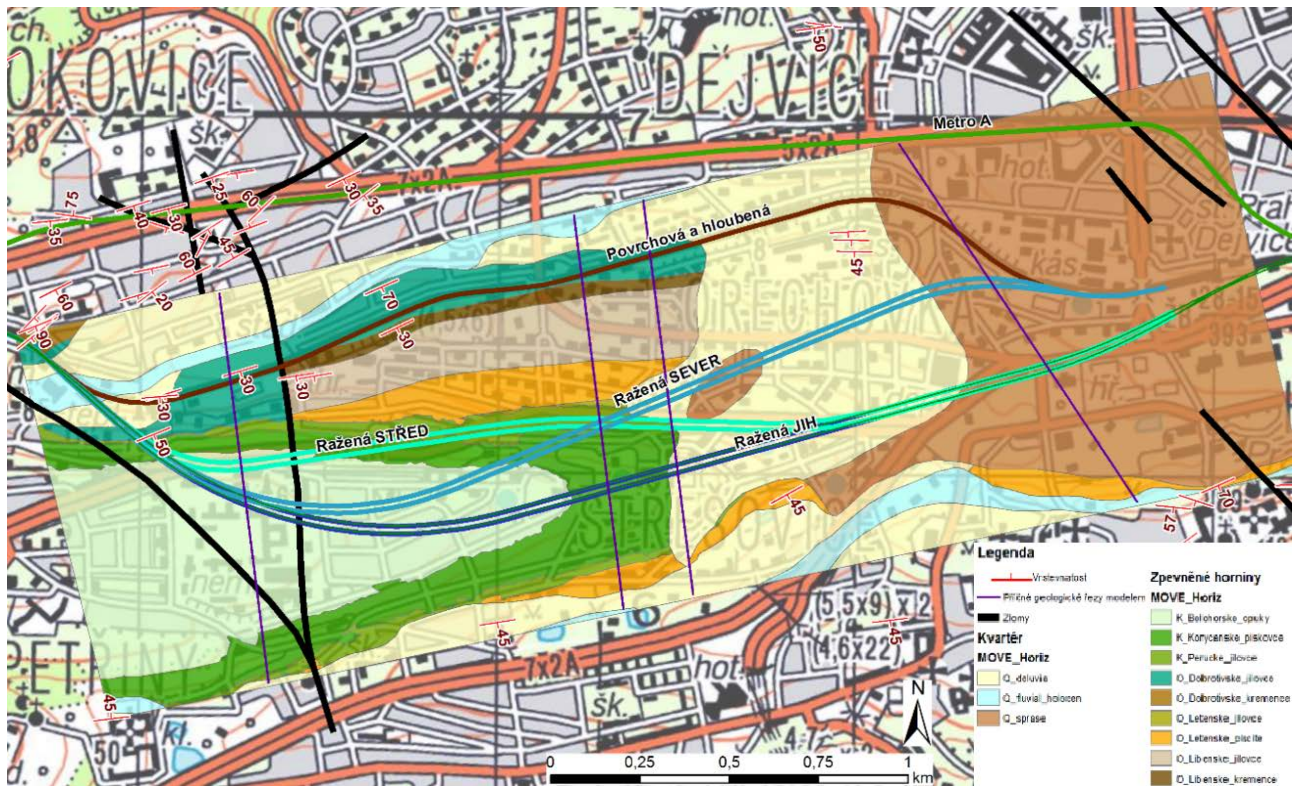
oddělených bloky jen mírně deformovaných skaleckých křemenců a obklopených silně duktilně deformovanými břidlicemi dobrotivského souvrství. Na některých z těchto zlomových ploch byly dokumentovány slabé přítoky podzemních vod o vydatnosti cca do 10 l/min. Podle stavby v erozním řezu a předpokládané napjatosti území má struktura levostrannou kinematiku, ale s obecným charakterem pohybu a strmým sklonem k východu.



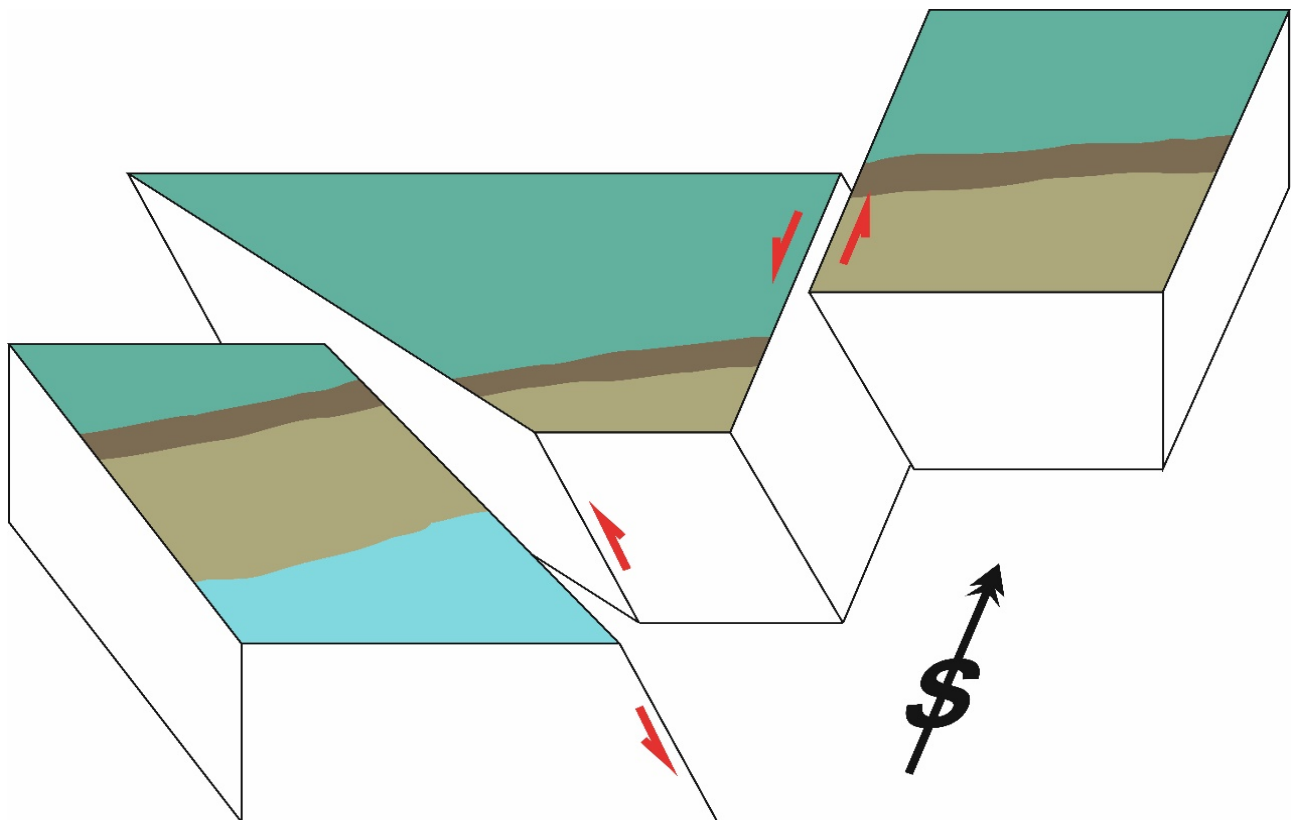
Obr. 14 Přízlomové porušení hornin zastižené na severojižních zlomech při ražbě stanice metra Bořislavka: **a)** Čelba přístupové štoly s dobrotivskými břidlicemi silně porušenými křehkou deformací ve středu a prohnětením břidličných poloh v levé části snímku; **b)** Interpretace přízlomového provrásnění a duktilní deformací břidlic a křemenců dobrotivského souvrství při pohledu směrem na západ podle Tlamsy et al. (2012): Q – křemence, B – navětralé břidlice, Bz – zvětralé břidlice, Be – rozložené břidlice, Qd – deluviální sedimenty, An – navážky.

Na západním okraji daného území mezi Veleslavínem a Petřinami probíhá zlom severozápad–jihovýchodního směru, který v mapě ukazuje opačný posun souvrství oproti předchozímu zlomu. Vzhledem k napjatosti v předpokládané době jejich vzniku ale lze očekávat, že se jedná o zlom s obecným směrem pohybu a s přesmykovou kinematikou, která v mapě vytváří dojem pravostranného posunu (**obr. 16**). S ohledem na charakter hornin, kterými probíhá, lze opět předpokládat širší zlomovou zónu s přízlomovou deformací a kliváží. Komplikovanější stavbu pak může vytvořit křížení těchto obou struktur v jižní části zájmového prostoru, které však leží mimo uvažované variantní trasování.

Ve východní části zájmového území jsou zaznamenány drobnější zlomové struktury, které odrážejí lokální kompenzaci napjatosti v době jejich vzniku. Lze předpokládat, že se jedná o přesmykové struktury obdobného charakteru, jako výše popsaná struktura u Veleslavína. Pohyb na zlomech však není tak výrazný a lze předpokládat, že i intenzita porušení bude méně výrazná oproti situaci na západní straně zájmového území.



Obr. 15 Geologická mapa zájmového prostoru s vyznačenými strukturálně geologickými prvky.



Obr. 16 Zjednodušená interpretace kinematiky zlomů v západní části území.

3.2.3 Zvětrávání předkvartérního podkladu

Horniny skalního podkladu paleozoického stáří byly ve zkoumané oblasti v minulosti vystaveny různým etapám zvětrávání a také různým zvětrávacím procesům. Z časového hlediska byly horniny ordoviku vystaveny nejprve křídové, pak terciární a naposled kvartérní etapě zvětrávání. Vzhledem k působení teplého a humidního klimatu v křídě a terciéru se uplatňovalo hlavně chemické zvětrávání. Tento typ zvětrání je dokumentován nálezy lateritických, bauxitických, kaolinizovaných a prokřemenělých hornin v podloží křídý (Kodym 1956 in Šimek 1959a). Příklad zvětralé partie letenského souvrství postiženého kaolinickými zvětráním na styku s bazálními horninami křídý ve vrtu HJ-16 (Dragoun 2020) je uveden na **obr. 9a**.

Zvětralinový plášť se však tvořil až v pleistocénu a holocénu, a to jednak působením periglaciálního klimatu v chladných stadiálních obdobích, kdy se uplatňovalo zvětrávání mechanické, a jednak v teplých interstadiálních a interglaciálních periodách za působení chemického typu zvětrávání. Účinkem značných teplotních změn docházelo k rozpadu hornin převážně na kamenité sutě, které byly ve svrchních partiích přemísťovány soliflukčními pohyby.

Mechanické zvětrání zasáhlo hlavně svrchní partie podložních skalních hornin. Do větších hloubek sahá vliv zvětrání chemického, při němž jsou postupně narušovány méně stabilní minerály, jako např. pyrit aj., a pak nově krystalizující charakteristické produkty chemického zvětrávání, jako jsou např. limonit, kalcit a sádrovec. Všeobecně platí, že horniny překryté např. fluvialními pleistocenními sedimenty mají poněkud menší mocnost zvětralinového pláště než horniny vystavené přímo zvětrávacím procesům. Mocnost zvětralin je však závislá i na stupni tektonického porušení hornin.

Zvětrání hornin se v současné době posuzuje především podle aktuálně platné evropské normy ČSN EN ISO 14689-1, která stanovuje pojmenování a popis horninových materiálů a masivů na základě mineralogického složení, geneze, struktury, zrnitosti, diskontinuity a dalších parametrů. Téměř všechny archivní průzkumy, realizované v minulosti na území 3D modelu, však posuzují zvětrání hornin podle dnes již neplatné ČSN 72 1001.

S ohledem na provádění rešerší archivních průzkumů a celkově dlouholetou tradici v užívání výše uvedeného neplatného normativního předpisu provedla ČGS podle této normy v rámci území 3D modelu také reinterpetaci jednotlivých stupňů zvětrání skalního podkladu, ovšem pouze pro jílovité až písčité břidlice jakožto dominantní horniny v litologickém sledu ordoviku. Podrobnější informace k provedené analýze jsou obsahem **přílohy 6**.

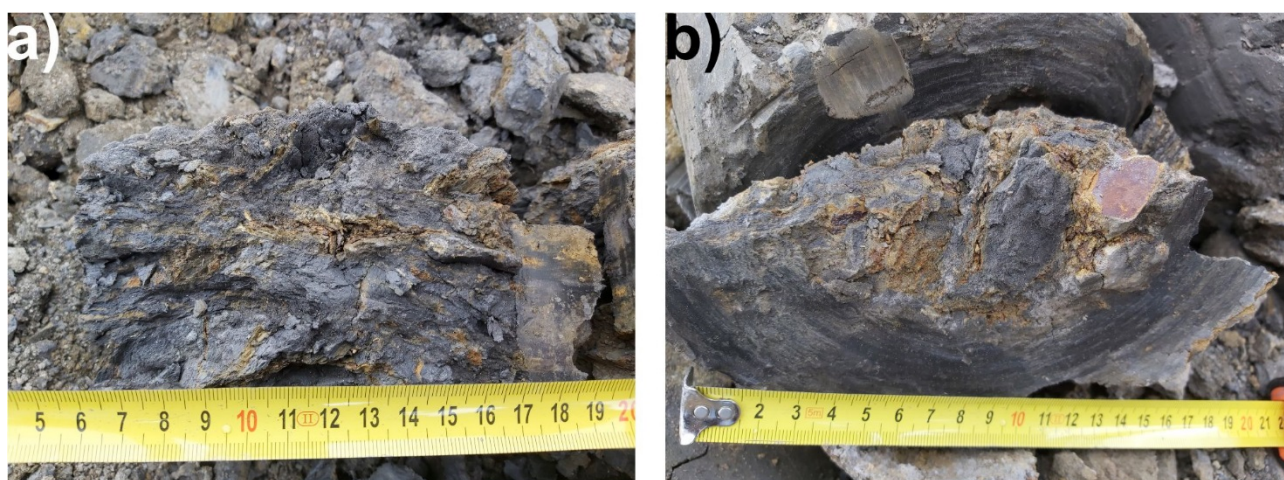
Norma ČSN 72 1001 rozlišuje celkem 5 stupňů zvětrání horniny (W5 – rozložená, W4 – silně zvětralá, W3 – slabě zvětralá, W2 – navětralá, W1 – zdravá). Vzhledem k složitosti celé problematiky bylo po předchozí domluvě na KD s objednatelem odsouhlaseno zjednodušení této klasifikace pouze na 3 stupně zvětrání. Došlo ke sloučení stupňů zvětrání W5–W4 do stupně W_C , a stupně W3–W2 do stupně W_B . Pouze stupeň W1 reprezentující zdravou horninu byl ponechán a účelově přejmenován na stupeň W_A . Výsledky provedené analýzy zvětrání skalního podkladu s podrobným popisem jsou obsahem přílohy 5.

Nově vyčleněné stupně zvětrání lze charakterizovat následujícím způsobem:

Horizont rozložené až silně zvětřalé břidlice (W_c)

Rozložené břidlice jsou reprezentovány v podstatě soudržnou zeminou charakteru jílu, jílovité hlíny, příp. písčité až štěrkové hlíny s tím, že písčité a štěrkovitá frakce je zastoupena drobnými střípky až úlomky zvětřalé břidlice. V tomto horizontu převládají jílové minerály zčásti původem z mateční horniny, z části vykrystalizované z roztoků doprovázejících zvětřovací procesy.

Občas se stává, že část tohoto rezidua je postižena svahovými pohyby, a je proto mnohdy obtížné určit rozhraní mezi deluviem a eluviem, jako tomu bylo např. ve vrtu HJ-15 (Dragoun 2020). V případě tohoto vrtu byly svahové sedimenty interpretovány ČGS až do hloubky 7,8 m. Tyto sedimenty měly charakter tmavošedého, rezavě smouhovaného písčitohlinitého až písčitojílovitého sedimentu se zahrnutými ostrohrannými klasty hornin (**obr. 17a, b, obr. 18a**).



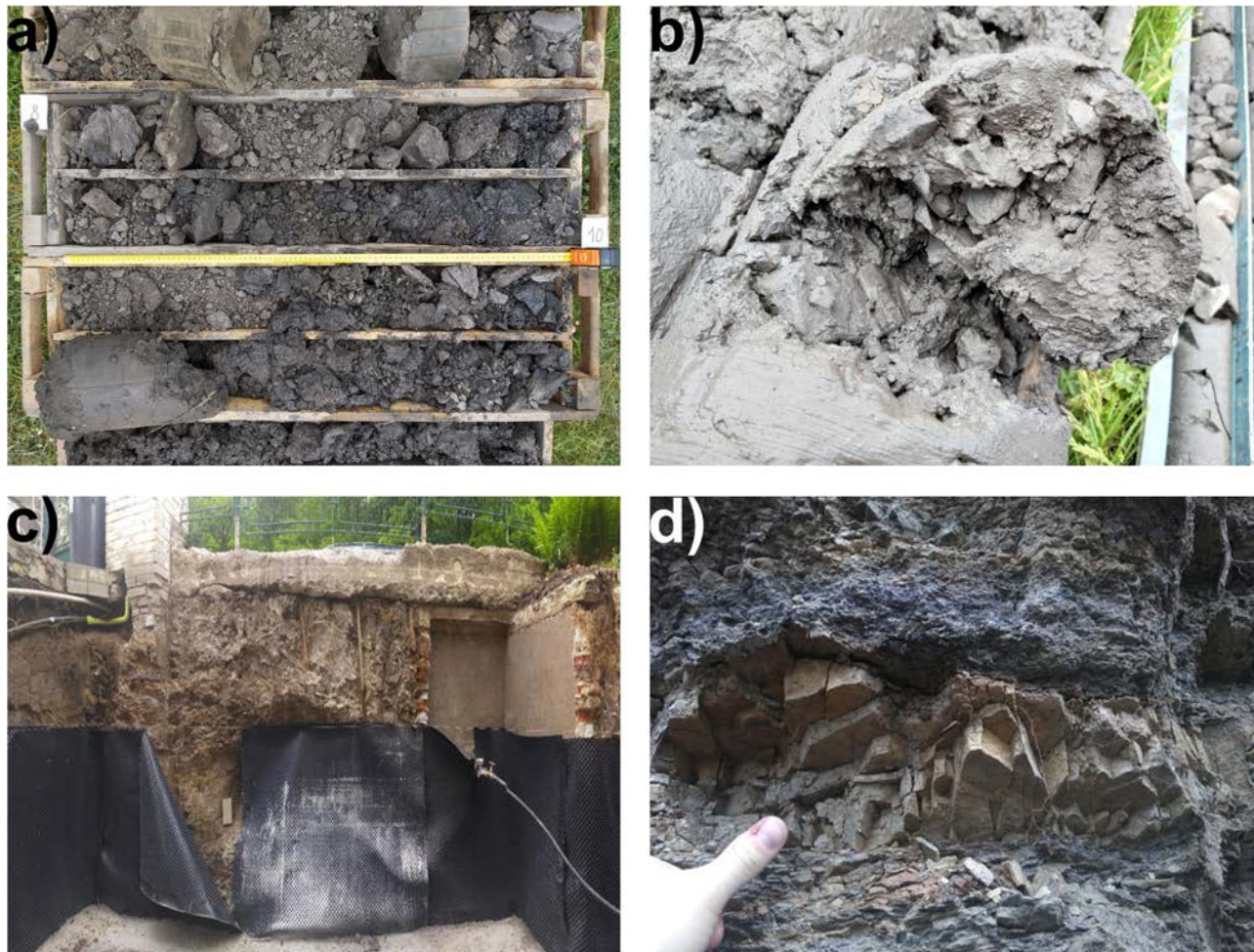
Obr. 17 a-b) Svahové sedimenty charakteru tmavošedého, rezavě smouhovaného písčitohlinitého až písčitojílovitého sedimentu se zahrnutými ostrohrannými klasty hornin. Vrt HJ-15 (foto M. Aue 30. dubna 2020).

Silně zvětřalé břidlice se svými mechanickými vlastnostmi blíží více nesoudržným zeminám než horninám (**obr. 18b**). V přechodu nadložního zvětřalinového rezidua přibývá významně podíl střípků zvětřalé horniny až střípkovitý rozpad zcela převládne. Velikost střípků se běžně pohybuje v rozmezí 2–5 cm. Mají značně zploštělý tvar, protože vznikly rozpadem vrstevnaté horniny. Prostorová orientace střípků zpravidla sleduje aspoň v hrubých rysech úložné poměry matečného souvrství.

Svrchu jsou mezery a odlučné plochy mezi jednotlivými střípky vyplněny jílovitohlinitými produkty zvětřávání. S přibývajícím hloubkou se tato výplň omezuje již jen na významnější komunikační cesty v hornině, např. pukliny apod. Střípky jsou zbarveny vysráženými povlaky hydroxidů železa, které se vysrážely z roztoků provázejících zvětřovací procesy.

Tyto roztoky difuzním pohybem pronikly celou horninou, tj. v celé hmotě každého střípku proběhl intenzivní zvětřovací proces provázený chemickými reakcemi, rozkladem méně stabilních nerostů a porušením krystalové mřížky stabilnějších minerálů. Odhad podílu zvětřalých (alterovaných) minerálů je více než 35 %. V důsledku toho významně klesá pevnost horniny, takže střípky a úlomky lze snadno lámat v ruce. S přibývajícím hloubkou se velikost střípků zvětšuje. Na spodu tohoto horizontu se lze setkat s průměrnou velikostí úlomků 5–10 cm.

V souhrnu tedy lze konstatovat, že převážná většina minerálů je v tomto stupni W_C značně až úplně zvětralá, resp. rozložená, přičemž zdravé anebo částečně zvětralé, příp. alterované minerály se vyskytují buď jen jako izolované částice v rozložené hmotě nebo jako jádra zvětralých nebo alterovaných částic. Po rozpadu, ale v rostlém stavu, je původní struktura horniny ještě zřetelně zachována. Zároveň je patrná úplná změna barvy oproti zdravé hornině (**Obr. 18c, d**).



Obr. 18 a) Nezřetelný přechod v hloubkové úrovni 7,8 m ve vrtu HJ-15 mezi svahovými sedimenty a zvětralými břidlicemi stupně W_C . **b)** Velmi zvětralé až prakticky rozložené břidlice charakteru zeminy ve vrtu HJ-15 v hloubkové úrovni 15,2 m. **c)** Výkop v ulici Pod novým lesem č.p. 99/56 (pozemek parcelní č. 578). Ve výkopové jámě byly zjištěny horniny letenského souvrství – tenké deskovité, šedavé prachovce a jílovce, rytmicky se střídající s křemennými pískovci, drobnými a písčítými břidlicemi. Lze pozorovat naprostou změnu původní temně šedé barvy břidlic na šedohnědou indikující stupeň zvětrání W_C – viz detail výkopu **d)** prozrazující rychlé střídání deskovitých, prachovců a jílovců, rytmicky se střídající s křemennými pískovci, drobnými a písčítými břidlicemi letenského souvrství (foto M. Aue 19. května 2019 a 29. dubna 2020).

Horizont slabě zvětralé až navětralé břidlice (W_B)

Podle mechanického chování již horniny v tomto stupni zvětrání lze přiřadit ke skalním horninám. Úlomkovitý rozpad přechází pozvolna do kusovitěho rozpadu s velikostí jednotlivých částí 10–30 cm, případně až do blokovitěho rozpadu. Ve svrchních partiích tohoto horizontu lze pozorovat místy hnědé zbarvení povrchu úlomků způsobené hydroxidy železa, avšak jejich vnitřní část je již podle makroskopického vzhledu neporušená. Přesto však i zde proběhl proces chemických reakcí

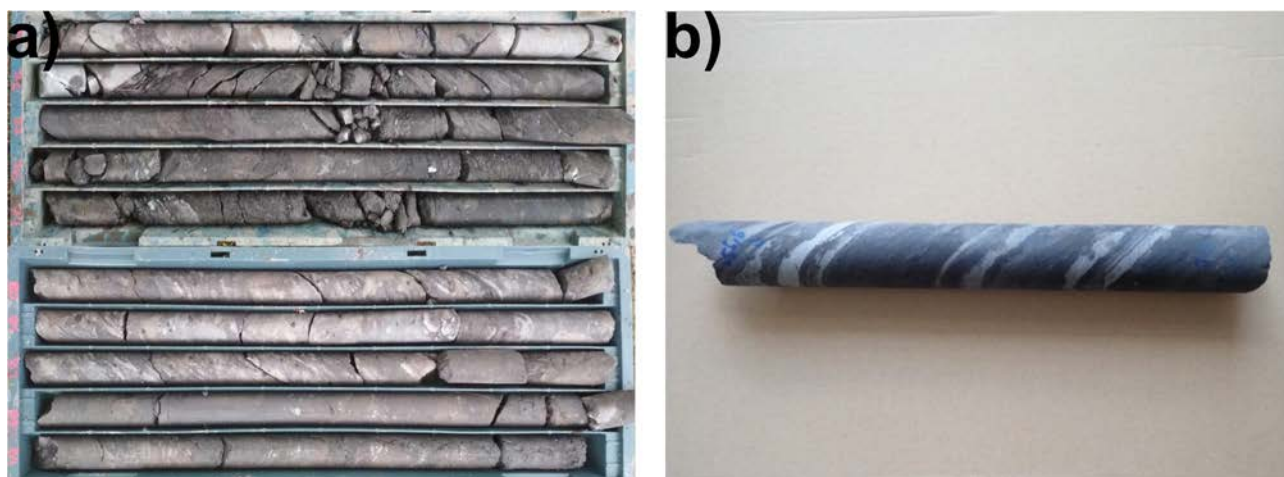
provázecích zvětrávání a strukturální krystalové mřížky jílových minerálů byly zčásti narušeny. Odhad podílu zvětralých (alterovaných) minerálů je 3–35 %.

Hornina má zachovalý původní vzhled a hlouběji i stav. Část minerálů je částečně až úplně alterovaná nebo zvětralá. Zdravé minerály tvoří souvislou kostru horniny. Podobně jako v případě stupně zvětrání W_c je patrná výrazná změna barvy oproti zdravé hornině.

Horizont zdravých břidlic (W_A)

Hornina je bez stop zvětrání nebo alterace. Zbarvení horniny je původní, rovnoměrné. Podíl zvětralých (alterovaných) minerálů je 0–3 % ().

V souvislosti s tímto horizontem je nutné upozornit na skutečnost, že makroskopické hodnocení stupně zvětrání se neshoduje s hledisky mechaniky hornin. Například průzkumem Tesaře – Hudka (1971) bylo zjištěno, že pevnostní charakteristiky hornin ještě dále pod úrovní makroskopicky pozorovatelného navětrání s hloubkou vzrůstají, tzn. že dosah mechanických změn vlastností horniny vyvolaných vlivy chemického nevětrání je podstatně větší. V rámci zmíněného průzkumu byl zjištěn vzrůst mechanických vlastností až do hloubky 20–40 m pod úrovní báze pokryvných útvarů.



Obr. 19 Příklad zdravých ordovických hornin bez patrného zvětrání **a)** vrtné jádro HJ-16 v úseku 75–85 m **b)** Vrtne jádro 55,6–55,9 m HJ-15. Vložky tenkých poloh jemnozrnných křemenných pískovců –silicifikovaných (křemenců) v prachovitých břidlicích letenského souvrství (foto S. Čech dne 5. května 2020).

3.2.4 Kvartérní uložení

Podložní horniny paleozoického a křídového stáří jsou v zájmové oblasti, resp. v jejím okolí, překryty kvartérními sedimenty, které jsou nejčastěji deluviálního charakteru. Jedná se o zeminy charakteru jílu až písčitého jílu se zrníčky a úlomky opuk a pískovců (deluvia opuk) a dále o jílovité jemnozrnné písky (deluvia pískovců). Při formování svahů, odlehčených erozí, se uplatňovaly v pleistocenním klimatu v relativně hojně míře sesuvné pohyby. Kvádrové pískovce cenomanského stáří, rozpuštěné systémem vertikálních puklin, spočívající na tvárném podloží, se postupně podél okrajových trhlin odlamovaly na mohutné bloky a kry, které se zabořovaly do podloží, nakláněly a odsouvaly po svahu. Výrazné rozpukání, rozlámání a rozvolnění pískovců zasahuje někdy 100 až 200 m dovnitř plošiny (Píchal et al. 1979). Pro tvárnost terénu je důležitá i činnost člověka v historické i současné době. Území bylo předmětem těžby pískovců v lomu v jihozápadní části, nelze však zcela vyloučit ani

těžbu písku štolami. Lze nicméně předpokládat, že tyto štoly jsou dnes již zasucené. Při zástavbě svahů v území, která probíhala živelně, byl terén upravován do teras – místy byl odtěžen, místy nasypán. Povrch zájmového území tvoří humózní vrstva, resp. navážky, které dosahují mocnosti nejčastěji do 0,5 m, resp. 1,0 m.

3.3 Hydrogeologické a hydrologické a poměry

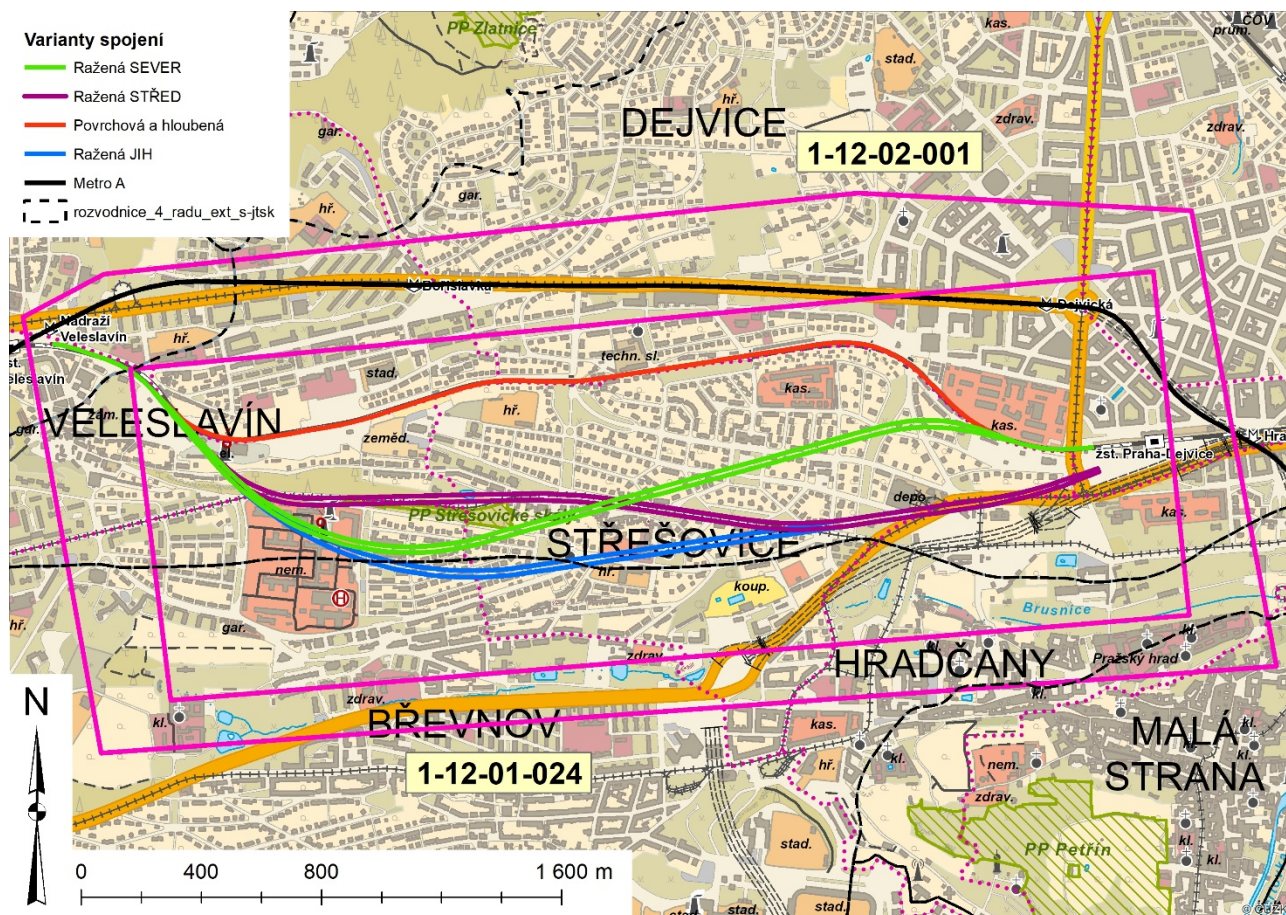
V předchozích kapitolách popsána geologická stavba zájmového území se dominantní měrou podílí na utváření hydrogeologických a pochopitelně také hydrologických poměrů. Níže je proto uvedena základní charakteristika zájmového území z pohledu hydrologie a hydrogeologie.

Zájmové území náleží do povodí Labe; je součástí hydrologického povodí 2. řádu č. 1-12 – Vltava od Berounky po ústí a Labe od Vltavy po Ohři. Oblast geologického modelu zasahuje do dvou povodí 3. řádu: 1-12-02 – Vltava od Rokytky po ústí a 1-12-01 – Vltava od Berounky po Rokytku. Převážná část stavby spadá do povodí 4. řádu 1-12-02-001 – Vltava od Rokytky po Litovický potok, pouze část dotčené oblasti j. od hřbetnice střešovického návrší je odvodňována do povodí 1-12-01-024 – Brusnice. Rozsah hydrologických povodí 4. řádu je patrný z **obr. 20**.

Širší zájmové území stavby „Modernizace trati Praha-Výstaviště (mimo) – Praha-Veleslavín (mimo)“ v rozsahu stavebních objektů SO 06-25-01 „Ražený tunel levý“, resp. SO 06-25-02 „Ražený tunel pravý“ spadá do hydrogeologického rajonu 6250 – Proterozoikum a paleozoikum v povodí přítoků Vltavy (útvary podzemních vod základní vrstvy 62500 – Proterozoikum a paleozoikum v povodí přítoků Vltavy), který je obecně charakterizován nízkou transmisivitou ($T < 1 \cdot 10^{-4}$ m²/s), volnou hladinou podzemní vody, její celkovou mineralizací 0,3–1 g/l při dominujícím hydrochemickém typu Ca-Mg-HCO₃-SO₄.

Zájmové území neleží ve smyslu vyhlášky č. 137/1999 Sb., kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů, v ochranném pásmu vodního zdroje. Území plánované pro ražbu železničních tunelů rovněž nespadá do žádné CHOPAV ani se v něm nevyskytují minerální vody, byť je to některými autory mylně naznačováno (např. Burachovič – Wieser 2001, Kovařík 1998).

V širším okolí předmětného území lze z hydrogeologického hlediska rozlišit tři hydrostratigrafické jednotky. Z povrchu terénu první hydrostratigrafickou jednotku převážně s kolektorskými vlastnostmi představují nezpevněné kvartérní sedimenty, v nichž lze počítat prakticky jen s porozitou průlinovou. Druhou hydrostratigrafickou jednotku reprezentují křídové sedimentární horniny, u nichž v případě vrstev s převládajícím zastoupením jílovců a slínovců (perucké vrstvy) lze očekávat spíše izolační charakter. Z hlediska typu proudění a porozity lze předpokládat v případě opuk bělohorského souvrství porozitu puklinovou, v pískovcích korycanských vrstev pak kombinovanou průlinovo-puklinovou porozitu. Nejhlouběji uloženou hydrostratigrafickou jednotkou jsou paleozoické (ordovické) horniny s porozitou puklinovou, ve zvětralinovém plášti, resp. v připovrchové zóně rozpukání a rozvolnění těchto hornin pak nutno počítat s proměnlivým podílem průlinové a puklinové porozity nejen v závislosti na litologickém charakteru přítomných hornin, ale i na hloubce.



Obr. 20 Hydrologická povodí zájmové oblasti. Mapový podklad je tvořen datovými sadami ZABAGED® a HEIS VÚV

3.3.1 Kvartérní hydrostratigrafická jednotka

Kvartérní pokryv formují fluviální sedimenty (terasové štěrkopíský, holocenní náplavy), deluviální a deluviofluviální sedimenty a eolické sedimenty (spraše a sprašové hlíny). V severovýchodní části modelového území, již mimo dosah vlastní stavby, se na bázi kvartérních sedimentů vyskytuje dejvická terasa (Záruba – Bucha – Ložek 1977), lokálně zastoupená deluviofluviálními sedimenty.

Fluviální sedimenty představují vhodné prostředí pro vznik souvislého kolektoru podzemní vody s poměrně vysokými hodnotami filtračních parametrů. Podzemní voda byla průzkumnými vrti zastižena převážně při bázi v písčitoštěrkovitých sedimentech. Mocnost zvodnění závisí zejména na morfologii předkvartérního podloží. Dejvická terasa vykazuje poměrně málo mocné zvodnění. Hladina podzemní vody je zde převážně volná, jen lokálně přechází do mírně napjaté.

K dotaci tohoto průlinového kolektoru dochází atmosférickými srážkami, hladina podzemní vody tak obvykle může v závislosti na klimatických poměrech kolísat až v rozmezí ± 1 m. Vydatnost vrtů závisí na rozsahu infiltrační oblasti a míře propustnosti terasových uloženin. Vlivem souvislé zástavby a inženýrských zásahů do horninového prostředí (podzemní liniové dopravní stavby, inženýrské sítě atp.) je však infiltrace srážkových vod do tohoto kolektoru zásadně omezena.

Podzemní voda proudí převážně konformně s morfologií terénu, případně je její proudění usměrňováno údolími menších vodních toků (např. Litovický potok, Krutecký potok, Dejvický potok),

generelně od jihu až jihozápadu k severu až severovýchodu k toku Vltavy, která tvoří regionální drenážní bázi. Gradient je závislý na sklonu skalního podloží, převážně je velmi malý.

Hladina podzemní vody kontinuálně přechází tam, kde paleozoické podloží stoupá, do deluviálních sedimentů a do připovrchové zóny rozpukání a rozvolnění hornin paleozoika, vázané na zvětralé partie břidlic.

Lokální zvodnění eolických a deluviálních sedimentů je poměrně bezvýznamné. Deluviální a eolické sedimenty formují prostředí méně vhodné pro vznik souvislého kolektoru podzemní vody, a to z důvodů vyššího obsahu jemnozrnné jílovitoprachové složky. V písčitéjších polohách se místy vyskytují lokální zavěšené zvodně. K dotaci tohoto kolektoru dochází rovněž infiltrací atmosférických srážek přes humózní vrstvy a četné navážky, případně z netěsnících inženýrských sítí (vodovody, kanalizace). Ve strmějších svazích mohou být deluviální sedimenty dotovány i přítoky podzemní vody ze zvětralých partií břidlic, případně z křídových pískovců (především v místech s. svahů s výchozy vhodné uložených křídových hornin).

Povrch terénu břevnovského/střešovického svahu je dominantně dotvořen vrstvou antropogenních uloženin (převažují navážky s hojnými střípky až úlomky opuk bělohorského souvrství, ve kterém se i při jeho mocnosti do 10 m s ohledem na morfologickou pozici nevytváří samostatný kolektor a vždy jen sloužilo jako prostředí infiltrace srážkových vod do podložního kolektoru Ab) velmi nepravidelné mocnosti, ve kterých se mohou vytvářet dílčí *intermitentní zvodně* v závislosti na intenzitě infiltrace dané nejen atmosférickými srážkami ale rovněž také např. kropením zahrad, netěsností inženýrských sítí, svodem vody z dešťových žlabů apod. Málo mocné polohy zahliněných písků výše po svahu představují slabě redeponovaný zvětralinový plášť pískovců korycanských vrstev.

3.3.2 Svrchnokřídová hydrostratigrafická jednotka

Druhou hydrostratigrafickou jednotkou, vyvinutou převážně v západní části zájmové oblasti, je souvrství subhorizontálně uložených svrchnokřídových sedimentů překrývajících podložní ordovické horniny. Ve svrchnokřídových horninách charakteru pískovců se formuje kombinovaný *průlinovo-puklinový kolektor Ab* (označení kolektorů a izolátorů sensu Herčík – Herrmann – Valečka 1999). Pískovce korycanských vrstev tvořící významný kolektor Ab podzemní vody, vykazují primárně průlinovou porozitu, která je sekundárně doplněna o porozitu puklinovou, vázanou na síť řídkých, ale poměrně otevřených puklin.

Podzemní voda vytváří při bázi pískovců korycanských vrstev (v nadloží omezeně propustných podložních jílovců peruckých vrstev) souvislou zvoď. Mocnost zvodnění průlinového kolektoru Ab pískovců korycanských vrstev nepřesahuje při jeho okrajích většinou řádově první decimetry, v infiltračním zázemí tohoto kolektoru – tj. přibližně pod rozvodnicí procházející střešovickým návrším v oblasti „Na Bateriích“ (**obr. 20**) – lze pak mocnost zvodnění odhadovat nejvýše na řádově první jednotky metrů z celkové mocnosti ca 20 m pískovcového kolektoru. Jäger (2008) a Smolař (2008) v rámci posouzení EIA na prodloužení trasy V.A metra ze stanice Dejvická ověřili maximální mocnost zvodnění 4,5 m (vrt HG-4).

Kromě přirozených pramenních vývěrů je podzemní voda z kolektoru pískovců korycanských vrstev historicky drénována do jímacích štol hradního vodovodu. Tento kolektor v historických dobách – s ohledem na svoji geologickou stavbu, morfologickou polohu a přírodní charakter – představoval

nejdůležitější oblast, z níž byl vodou až do počátku třicátých let 20. století gravitačně zásobován Pražský hrad s přílehlými částmi Hradčan a Malé Strany. Podrobněji k tomuto tématu viz **kap. 3.3.4.**

Celkový odtok podzemní vody ze štol hradního vodovodu podle Jägera (2008) a Smolaře (2008) dosahuje 15,7–18,8 l/s. V těchto štolách jsou často ponechána neobežděná místa pouze na křížení s tektonickými liniemi, po kterých přitéká voda. Hlavní směr diskontinuit zastižených v těchto štolách je souhlasný s průběhem střešovického hřbetu, tedy ve směru východ–západ.

Proudění podzemní vody v kolektoru Ab odpovídá jeho úložným poměrům a průběhu stropu podložního *izolátoru* Aa/Ab. Povrch podložních jílovců je při generelním sklonu k východoseverovýchodnímu okraji křídové tabule Bělohorské pahorkatiny mírně zvlněný s tvorbou lokálních depresí a elevací, stejně tak povrch jílovců kolmo na tento směr, tj. konformně s hranou svahu, je rovněž nepravidelný. Proud podzemní vody je však i navzdory existenci těchto dílčích elevací možno pokládat za spojitý s preferenčním pohybem podzemní vody k severoseverovýchodu. Proto nejučinnější jímání podzemní vody mohou zajistit štoly ražené konformně s hranou svahu s počvou sledující průběh podložního izolátoru Aa/Ab, zatímco štoly ražené byť jen několik málo decimetrů nad podložním izolátorem Aa/Ab nebo ražené kolmo na svah vykazují účinnost zachycení podzemních vod podstatně menší, jak ukazují – rovněž historicky doložené – zkušenosti např. z nedalekého Strahovského kláštera na úpatí petřínského svahu s obdobnou geologickou stavbou (např. Křivský 1983).

Pod vrstvičkou žlutého jílu měkké až tuhé konzistence vystupují faciálně značně proměnlivé podložní perucké vrstvy reprezentované písčitymi jílovcí a jílovitými prachovci se zbytky zuhelnatělé rostlinné drtě nebo s uhelným pigmentem v roli izolátoru Aa/Ab s mocností kolísající v závislosti na nerovnostech podložního ordovického podloží mezi 5–10 m (v modelované oblasti v rozmezí 7–9 m). Tyto partie byly též lokálně těženy a průmyslově zpracovávány v nedaleké *Vokovické továrně na chamotové a hliněné zboží L. P. Dietz*, přibližně v místě dnešní tramvajové smyčky Červený vrch (Kovanda et al. 2001). V místním řemeslnickém měřítku je pak využíval např. břevnovský kamnář Gross, který proslul výrobou ozdobných kachlů (Barta 1930).

Tyto sladkovodní sedimenty přeplaveného zvětralinového pláště předkřídového reliéfu tvoří relativně nepropustný bazální izolátor, na jehož povrchu se nadržuje podzemní voda, vyvěrající v místech lokálních depresí v okrajové části střešovické i břevnovské plošiny. Jílovce peruckých vrstev vytvářejí v zájmové oblasti prakticky nepropustný izolátor, oddělující zvedeň křídových hornin od podložních hornin ordovického stáří. Jen v případě nízkých mocností jílovců peruckých vrstev nebo jejich antropogenního porušení může být jejich funkce jako izolátoru omezena a mohlo by tak teoreticky docházet ke vzájemné komunikaci křídové a paleozoické hydrostratigrafické jednotky.

Lokálně je v peruckých vrstvách vyvinuta poloha jemnozrnných zvodněných rozpukaných světlých pískovců (vložený *kolektor* Aa). Tyto pískovce, uzavřené v okolních jílovcích, mají nepravidelný čočkovitý průběh a vydatnost přítoků z nich je díky omezené hydraulické komunikaci s nadložním průlinovo-puklinovým kolektorem Ab pískovců korycanských vrstev značně redukována. S ohledem na nepravidelnou prostorovou distribuci dílčích poloh kolektoru Aa jsou statické hladiny zastižených, subartésky napjatých zvodní různorodé. Přirozená drenáž pískovců kolektoru Aa probíhala v místech jejich odkrytí v zářezu svahu původních neurbanizovaných pozemků.

V roli *počevního izolátoru* celého křídového zvodněného subsystému vystupují horniny ordovického stáří, které nejen v historických dobách postrádaly díky svým filtračním parametrům jakýkoliv praktický vodárenský význam. Tmavá barva, příměs světlé klastické slídy a přítomnost mocného

eluvia ordovických břidlic však makroskopicky zastírá rozhraní mezi podložními tmavošedými ordovickými břidlicemi a nadložními tmavošedými jílovci a prachovci křídly.

V nadložních opukách bělohorského souvrství je vyvinut typický puklinový kolektor s výrazně heterogenními filtračními parametry, celistvé bloky horniny jsou pro vodu v nevětralem stavu prakticky nepropustné, zatímco hojně vyvinutý puklinový systém představuje preferenční transmisní cesty podzemní vody. Podzemní voda může proudit pouze těmito nezajímavými otevřenými puklinami, případně v tektonicky podrcených pásmech.

Na základě chemických rozborů lze velmi dobře rozlišit podzemní vodu křídové zvodně od podzemní vody puklinového kolektoru ordovických břidlic a křemenců. Základním hydrochemickým typem podzemní vody v pískovcích je hydrogenuhlíčitanová voda vápenatá s celkovou mineralizací 500–700 mg/l (konduktivita pod 100 mS/cm). Z kationtů se může výrazněji projevit ještě hořčík (Jäger 2008).

3.3.3 Paleozoická hydrostratigrafická jednotka

Ordovické skalní podloží je v zájmové oblasti reprezentováno letenským, libeňským a dobrotivským souvrstvím. Relativně nejméně propustné jsou měkké, jílovité břidlice (vrstvy libeňské, dobrotivské). Lokální a nevýrazné kolektory podzemní vody se formují v břidlicích s vložkami křemitých pískovců a křemenců (vrstvy letenské). Specifické hydrogeologické vlastnosti vykazují vrstvy skalecké zastoupené převážně křemenci. V závislosti na úložných poměrech umožňují buď pronikání podzemní vody v rozpukaných polohách do větších hloubek anebo naopak působí jako bariéra proudění podzemní vody.

Ordovické horniny jsou uloženy ve směru východoseverovýchod–západojihozápad s úklonem k jihu. Jednotná stavba je porušena příčnými zlomy severozápad–jihovýchodního směru, po kterých docházelo k vertikálním i laterálním pohybům. Tyto příčné struktury, stejně jako struktury nejmladšího severojižního směru, mohou být otevřené a pro vodu propustné.

Obecně je možno konstatovat, že v ordovických horninách jsou jedinými transmisními cestami pro oběh podzemní vody případně otevřené pukliny a tyto horniny v nevětralem stavu jsou pro vodu prakticky nepropustné. Kolektor podzemní vody se v nich může formovat pouze v pásmu připovrchového rozvolnění a rozpukání hornin s proměnlivým podílem průlinové a puklinové porozity. Horniny zde obsahují hustou síť drobných puklin, ve kterých v závislosti na jejich výplni dochází k oběhu podzemní vody a k vytvoření téměř souvislé hladiny podzemní vody. Mocnost zvodněného kolektoru je v ordovických horninách ovlivněna řadou činitelů, zejména stupněm zvětrání, mocností pokryvu i morfologií a mírou antropogenního využití území. Do větších hloubek infiltruje voda jen v rozpukaných, strmě uložených křemencích a v poruchových zónách.

Přestože břidlice zvětrávají na jílové reziduum, které je schopno dokonale utěsnit veškeré transmisní cesty podzemní vody (póry, pukliny), mohou existovat v horninovém masivu i úseky, kde dochází k poměrně aktivnímu oběhu podzemní vody. Důkazem jsou připovrchové partie dobrotivských břidlic zastižené vrtem HG-8. Zóna rozvolnění těchto hornin zasahuje do hloubek až 10 m, ale k hlavnímu proudění vody dochází jen v prvních 5 m od povrchu (Smolař 2008).

Poloha skaleckých křemenců v dobrotivském souvrství v zájmovém území podle Smolaře (2008) nemá na základě výsledků hydrodynamických zkoušek významnou hydraulickou funkci. V detailu je nicméně možno očekávat jejich puklinovou porozitu, odlišnou od ordovických břidlic.

Hladina podzemní vody je v ordovických břidlicích konformní s terénem, hlouběji zaklesnutá zůstává jen v oblasti výskytu křemenců (Smolař 2008).

Z hydrochemického hlediska je podzemní voda této hydrostratigrafické jednotky sírano-vápenatá až sírano-hořečnatá. Signifikantně vysoký obsah síranových iontů (stovky mg/l až jednotky g/l) je způsoben oxidací pyritu, běžně rozptýleného v ordovických horninách. Velké rozdíly v obsahu síranových iontů jsou dány heterogenitou zastoupení pyritu v ordovických břidlicích, kdy písčitéjší polohy mají nižší obsah pyritu než jílovité. **Podzemní vodu lze obecně v této jednotce charakterizovat jako tvrdou až mimořádně tvrdou, vysoce agresivní, s nízkým pH, vysokým obsahem síranů a někdy s obsahem agresivního CO₂.** Vydatnosti vrtů při čerpacích zkouškách nepřekračují desetiny l/s, pokud nejsou břidlice kryty zvodněnými terasovými štěrkopísky, pak mohou dosahovat jednotky l/s (Oberhelová et al. 2017).

3.3.4 Historie jímání podzemních vod v širším zájmovém území

Vzhledem k tomu, že v zájmovém území a jeho širším okolí se v minulosti nacházela významná zdrojová oblast pro zásobování Pražského hradu vodou, je účelné seznámit investora také s historií využití podzemní vody ze zájmové lokality pro případné řešení různých střetů zájmů, které mohou vzniknout při stavbě tunelů a na ně navázaných dalších staveb.

Nejstarší doložené zmínky o využití podzemní vody zájmového území pro Pražský hrad lze datovat již do roku 1437 – toho roku je datován zápis císaře římského Zikmunda Lucemburského hrnčíři z Nového Města pražského Matěji Perníčkoví na 60 kop grošů na střešovickém dvoře strahovského kláštera za „provedení hliněných trub svádějících vodu na Pražský hrad“ (Bárta 2016).

Břevnovský vodovod

Původní jímací objekty na Pražském hradě – 2 m hluboká studánka na jih od bývalé rotundy sv. Václava před dnešní Svatováclavskou kaplí, 66 m hluboká studna na III. hradním nádvoří, která dosud slouží k odvodňování hradních nádvoří, studánka ve sklepení Starého probošství; studánka pod kostelem Všech svatých, studna ve sklepě jižního křídla Starého paláce, 14 m hluboká studna na II. hradním nádvoří, používaná ještě roku 1905 (Borkovský 1933) – přestaly v dobách karolinského rozmachu panovníkova sídla kapacitně postačovat, a proto bylo přistoupeno k výstavbě tzv. **Břevnovského vodovodu**, který do areálu Pražského hradu přiváděl vodu z externích zdrojů.

Kromě pramene Vojtěška, využívaného pro Břevnovský klášter již od doby jeho založení na sklonku prvního tisíciletí (993), byly jako další – pravděpodobně ještě za panování Karla IV. – zřejmě podchyceny přirozené pramenní přelivy z kolektoru Ab vyvěrající v břevnovském svahu mezi klášterem sv. Markéty a Strahovským klášterem při zřízení Břevnovského vodovodu, který jímá podzemní vodu z oblasti bývalých usedlostí Tejnky, Kajetánky a Malovanky z několika štol ústících přibližně na úrovni dnešní Bělohorské třídy. Podzemní voda byla ze štol odváděna do akumulací nádrže pod Kajetánkou, kde k ní byla přimíchávána povrchová voda z Brusnice.

Na počátku každé větve hradního vodovodu se nacházela soustava jímacích štol či pramenních jímek, které sváděly vodu do rybníků, jež sloužily jako rezervoáry, jejichž funkci v případě Břevnovského vodovodu plnila soustava rybníků na Kajetánce. Buchtík (1973) uvádí, že základem pravděpodobně prvního hradního vodovodu byl jímka podchycený pramen Kajetánka, který byl

postupně přebudován v pramenní rybníček, do něhož byla později zaústěna Brusnice. Ještě v roce 1863 byla zjištěna vydatnost pramene Kajetánka ve výši 0,5 l/s.

Jaroslav Bulíček ve svém článku v časopise Voda (1950) v souvislosti se starými pražskými vodovody zmiňuje přímo břevnovskou Závěrku, když vytýká staršímu mapování pražských pramenů, provedenému Františkem Podvolecným (1934), skutečnost, že nevzalo v potaz „v Břevnově na Závěrce 12 pramenů a 1 v zahradě v Tejně a vývěry v rybníku Na Kajetánce, z nichž ze všech býval zásobován vodovod zvaný Königsmanka pro Hradčany a Malou Stranu, zrušený r. 1904“.

Tímto sdělením však Bulíček (1950) nepřináší žádnou novou informaci, neboť pouze opakuje údaje publikované již dříve Pavlanským (1928). Ten konstatuje, že „vodovod pramenný, zvaný Königsmanka, na pitnou vodu pro zásobení Hradčan a Malé Strany, jímá vodu v Břevnově na Závěrce – a sice z 1 pramene z vinice Königsmanky, ze 7 okolních pramenů, ze 4 pramenů východně od této zahrady založených a konečně z 1 pramene v zahradě v Tejně“. Jímaná podzemní voda byla vedena přibližně z výškové úrovně dnešní Bělohorské třídy příčnou strouhou do dnešní Radimovy (dříve Boleslavovy) ulice, kde byla v pozdějších dobách připojena větev přivádějící vodu z rybníka na Kajetánce. Bývalou Boleslavovou ulicí byla voda vedena na Hradčany a na Malou Stranu – a sice do 1 stojanu, do 2 kašen na Pohořelci a do 2 kašen v dnešní Nerudově ulici jakož i do některých veřejných budov na Hradčanech.

Po uvedení Královského vodovodu do provozu byl starší Břevnovský vodovod dán k dispozici hraběti Šlikovi pro jeho palác (dnešní čp. 111) na Pohořelci (Streit 1960). Třebaže v roce 1863 došlo k vyčištění rybníka na Kajetánce, tak v roce 1880 následkem zhoršení jakosti vody přiváděné z Kajetánky fungovala již pouze vodovodní větev Königsmanka a její vydatnost nepřesahovala 18 m³ denně, tj. ca 0,2 l/s. Kvalita jímané vody se zhoršovala a vydatnost klesala v souvislosti se stavebním ruchem v Břevnově po zbourání barokního opevnění v poslední dekádě 19. století, až byl v důsledku toho i vodovod Königsmanka roku 1904 zrušen (Jásek 1983). V letech 1906–1908 pak došlo ke zrušení všech příslušných služebností i práva čerpat a vést vodu z Kajetánky a Königsmanky (Čurda 2017).

Navzdory ukončení funkce Břevnovského vodovodu počátkem 20. století vyzdvihuje přibližně ve stejné době význam břevnovského území pro vodovodní zásobování Ruth (1903), když dobovým jazykem výslovně zmiňuje, že „Celá krajina tato, ač vysoko položená, má všude hojnost dobré pitné vody; tak i »v uličkách« na stráních k Břevnovu na mnohých místech vyvěrají prudké pramenky, jež se rozlévají po cestách. I vyskytl se též návrh, zde v Podbělohorsku hledati a sváděti pitné vody pro Prahu.“ Na tento fakt (totiž hledat „v okolí Tejnky, Hvězdy či Břevnova čistou pitnou vodu pro Prahu“) se odvolává ve svých vizích budoucnosti hostince Na Marjance, Tejnky jakož i celého Břevnova též Filip (1903).

Z Břevnova byla voda vedena dřevěným potrubím pravděpodobně k tzv. druhé Strahovské bráně (přibližně v úrovni dnešního čp. 179 v Loretánské ulici na Hradčanech). Odtud vedlo vodovodní potrubí uličkou podél severní strany paláce Ferdinanda Popela z Lobkovic (ten byl po roce 1689 přestavěn pro Michala hraběte Thuna-Hohensteina jako tzv. Toskánský palác, ulička sama připadla nařízením Obce hradčanské z roku 1660 Martinicům s výhradou volného přístupu k vodovodu; Lorenc – Tříška 1980) a na Hradčanském náměstí napájelo kašnu a rybníček, obnovený z požárních důvodů roku 1617 (podle jiných údajů byl tento rybníček poblíž Arcibiskupského paláce zřízen až roku 1642 a sloužil též pro máčení dřevěných vodovodních rour před jejich upotřebením; Ederer – Uxa 2004). Vodovod byl zakončen až v místech dnešní tzv. Orlí kašny na III. nádvoří Pražského

hradu před vstupem do Starého královského paláce. Vyloučit nelze ani trasování vodovodu podél Brusnice k Šárecké (Špitálské) bráně a odtud přes tržiště a hradní příkopy do Hradu (Jásek a kol. 1997). Každopádně veškerá voda byla vedena pouze do kašny, která byla původně jen dřevěná a roku 1373 byla ozdobena jezdeckou sochou sv. Jiří, vodovod neměl žádných odboček – a to ani do královského paláce.

Obě uvedené varianty byly hydraulicky schůdné, neboť výškový rozdíl mezi rezervoárem na Kajetánce a výtokem z kašny činil 20 m. Vana malé barokní Orlí kašny byla původně jako nádrž na ryby součástí Carattiho kašny z roku 1662, která od roku 1928 však nově stojí na náměstí U sv. Jiří a která byla původně ozdobena gotickou bronzovou sochou sv. Jiří bojujícího s drakem, jejíž replika od 13. června 1967 stojí v nové nádrži navržené Josipem Plečnikem.

Dnes v nádrži Orlí kašny stojí kovový toskánský sloup zakončený zlacenou měděnou koulí s olověnými tryskami podle návrhu Josipa Plečnika (Rybařík 2014). Kašna měla přepad, kterým byla nadbytečná voda odváděna do malostranských domů, přičemž povolení k odběru tzv. přepadové vody získal jako první od krále Vladislava II. královský prokurátor Albrecht Rendl z Oušavy pro svůj dům ve Sněmovní ulici na Malé Straně. Odpadní voda bývala rovněž jímána a zadržována stavidlem a byly jí čas od času proplachovány kanalizační stoky, které ústily buď do svahů pod domy (Úvoz) nebo do Vltavy či do městského příkopu.

Podle výkladu Ederera – Uxy (2004) vycházejícího ze zápisu z roku 1577, který je uložen v Archivu hlavního města Prahy, bylo uděleno povolení ke zřízení paralelního trubního vedení vody z Břevnova přes Pohořelec a Úvoz až ke Strahovské bráně měšťanu Menšího Města pražského Baltazaru Heinrichovi pro jeho dům a pro sousední domy v horní části dnešní Nerudovy ulice. Tento vodovod v roce 1584 odkoupil císař Rudolf II. a daroval jej obyvatelům Hradčan. Ti se pak o tento vodovod starali a svým jménem uzavírali smlouvy (roku 1600 a následně 1606) s benediktinským opatstvím v Břevnově o možnosti jímání podzemních vod z jeho pozemků. Hradčanský obecní vodovod zprvu zásoboval pouze veřejné kašny na Pohořelci, v Loretánské ulici a v Úvoze. K poškození tohoto vodovodu došlo pravděpodobně během třicetileté války, neboť císařské nařízení ze dne 3. dubna 1638 vypovídá o jeho znovuzřízení. S obnovou vodovodu byla postavena nová kašna u domu U zlaté koule (zbořen spolu s tzv. Kumerovským domem při úpravách prostranství před Černínským palácem a nahrazen dnes již rovněž strženou kaplí sv. Matouše) a později z tohoto zdroje získávaly vodu paláce Černínský a Šlikovský jakož i okolní měšťanské domy.

Jediným z dosud prokazatelně dokumentovaných jímacích objektů Břevnovského vodovodu zůstává štola pod Bělohorskou ulicí pod domem břevnovského čp. 182 (Bělohorská 171; od září 1991 sídlo Anglo-německé obchodní akademie, SOU obchodní, s.r.o.) v délce 27,8 m s ústím na kótě 326,5 m n. m., která byla popsána Šimkem (1959b) a kterou rovněž zmiňuje Řepka (1985). Na druhou stranu, když byla na objednávku Kanceláře prezidenta republiky zpracovávána studie celé infiltrační oblasti potoka Brusnice pro posílení toku Brusnice Jelením příkopem Pražského hradu, tak tato štola nebyla nalezena (Vojtř 1986). Podle zákresu v mapě dokumentačních bodů k inženýrskogeologické mapě 1 : 5 000 by její ústí o souřadnicích X = 1 042 889, Y = 747 471 mělo ležet přímo pod Bělohorskou třídou na pozemku parc. č. 3866 při ústí Markétské ulice (parc. č. 19 v k. ú. Břevnov).

Štola měla být ražena k rohu školy čp. 182 v hloubce 6–7 m v navážkách a dále pak měla pokračovat v opukových sutích (Řepka 1985). Případný výtok z této štoly by ale mohl být ztotožněn s pramenem U Markéty uváděným Vegerem (1993). Směrově i lokalizací by tomuto vývěru podzemní vody mohl v pojetí Závorové a Holasové (2007) odpovídat i „původní pivovarský pramen ze severních křídových

svahů svedený potrubím pod Patočkovou ulicí do rybníka“. Rovněž pramen (resp. „prostá kamenná studna po okraj plná čiré vody“; Krchov 2006) nacházející se v suterénních prostorách domu čp. 195/147 na nároží Bělohorské třídy a ulice U kaštanu by mohl mít souvislost s některým starým jímacím zařízením (štolou?).

Pro tuto tezi by mohly svědčit i údaje uváděné Hrubešem – Hrubešovou (1999), kteří v souvislosti s rekonstrukcí budovy hostince U kaštanu hovoří o tom, že „...se však objevily další závady, kupříkladu v suterénu byla objevena stará vodotěsná štola z pálených cihel, dosud funkční, a proto musela být vyčištěna, opravena a nově uzavřena...“, i když se vzhledem k popisu štoly spíše jednalo o kanalizační štolu zmiňovanou již Zárubou (1948). Obdobnou indicií by mohl být např. i vodopád zřízený ve vestibulu budovy na Bělohorské třídě čp. 269/19 nebo vývěr vody na pozemku parc. č. 2171/1 v ulici Fastrova v místě bývalého hostince U Štraubů. Pozůstatkem po jímání podzemní vody Břevnovským vodovodem by mohla třeba být i zdevastovaná pramenní zídka na parc. č. 3709/1 při patě svahu v Šultysově ulici nad polyfunkčním objektem čp. 1878/228 pod bývalým břevnovským hřištěm zvaným Úl (parc. č. 993).

Další jímací objekty tohoto starého vodovodního systému by mohly indikovat Vegerem (1993) uváděné prameny Kajetánka a Petynka. O prameni tohoto jména s vydatností kolem 1 l/s se v souvislosti s projekční přípravou výstavby sportovního areálu v aplanované cihelně Na Panenské zmiňuje Hošek (1969); pramen s názvem „Petynka“ uvádí též generálmajor Ing. Eduard Ureš v roce 1987 (Fuksa – Mlejnská – Matoušová – Eckhardt 2015), obdobně i Dvořák (2004a, 2004b). Kovařík (1998) uvádí bez bližšího popisu v Radimově ulici i pramen Radimka a stejnou informaci od něj přebírají Burachovič – Wieser (2001); nelze ovšem vyloučit, že jde pouze o jeden z Vegerem (1993) popisovaných pramenů Kajetánka či Petynka.

Možná i benediktinský pivovar v usedlosti Závěrka mohl využívat podzemní vody vytékající z některé jímací štoly, stejnou možnost nelze vyloučit ani u bývalé břevnovské sodovkárny Jaroslava Vika v Liborově ulici čp. 330/24 (zmiňuje jej např. Beránek 2015). Lze předpokládat, že i mlékařství Jana Dobra na Bělohorské třídě čp. 184/167 mohlo při zajištění potřebného množství vody jednat obdobně. Také v bývalé Boleslavově (dnešní Radimově) ulici svého času pracovala stáčírna limonád a sodovkárna dr. Zátky, jak uvádí ve svých vzpomínkách Mlada (2006). Vzhledem ke své lokalizaci rovněž mohla využívat vývěrů podzemní vody při bázi kolektoru pískovců korycanských vrstev.

Nelze vyloučit, že pramen v zahradě bývalé usedlosti Kajetánka, nově upravený začátkem druhé dekady 21. století při výstavbě Rezidence Kajetánka na východní straně usedlosti, může být projevem těchto přírodních vývěrů (jde pravděpodobně o pramen Kajetánka, uváděný Vegerem 1993). Protože v povodí Brusnice nebyly nalezeny dostatečné vodní zdroje a kvůli stavbě Strahovského tunelu musela být Brusnice u Schleiferky svedena do kanalizace, byla navržena pouze obnova jímacích historických štol tzv. Královského vodovodu jímajícího podzemní vodu v oblasti Střešovic, Veleslavína a Liboce.

Zámecký vodovod

S nástupem Habsburků na český trůn po roce 1526 se prudce zvýšila spotřeba vody na Pražském hradě, a tak dochází k hledání dalších zdrojů vody nad rámec těch, umístěných přímo v opevněném areálu Pražského hradu. V rozmezí let 1540–1573 za panování Ferdinanda I. proběhla výstavba tzv. **Zámeckého vodovodu**. Za vlády Rudolfa II. bylo již v provozu 7 jímacích štol, které jímaly podzemní

vodu infiltrovanou právě na ploše dnešního zájmového území. Prameny byly objeveny na pozemcích Strahovského kláštera na východním konci severní strany střešovického návrší, v „místech, kde byla vinice Andělka, později přeměněná v klášterní dvorec“ (Streit 1960).

Na jaře roku 1540 začal studnařský mistr Jiří Winkler kopat ve vsi Střešovice štolu, kterou se mu podařilo zachytit vydatný pramen. Štola měla délku 13 loktů a její vyhloubení trvalo pět týdnů. Štola byla vyražena v pískovcovém masivu, avšak nebyla vystrojena ani jinak upravena, takže došlo k jejímu závalu a v roce 1548 musela být znovu vyzmáhána a při té příležitosti byla prodloužena až na délku 62 loket (1 loket = 0,6 m). Rovněž technické zajištění štoly doznalo pokroku, když dvě třetiny délky štoly byly vyzděny a na její počvě byl vyhlouben kanálek, kterým byla jímaná podzemní voda odváděna do akumulární jímky. Odtud byla voda vedena hliněnými troubami do hlavního řadu, který vedl níže pod ústím štol při úpatí severního střešovického svahu přes tzv. Černínské pole do Královské zahrady.

Královský vodovod

Ještě za panování Ferdinanda I. byly hledány další prameny, tentokrát na území dnešního Veleslavína a Liboce, kde byla údajně v roce 1552 vyražena štola Královka s tak značnou vydatností, že od ní musel být veden samostatný odtok k Markétskému (Libockému) rybníku, založenému císařem Rudolfem II. na lukách Břevnovského kláštera u Liboce, odkud vedl otevřený vodovodní příkop podél cesty z Liboce do Veleslavína a dále pak až do palácových zahrad (tzv. *Užitkový hradní vodovod*).

Průzkum sedmi štol tzv. **Královského vodovodu** o celkové délce 655 m (z toho v rozmezí let 1540–1572 bylo vyraženo pět štol o celkové metrāži 298 loket), který měl výtok na II. hradním nádvoří v místech dnešní Kohlovy (Leopoldovy) kašny, prováděl v roce 1988 Speleologický klub Praha formou subdodávky pro zakázku VÚV v Praze, který řešil na objednávku Civilní obrany otázku náhradního zásobování obyvatel Prahy vodou v případě mimořádné události (Veger 1993). Protože úkol byl Výzkumným ústavem vodohospodářským veden v režimu utajení, měla i závěrečná zpráva příslušný stupeň utajení. Nejednalo o náhradní zdroj vody pro Pražský hrad, ale o možný lokální zdroj pro místní obyvatele v okolí štol. Pražský hrad nebyl na štoly již od doby před II. světovou válkou připojen a namísto toho odebíral vodu z veřejné vodovodní sítě. Zbytky tohoto renesančního vodovodu byly nalezeny např. i při relativně nedávné rekonstrukci okolí Lumbeho vily na reprezentační sídlo hlavy českého státu.

Celková délka potrubí Královského vodovodu dosáhla 4,73 km. Potrubí bylo z pálené hlíny, mělo průměr 2 palce (5 cm) a tloušťku stěny 0,33 palce (0,75 cm). Jednotlivé hladké trubky byly dlouhé pět stop (1,48 m) a byly spojovány tzv. přesuvkou, zatěsněnou konopím a tmelem z dehtu, prachu pálených cihel, hašeného vápna a dalších příměsí. Potrubí bylo uloženo v hloubce pěti až šesti stop (1,5–1,8 m) a bylo zatěsněno dusaným jilem (Buchčík 1973), čímž mělo být nepropustností jílu dosaženo patřičné těsnosti celého systému a plastičnost jílu měla současně zajišťovat ochranu před poškozením potrubí případnými drobnými svahovými pohyby. Takto konstruovaný vodovod vyhovoval tlaku 8½ sáhů, tj. 15 m vodního sloupce (Streit 1960).

V roce 1992 byla navržena obnova jímacích historických štol Královského vodovodu, jejich připojení na provozovaný užitkový vodovod a tím jeho posílení, které by umožnilo vrátit do koryta Brusnice v areálu Jeleního příkopu (např. Malá 1999, Gebauer 1999 aj.) dostatek vody, jinak bez užitku

odtékající do kanalizace. Navíc bylo navrženo i po novém přemostění Chotkovy silnice lávkou z dílny architekta Bořka Šípka (Horák – Veverka 1999) přivést užitkovou vodu na závlahu Letenských sadů.

Z historických štol Královského vodovodu (**obr. 21**), jak byl postupně z vyšší vůle panovnické postaven a doplňován až do zakreslení na dochovaný plán císařského geometra Antonína Leopolda Františka Klose z roku 1723 (Vávrová 1997), se zachovaly štola I., štola II., štola III., štola IV., štola V. a štola VI. K nim přibyla roku 1930 ještě štola Světluška mimo zájmové území v oboře Hvězda (Lukeš 2001):

- **Štola I. – Královka** (pozor na záměnu s Královkou – Königsmankou – břevnovskou) – vchod do štoly dlouhé 97 m leží asi 4 m za plotem zahrady mateřské školky v ulici Sbívavá II (čp. 360/2 v k. ú. Liboc). Šířka štoly kolísá od 0,6 do 1,1 m při výšce mezi 1,7 a 2,3 m. Za vchodem do štoly se nachází jímka zakrytá železným krytem, v níž lze měřit průtok a odbírat vzorky vody. Ve štolě jsou dvě hráze ca 1 m vysoké, první hráz s dolní výpustí a přepadem je ve staničení ca 30 m od vchodu, druhá hráz ve staničení ca 50 m. Za vstupními železnými dvířky vsazenými do cihlového portálu je štola vyzděná z cihel, s postupující vzdáleností od vchodu převládá vyzdívká opukovými kvádríky, dno je vyloženo cihlami. K výtoku vody ze štoly dochází na kótě 325,5 m n. m. Štola je hydraulicky propojena s veřejnou studnou na ulici V domcích, do níž je část výtoku ze štoly svedena, zbylý přetok s vydatností kolem 5 l/s je odveden do Libockého rybníka.
- **Štola II. – U Klapků (U Lavků)** – vchod do štoly 21 m dlouhé je z šachtice za ohradní zdí pozemku v ulici Pod novým lesem (čp. 84/32 v k. ú. Veleslavín) na kótě 318,60 m n. m. Přetok s vydatností kolem 1,5 l/s odtéká do kanalizace.
- **Štola III. – U Bahenského** – vchod do dvoupatrové štoly je za vozovkou ve svahu v ulici Pod novým lesem proti čp. 170/74 v k. ú. Veleslavín na kótě 314,52 m n. m. Délka horního patra je necelých 133 m a štola tak zasahuje pod severozápadní cíp ÚVN. Ve staničení 32 m je vyražena odbočka délky 2,5 m, na konci štoly je kolmá rozrážka o délce 10 m. Šířka štoly je 1,2 m při konstantní výšce 1,8 m. Spodní patro se nepodařilo vyčerpát, jeho předpokládaná délka je 20 m. Vstup je zajištěn ocelovými dveřmi a jímka pro měření vydatnosti či odběr vzorků vody je ca 10 m za vchodem, voda je do této jímky přiváděna žlábkem v počvě štoly, která je v celé délce i profilu vyzděna cihlami. Po opravě odtékalo ca 5 l/s vodovodním potrubím Js 150 mm.
- **Štola IV. – Pod Strnadem** (tzv. Teplá) - celková délka štoly, jejíž masivní portál s železnými dveřmi leží na rozhraní pozemků parc. č. 522/1 a 532/1 za domem čp. 420/29 (vše v k. ú. Veleslavín) v ulici Pod novým lesem na kótě 314,80 m n. m., je 59 m; do štoly s vydatností přes 4 l/s prosakovala teplá voda z prádely ÚVN.
- **Štola V. – Proti Strnadovi** (tzv. Srpeček) – vchod do štoly dlouhé 20 m, zajištěný ocelovými dveřmi, je umístěn přibližně proti čp. 137/52 za krajním řadovým domem čp. 417/27 (vše v k. ú. Veleslavín) v ulici Pod novým lesem na kótě 314,45 m n. m. Provedení i vstup do štoly V. s vydatností do 1 l/s jsou stejné jako u štoly IV. Za vchodem je cihlami vyzděná vstupní komora, uprostřed ní je jímka obehnaná zábradlím, kam je voda přiváděna svodným potrubím ze štoly. Šířka štoly kolísá mezi 0,8 a 1 m, výška je v celé délce 1,8 m. Strop je v celé délce štoly vyzděn cihlami a boky štoly jsou z kamenného zdiva.
- **Štola VI. – Před Bůzkem** – štola o údajné délce 59 m, z níž většina je profilem 180 × 80 cm vysekána v pískovci, je nepřímou indikována prostřednictvím šachtice s dešťuvzdorným litinovým poklopem v rohu zahrady areálu sauny na křižovatce ulic Na Petřinách a Pod novým lesem (pozemek parc. č. 2101 v k. ú. Střešovice; stavba zprovozněná 17. listopadu 1975 představovala svého času nejmodernější zařízení tohoto druhu v celé Praze), v níž vytéká z ústí potrubí voda

a vtéká do dalšího odtokového potrubí. Kóta výtoku ze štoly je 314,45 m n. m. V roce 2000 bylo toto potrubí připojeno na užitkový vodovodní řad potrubím DN 300. Přetok s vydatností okolo 2,2 l/s byl využíván pro saunu, ale kvůli zanášení bazénu (který je nástupcem původního pramenního rybníčku zakresleného např. na mapě stabilního katastru z roku 1842; Lašťovka – Lašťovková 2005) jemnou písčitou frakcí bylo toto využívání podzemní vody ukončeno. Původní portál štoly byl údajně zavalen v létě roku 1940 sesuvem boku vozovky dnešní ulice Na Petřinách. Vstup tvoří cihlový portál se železnými dveřmi, za nimiž je krátké schodiště, které vede do komory vyzděné cihlami.

- **Štola VII. – Zasypaná** (tzv. *U filtrační stanice*) – štola s délkou odhadovanou na 60–80 m mezi ulicemi Střešovicko a Nad hradním vodojemem, ca 370 m východně od štoly Nad chaloupkou v k. ú. Střešovice [Vávrová (1997) však udává pozemek parc. č. 147, na němž stojí pension Chaloupka]; výkopem sondy byl zastižen vstupní portál štoly, která byla znehodnocena, když byla do štoly položena uliční trubní kanalizace na počátku II. světové války.



Obr. 21 Schématický zakres průběhu historických štol, resp. Královského vodovodu jako celku (Dragoun 2020).

Ve stejné hydrogeologické pozici jako výše uvedené štoly Královského vodovodu leží štola *Nad chaloupkou* (též označovaná *V chaloupce*) – vstup do této štoly leží na pozemku parc. č. 2102/4 v k. ú. Střešovice. Ve vyzděném výklenku je osazena ruční pumpa a výtok ze štoly o vydatnosti kolem 5 l/s sloužil jako zdroj vody pro kolonii domků při východním úpatí PP Střešovické skály (Flegl – Fleglová 1979).

Pozůstatkem přirozeného odvodnění kolektoru Ab, které nebylo v historii podchyceno pro vodárenské využití, je např. dnešní pramen *Veleslavínka* (případně další drobné, jen amatérsky upravené vývěry jako např. Pod Klapkárnou na stezce Pod Petřinami atp.) s nadmořskou výškou vývěru přibližně 329 m v lese nad Libockým rybníkem na pozemku parc. č. 343/1 v k. ú. Veleslavín pod vedením vysokého napětí 110 kV. Pramen je primitivně podchycený plastovou trubkou dlouhou ca 1 m zabetonovanou do skalního masivu pískovců korycanských vrstev. Vyvěrající voda volně odtéká po spádnicí do Libockého rybníka.

Užitkový hradní vodovod

Protože spotřeba vody na Pražském hradě stoupala od okamžiku zřízení Královské zahrady a Bažantnice, vedlo to v letech 1583–1585 k založení dalšího vodohospodářského díla, za jehož

spoluautora je dle nepotvrzených podkladů (např. Jarolímková 2005) považován dánský astronom na dvoře císaře Rudolfa II. Tycho de Brahe – vznikl tzv. **Užitkový hradní vodovod**.

V roce 1594 koupil Rudolf II. vinice na západ od Prašného mostu spolu s horním Jelením příkopem a Štěpnici a tyto pozemky nechává obehnat zdí s bránou na západní straně. V roce 1604 rozhoduje o zřízení vlastní bažantnice (sine 1998) a posléze i koroptví komory v severní části a zakládá také Císařský rybník. Později byla bažantnice přeměněna na užitkovou zahradu, koroptví komora při severní ohradní zdi sloužila až do roku 1938 jako vojenský sklad a pozůstatek Císařského rybníka leží v dnešních tzv. produkčních zahradách Pražského hradu na pozemku parc. č. 436 v k. ú. Hradčany.

Zdrojem Užitkového hradního vodovodu byla soustava původně sedmi rybníků na správním území dnešního města Hostivice, z nichž nejvýše ležel rybník Nekejcov, pod ním Kala, Břevský a nejnižší rybník Litovický. Dodnes jsou zachovány ornitologicky cenné pramenné rybníky Bašta, Břevský, Kala a Litovický s botanicky významnými mokřady v místě zrušených rybníků Nekejcov a Chobot, ze kterých vytéká Litovický potok.

Litovický rybník neměl žádný samostatný přítok a byl napájen výhradně srážkovou vodou. Stálá úroveň hladiny v něm byla udržována přítokem z ostatních rybníků, z nichž Břevský měl nejvydatnější přítok z plošných vývěrů na okolních lukách. Litovický rybník tedy fungoval jako rezervoár, z něhož bylo možno vodu setrvale odebírat v konstantním množství. Z něj byla voda zprvu vedena původním korytem Litovického potoka, do něhož pod Hostivicemi zprava ústí Zličinský potok, do kterého od Sobína přitékal ještě Sobínský potok, na němž byly založeny rybníky Čekalský (Čížkův) a Pátkův, přičemž na jeho dolním toku nad Peterkovým mlýnem byl v roce 1607 ještě zřízen rybník Zvonický, resp. Peterkův (Ptáček 1915).

Litovický potok pod libockým kostelem sv. Šebestiána přitékal do zřízeného oddělovače vody pro zásobování Pražského hradu a dále pokračoval jako Šárecký potok do Šárky. Z oddělovače vody byl tzv. Královskou strouhou („Cysarsky Potok“ na mapě stabilního katastru z roku 1842; Lašťovka – Lašťovková 2005) plněn jako rezervoár rybník zvaný Markétský (později Libocký rybník, založen roku 1585).

Od počátku funkčního období břevnovského opata Wolfganga Selendera z Prošovic (tj. od roku 1602) až do roku 1872, se vlekl spor mezi Břevnovským klášteřem a Pražským hradem o vlastnictví této Libockého rybníku, který po mnoha stoletích skončil smířčím verdiktem, že voda patří Hradu, zatímco ryby klášteři (Holub 1890). Z tohoto rybníka byla přes česla vedena voda v otevřeném příkopu po vrstevnici. Společný obrázek obou toků – umělého přivaděče i přírodního koryta Šáreckého potoka – je zachycen např. na fotografii číslo 130 v publikaci Zavřela (2005).

Příkop vedl z Liboce podél úpatí severního střešovického svahu do Veleslavína (odtud pocházejí názvy zdejších ulic *Na hradním vodovodu* a *Nad hradním potokem* a paradoxně i vysoko ve svahu ležící ulice *Potoční*), za nímž odbočil k východu. Prošel Střešovicemi, na křižovatce veleslavínské a horoměřické cesty překročil Královský vodovod a pokračoval dnešní Střešovickou ulicí až do zásobního rybníku v Bažantnici. V tomto rybníku vodovod končil a dále byla voda vedena opět jen dřevěným potrubím, které vedlo podél zadní strany stavebního dvora, přes cestu k Prašnému mostu a dále podél Lvího dvora do Královské zahrady.

Z vodovodu byla vyvedena celá řada odboček dřevěnými troubami, vloženými do břehu přírodního příkopu, a nelze vyloučit, že takto byla užitkovou vodou ještě v období před druhou světovou válkou zásobována i velká veleslavínská zahradnictví (Kulíšek, Sova, Holeček, Strnad) v oblasti

plánovaného západního portálu projektovaných tunelů. Druhý konec takovéto roury vždy ústil do usazovací jímky, z níž pak byl veden příslušný trubní řad.

Do vlastního Hradu tak rozváděly vodu fontánový řad, kapucínský řad, hlavní zahradní řad, řad pro stavební dvůr, řad pro rybník, Černínský řad a řady Šlikovský a Kinský:

- Fontánový řad napájel fontánu na malém hradním nádvoří a ústil do dřevěné kašny na druhém hradním nádvoří. V roce 1741 byl prodloužen na náměstí U sv. Jiří.
- Kapucínský řad byl zřízený roku 1600 pro zásobování kláštera kapucínů. Stará trasa byla prodloužena k Šárecké bráně a na Hradčanské náměstí před arcibiskupovu rezidenci.
- Hlavní zahradní řad přiváděl užitkovou vodu do Bažantnice a do Královské zahrady až k letohrádku. V roce 1741 byl přeložen přes prostranství stavebního dvora do Královské zahrady až k velkému vodotrysku, kde se dělil na tři nové řady.
- Řad pro stavební dvůr přiváděl užitkovou vodu pro stavební dvůr, kdy od vchodu do Bažantnice z Jeleního příkopu směřoval přímo do stavebního dvora.
- Řad pro rybník přiváděl užitkovou vodu, kdy u vchodu do Bažantnice byl z tzv. Černínského pole veden přímo do rybníka.
- Černínský řad vedl užitkovou vodu ze strouhy hradebním příkopem. Procházel hradby u bastionu sv. Františka Borgii (X) a směřoval přímo do Černínského paláce, uprostřed jehož většího nádvoří byla postavena kašna. Vybudování tohoto řadu si vymohl Humprecht Jan hrabě Černín, nejvyšší místodržitel.
- Řady Šlikovský a Kinský byly při výstavbě barokních hradeb zrušeny. V souvislosti s výstavbou barokního opevnění musel být roku 1643 příkop před hradbami u bastionu Hvězda (XI) přerušen a na pozemku dnešního parc. č. 902/1 (k. ú. Střešovice; dnes park u tenisových kurtů TJ Tatran Střešovice) byla strouha ukončena u starého dvoukomorového zemního vodojemu (půdorys 2,5 × 5,9 m), přičemž jedna komora byla plněna užitkovou, druhá pitnou vodou. Z vodovodních řadů vycházejících z vodojemu na Pražský hrad procházely dva pevnostními hradbami u bastionu Panny Marie (XII), ostatní byly vedeny bastionem Hvězda (XI).

V letech 1924–1926 byl mimo jiné i kvůli zvýšení tlaku v potrubí zřízen na pozemku dnešního parc. č. 876/1 (k. ú. Střešovice) nový vodojem na užitkovou vodu a do něj vedena voda z Libockého rybníka nově položeným litinovým potrubím o průměru 300 mm. Podle tohoto vodojemu je pojmenována ulice *Nad hradním vodojemem*, v níž jako střešovické čp. 642/14 stojí vila stavebního podnikatele Ing. Dr. Františka Müllera navržená v roce 1928 architektem Adolfem Loosem. Souběžně bylo pokládáno i potrubí o průměru 150 mm pro vedení pitné vody ze štol, avšak bylo přivedeno pouze do přívodní šachty u vodojemu na vodu užitkovou a dále směrem k Pražskému hradu nepokračovalo. S vodojemem Vyhličky (Sibeliova ulice) ani s vodojemem Andělky (ulice Nad octárnou) propojeno nebylo, tato novodobá vodárenská zařízení z poloviny 20. let minulého století byla vždy napojena již jen na čerpací stanici, resp. vodojemy Bruska (Polák – Broncová – Čížek – Havlice 2015).

Dekret zemského gubernia ze dne 11. prosince 1793 rozhodnul, že Malá Strana bude získávat vodu z Užitkového hradního vodovodu odbočkou u Arcibiskupského paláce do kašny v dnešní Nerudově ulici proti čp. 171/48 (tzv. Knappovský dům v k. ú. Hradčany) a odtud do kašny proti kajetánskému kostelu a dále pak na horní konec Malostranského (tj. tehdy Vlašského) náměstí. Malostranská obec

měla jako protislužbu na sebe vzít starost o zavedení vody z malostranské vltavské vodárny do nově zřízené pošty v čp. 388, kde sídlila též četnická kasárna.

V roce 1858 iniciovala Malostranská obec zkoumání štol a pramenních vývěřů, neboť vody stále ubývalo. Po této akci údajně stoupla vydatnost hradního vodovodu osmkrát. V té souvislosti jsou uváděna místa, kam voda směřovala a kdo patřil mezi její hlavní odběratele. Jmenována je velká kašna na Pohořelci, veřejná kašna v Úvoze, kašna pro kasárny v Černínském paláci, veřejná kašna na Loretánském náměstí naproti čp. 102/8, kašna v donucovací pracovně (Trautmannsdorfský palác, čp. 180/6 v Loretánské ulici), kašna v čp. 177/9 v Loretánské ulici (Hrzánský palác), kašny v čp. 171/48 a 219/32 (lékárna U zlatého lva) v dnešní Nerudově ulici, kašna v kajetánském klášteři čp. 192/27 v Thunovské ulici, kašna proti čp. 258/13 (Liechtenštejnský palác) na Malostranském (Vlašském) náměstí, kašny v čp. 175/5 a 176/6 (dnešní Poslanecká sněmovna Parlamentu České republiky) ve Sněmovní ulici a kašna v čp. 16/1 na Valdštejnském náměstí.

Všechny výše uvedené historické vodovody byly lokalizovány na základě racionální geologické úvahy beroucí v potaz skutečnost, že křídové sedimenty v Praze a jejím západním okolí spočívají diskordantně na podložním spodním paleozoiku a proterozoiku s mírným úklonem do 5° k severovýchodu. To má za následek, že v místech, kde jsou křídové sedimenty proříznuté údolními potoky jako např. Motolský potok, Brusnice či Veleslavínský (Dejvický) potok, vystupují na severních svazích při bázi průlinovo-puklinového kolektoru pískovců perucko-korycanského souvrství vrstevní prameny (Vidoule, břevnovský svah, Střešovice; Čurda 2007), které byly historickými jímacími zařízeními podchyceny pro gravitační zásobování Pražského hradu s přílehlými částmi Hradčan a Malé Strany.

3.3.5 Koncepční hydrogeologický model

Koncepční hydrogeologický model má za cíl vytvořit předpoklady pro řešení hydrogeologických otázek souvisejících se stavbou a následným provozem železničních tunelů. V aktuální fázi jsou shromážděna podkladová data, která umožní koncepčně pochopit stavbou neovlivněné hydrogeologické procesy v zájmovém prostoru a také potenciální vlivy stavby na hydrologické a hydrogeologické poměry zájmového území. V neposlední řadě mohou shromážděná data a koncept proudění podzemních vod být využity k návrhu odvodňování a případných opatření k zamezení zvýšených přítoků podzemních vod do tunelů. Všechny zmiňované aspekty mohou být řešeny analytickými či numerickými metodami, předpokládají však, že potřebné informace budou před zahájením vlastní stavby doplněny v rámci geologického a hydrogeologického průzkumu a aktualizovaného systému monitoringu podzemních a povrchových vod.

Definování zájmové oblasti a počátečních a okrajových podmínek

Zájmová oblast byla v principu vymezena geologickým modelem. Z hlediska hydrogeologického nelze vyloučit určitou úpravu hranic v případě, že by výpočty měly být prováděny numerickým modelem. V daném komplikovaném heterogenním a anizotropním hydrogeologickém prostředí v silně urbanizované oblasti je neúčelné a neekonomické rozšiřovat zájmovou oblast pro zpracování detailních hydraulických výpočtů do přirozených hydrogeologických hranic, neboť taková struktura by byla příliš rozsáhlá a komplikovaná. Je zřejmé, že vymezení bude provedeno formou umělých hydraulických hranic, které budou určeny na základě monitoringu stavbou neovlivněného stavu hladin podzemních vod. Z hlediska okrajových podmínek bude variantně možno kombinovat

všechny tři typy okrajových podmínek. Hranice posuzovaného území musí být bezpečně vzdálené od dosahu hydraulického vlivu odvodňování tunelů v období stavby, v dalším období se při korektních stavebních opatřeních hydraulické dosahy sníží.

Podobně je tomu s počátečními podmínkami, jejichž stanovení je kriticky důležité, neboť charakterizují neovlivněný stav před zahájením výstavby tunelů. Z toho důvodu je nutné v dostatečném časovém předstihu před zahájením stavebních prací provést detailní rekognoskaci všech dostupných objektů monitoringu podzemních a povrchových vod. V řadě existujících vrtů došlo k propojení zvodní a takové vrty tedy nemonitorují piezometrický stav oddělených zvodní. Lze proto předpokládat, že monitorovací systém bude v budoucnu doplněn. Je nutné si uvědomit, že počáteční stav necharakterizují pouze hladiny podzemních vod, ale i měřené průtoky na povrchových tocích (např. Brusnice aj. toky), měření vydatnosti pramenů odvodňujících křídové kolektory, a to i mimo užší zájmové území vymezené modelem, a dále veškeré odběry vod včetně výtoků z jímacích štol.

Zpracovaná databáze geologických a hydrogeologických informací z vrtné prozkoumanosti obsahuje velký počet měření ustálených hladin podzemních vod. Většinou chybí informace o vystrojení vrtů, z nichž mnohé jsou zlikvidovány. Databáze tudíž obsahuje velmi nesourodé informace od 50. let dvacátého století po současnost, přičemž řada vrtů navíc propojuje jednotlivé zvodně. Dokumentovaná hladina podzemních vod tak náleží různým hydrostratigrafickým jednotkám, které je možno v databázi kvalifikovaným odhadem přiřadit na základě úrovní hladin podzemních vod a geologického profilu. Problémem je, že se za dlouhé období více než půl století hydrogeologický a hydrologický režim v urbanizovaném území výrazně změnil.

Určení hydrostratigrafických jednotek a jejich vzájemných vztahů

Kvartérní hydrostratigrafická jednotka se v detailu sestává z velmi heterogenních jednotek sedimentů fluviálních, deluviálních, deluviofluviálních a eolických. Heterogenita této jednotky musí být včleněna do distribuce hydraulických parametrů. Tato jednotka má převážně volnou hladinu podzemní vody a porozitu průlinovou, její přirozená dotace probíhá dominantně z atmosférických srážek, částečně i přetokem z deluvií. V urbanizovaném prostředí je však nutno počítat s antropogenní složkou vodní bilance – tedy především s úniky z vodovodních sítí a úniky či ztrátami vázanými na kanalizační síť. Nezanedbatelná je také změna infiltračních a srážko-odtokových poměrů díky zastavěnosti území a jeho odkanalizování (srážková voda). Tato kvartérní hydrostratigrafická jednotka komunikuje se zvodněným zvětralinovým pláštěm paleozoika a často vytváří s touto svrchní partií paleozoika spojitou zvodeň, drénovanou konformně s reliéfem terénu.

V pořadí od terénu do podloží je druhou hydrostratigrafickou jednotkou výše popsána svrchnokřídová jednotka. V tomto případě jde o jednotku subhorizontálně uložených souvrství, kdy v bazální části vytvářejí jílovce peruckých vrstev počevní izolátor (při snížených mocnostech jen poloizolátor). Proudění podzemní vody probíhá prioritně po puklinách, v pískovcovém masivu se uplatňuje kombinovaná porozita průlinovo-puklinová. Tento fakt koncepční model komplikuje a přístup k řešení proudění v této jednotce závisí na zvoleném měřítku.

V detailu je nutno použít proudění definované kubickým zákonem, ale v měřítku celé zájmové oblasti je možno definovat REV a řešit problematiku numericky Darcyho konceptem proudění. Rozhodně však je vhodné sestavit vodní bilanci této jednotky a posoudit možnost jejího potenciálního ovlivnění stavbou tunelů. Křídová hydrostratigrafická jednotka je odvodňována prameny a skrytými přetoky do

paleozoika a deluvií, její podzemní voda byla historicky jímána pro zásobování Pražského hradu (viz **kap. 3.3.4**).

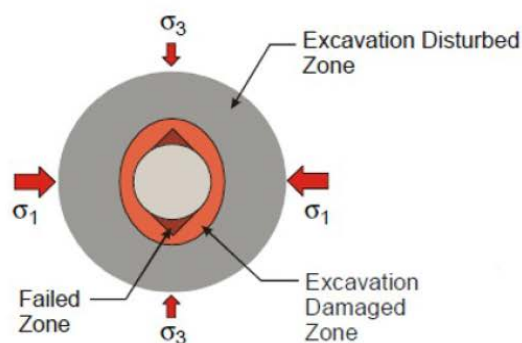
Nejhlubší hydrostratigrafickou jednotkou jsou ordovické břidlice a křemence. Jejich svrchní partie jsou protkány hustou sítí drobných puklin, ve kterých v závislosti na jejich výplni dochází k oběhu podzemní vody a k vytvoření téměř souvislé hladiny podzemní vody. Často je zaznamenána prostorová spojitost paleozoické zvodně s nadložní kvartérní hydrostratigrafickou jednotkou. Tato část zvodně je odvodňována konformně s terénem. Menší část vody přestupuje do hlubšího podloží tektonikou, zde je na rozdíl od svrchní části, kterou možno uspokojivě řešit s využitím konceptu průlinového proudění, nutno počítat s dvojí porozitou a možností či nutností řešit puklinové proudění.

Výstavbou tunelového díla dojde v horninovém masivu ke změnám napěťového stavu, doprovázeného při velkých koncentracích napětí narušením horninového masivu v okolí takového díla. Toto porušení indukuje změny hydraulických vlastností a také směrů proudění podzemních vod v dosahu vlivu podzemního díla.

Koncept porušení vznikajícího vlivem ražby podzemního díla a s ním také související EDZ vznikl na počátku 90. let dvacátého století a rozvíjel se ve spojitosti s úložišti radioaktivního odpadu. S postupem času a s detailnějšími výzkumy procesů vzniku porušených oblastí se vyvíjela také terminologie, která tyto oblasti popisuje (např. Lanyon et al. 2011). Je nutno konstatovat, že tato terminologie je dosud nejednotná.

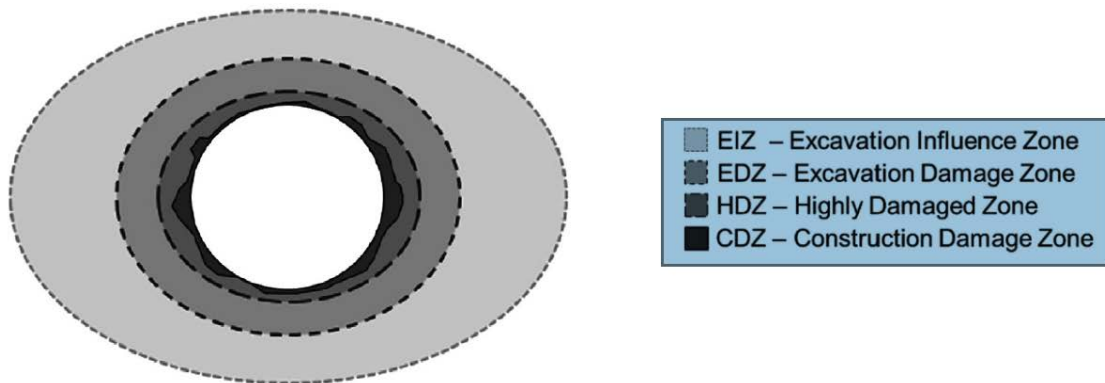
V minulosti byly pro popis oblastí ovlivněných ražbou používány termíny Excavation Damaged Zone (EDZ) a Excavation Disturbed Zone (EdZ) – **obr. 22**. Jako EDZ byla definována oblast, ve které proběhly výrazné změny vlastností horninového masivu, které mají značný dopad na proudění podzemních vod. Vzdálenější EdZ byla označena jako oblast, ve které nedošlo k výrazným změnám, a to jak z hlediska transportních vlastností, tak proudění podzemní vody. Highly Damaged Zone (HDZ) spadala pod oblast EDZ.

Současná literatura zabývající se problematikou porušených oblastí v okolí podzemních děl uvádí výskyt tří hlavních oblastí porušení, souhrnně označovaných jako EDZ, vznikajících za obrysem díla. Jedná se o oblasti HDZ, EDZ a Excavation Influence Zone (EIZ).



Obr. 22 Testovací tunel v kanadské podzemní laboratoři a schematické znázornění EDZ zón kolem tunelu. Obrázek postihuje porušení v méně běžném případě, kdy větší z hlavních napětí je napětím horizontálním (Read 2004).

Další druh ovlivnění horninového masivu, který při ražbě kromě EDZ vzniká, je porušená oblast ovlivněná technologií ražby, označovaná jako CDZ (Construction Damage Zone) – viz **obr. 23**. Rozsah této oblasti je závislý na zvolené technologii ražby podzemního díla (TBM vs. trhací práce), a proto může být tato oblast minimalizována nebo téměř úplně eliminována v případě využití tunelovacích strojů.



Obr. 23 Grafické znázornění oblastí ovlivněných ražbou podzemního díla. Pozn.: při obvykle větším hlavním napětí ve svislém směru je hranice oblasti EIZ tvořena elipsou s delší osou také ve směru svislém. (Perras – Diederichs 2016).

V literatuře je možno nalézt řadu výzkumů zabývajících se změnou hydraulických vlastností ve výše definovaných zónách v okolí tunelu. Nižší (**tab. 5**) jsou shrnuty výsledky projektu Stripa realizovaného v granitoidních horninách centrálního Švédska severně od Lindesbergu. Podle těchto výsledků, které jsou ve shodě i s novějšími výzkumy, dochází v nejnarušenější CDZ ke zvýšení hydraulické vodivosti až o 4 řády. Zajímavý je zejména fakt, že rozsáhlejší je tato zóna pod počvou tunelu a významnější projev změny hydraulických vlastností spočívá v anizotropii – je indukovaná vyšší hydraulická vodivost axiálně podél tunelu. Toto platí i pro EdZ do vzdálenosti ca 12 m v případě Stripa tunelu (závisí na mechanických vlastnostech horninového masivu). Tím může dojít ke komunikaci různých tektonických zón zastižených ražbou podzemního díla s eventuálními dopady na hladiny podzemních vod.

V případě numerického řešení vlivu výstavby tunelů na hydrogeologické poměry širšího okolí by koncepční model tunelového díla měl tyto zóny indukovaných změn hydraulických parametrů zahrnovat včetně anizotropie (axiální). Tunel by měl být simulován okrajovou podmínkou III. typu (drén) s kalibrovanou konduktancí.

Stanovení zdrojů a ztrát

Zdrojem podzemní vody v zájmové oblasti jsou srážky a v urbanizovaném území také úniky z vodovodních a kanalizačních sítí. Povrchové vodoteče (Brusnice) území drénují, jiné (Dejvický potok) jsou zatrubněné, ale nevyřešena zůstává otázka jejich komunikace s podzemní vodou.

Rozložení efektivní infiltrace ze srážek je variabilní a dané typem pokryvu (landcover), resp. zastavěností území. Je proto extrémně náročné stanovit efektivní infiltraci po odečtení povrchového odtoku a evapotranspirace. Tyto údaje musí být bilančně zpřesněny na základě hydrologického a hydrogeologického monitoringu a využitím informací z Pražských vodovodů a kanalizací, a. s. Bilancování musí být doplněno informacemi o jímání podzemní vody nejen historickými štolami.

Charakterizace hydraulických parametrů hydrostratigrafických jednotek

Rešeršně byly zpracovány informace o propustnosti a vydatnosti vrtů v jednotlivých hydrostratigrafických jednotkách z literatury, pokrývající období od 70. let minulého století. Tyto informace jsou uvedeny v **příloze 5**.

Tab. 5 Výsledky testů EDZ zón projektu *Stripa* (Gray 1993)

Zóna	Hydraulická vodivost K (m/s)	Mocnost zóny (m)
EDZ včetně CDZ ("Blast Damage Zone")	10^{-8} m/s (lokální změny na vzdálenost jednotek metrů v rámci rozsahu $10^{-11} < K < 10^{-6}$ a pravděpodobná anizotropie)	0,3 m ve stěnách 1,2 m v počvě
EdZ (Excavation Disturbed Zone)	Axiální hydraulická vodivost $5 \cdot 10^{-10}$ (lokální změny na vzdálenost desítek metrů v rozsahu řádů $3 \cdot 10^{-10} < K_a < 9 \cdot 10^{-9}$ m/s). Radiální hydraulická vodivost $5 \cdot 10^{-11}$ (lokální změny na vzdálenost desítek metrů v rozsahu řádů $7.5 \cdot 10^{-12} < K_r < 2.3 \cdot 10^{-11}$)	Do 12 m od tunelu
Neporušená hornina	Izotropní hydraulická vodivost v rozsahu $3 \cdot 10^{-11}$ až $9 \cdot 10^{-12}$ do vzdálenosti desítek m	

3.3.6 Agresivita podzemních vod

Jak již bylo uvedeno v **kap. 3.3**, v rámci oblasti geologického modelu se z hydrogeologického hlediska lze setkat se třemi hydrostratigrafickými jednotkami (nezpevněné kvartérní sedimenty, křídové sedimentární horniny a paleozoické horniny ordovického stáří). Z hlediska agresivity podzemních vod na stavební konstrukce je proto nutné posuzovat tyto hydrostratigrafické jednotky samostatně. Vzhledem k tomu, že tunelové propojení železničních stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín je navrženo v paleozoických horninách s tím, že okrajově může interferovat také s podzemními vodami nezpevněných kvartérních sedimentů, je pozornost věnována právě těmto dvěma jednotkám.

Vzhledem k tomu, že popis agresivity podzemních vod na stavební konstrukce je v řadě hlavně starších archivních průzkumů hodnocen podle dnes již neplatné ČSN 73 1214, je nutné na zjištěné údaje ze starších laboratorních rozborů podzemních vod aplikovat hodnotící parametry dle aktuálně platné ČSN EN 206-1+A1.

Pro vyhodnocení agresivity podzemních vod na stavební konstrukce byly určující zejména informace obsažené v průzkumech na stavbu trasy A metra (Tesař – Hudek 1971; Smolař 2008; Smolař – Votoček 2008; Bohátková 2008; Bohátková – Rout 2011; Bohátková – Tlamsa 2011 a Bohátková et al. 2011), dále v průzkumech na stavbu městského okruhu (Chmelař – Březina – Urban 2009; Vorel et al. 2009, 2010; a Oberhelová et al. 2017). Souhrnné charakteristiky jednotlivých souvrství

ordovických hornin z hlediska agresivity na stavební konstrukce byly částečně převzaty také z monografie Kovandy et al. (2001).

Nezpevněné kvartérní sedimenty

V rámci této skupiny kvartérních sedimentů je významnější kolektor podzemní vody vázán pouze na fluviální sedimenty řeky Vltavy (dejvická terasa). Podzemní vody v tomto kolektoru mají pouze ojediněle zvýšené obsahy volného CO₂, kdy jen zřídka překračují koncentraci 15 mg/l, což je spodní limit pro stupeň XA1 – slabě agresivní chemické prostředí. Reakce vod je vesměs neutrální nebo zasahuje spíše do alkalické oblasti, takže nepřekračuje spodní limit pro kyselostní agresivitu (pH 6,5).

V souvislosti s obsahem uhlíčanů alkalických zemin v pokryvných útvech lze předpokládat, že nebudou betonové konstrukce ohroženy vyluhovací a rozpouštěcí korozí. Rovněž z hlediska síranové koroze betonu lze geologické prostředí v oblasti dejvické terasy označit za velmi málo agresivní. Maximální koncentrace se pouze přibližují ke spodnímu limitu pro stupeň XA1 (200 mg/l).

V místech, kde se dejvická terasa stýká se skalním podkladem (vrstvy libeňské a letenské), koncentrace síranových iontů vzrůstá a atakuje spodní limit pro stupeň **XA2 – středně agresivní chemické prostředí**. S ohledem na možnost narušení vodního režimu při výstavbě tunelů (zrychlení proudění podzemní vody ve skalních horninách při případném ovlivnění nadloží tunelů, možnost zvýšení celkové mineralizace podzemní vody) je nutné při výstavbě volit taková opatření, která by zamezila působení agresivního prostředí na stavbu. Ostatní složky nejsou přítomny v množství, které působí agresivně.

Paleozoické horniny ordovického stáří

Tyto skalní horniny se vyznačují poměrně vysokými obsahy pyritu, o čemž svědčí přítomnost produktů jeho chemického rozkladu. Například ve vrtu HJ-15 byly nalezeny i několik centimetrů velké vyrostlice sádrovce (**obr. 24 a, b**). S rozkladem pyritu a rozpouštěním sekundárních produktů tohoto rozkladu je spjata síranová agresivita. Výše obsahu síranů je však u jednotlivých souvrství různorodá. Chemickými pochody při zvětrávání pyritu vzniká rovněž agresivita uhlíčitá a s ní spojená kyselostní agresivita.

Z důvodů rozdílného chemického složení jednotlivých litostratigrafických celků je popis paleozoických hornin ordovického stáří v této subkapitole volen záměrně po jednotlivých souvrstvích, jako by každý z nich tvořil izolovaný hydrogeologický subsystém, přesto že hydrogeologický masiv paleozoika je výše popisován jako hydraulicky jednotné prostředí s kontinuální transmisí podzemní vody.

Souvrství šarecké se vyznačuje podzemními vodami slabě alkalickými (pH 7,2–7,6), jež jsou dosti tvrdé, s nízkým obsahem SO₄²⁻ (50–150 mg/l). To značí, že maximální koncentrace se pouze přibližují ke spodnímu limitu pro stupeň **XA1 (200 mg/l)**. Celková mineralizace činí 400–600 mg/l.

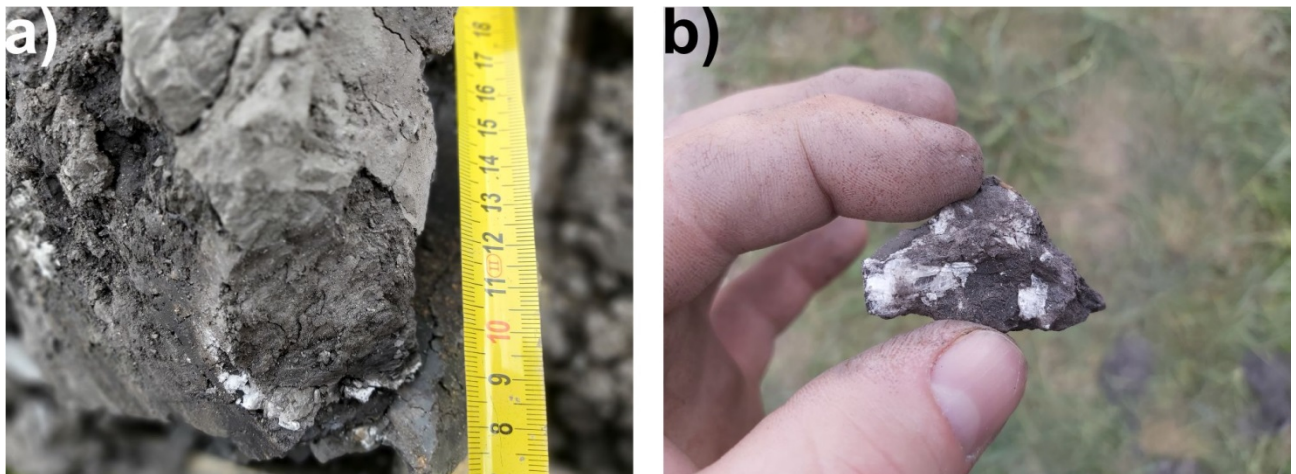
Křemence skalecké obsahují vody kalcium-sulfátové, které jsou velmi tvrdé, alkalické i kyselé (pH 6,4–7,3), což znamená, že se může vyskytnout slabá kyselostní agresivita XA1 (pH ≤6,5). Dále se tyto křemence vyznačují vysokým obsahem **SO₄²⁻ (450–580 mg/l) – XA1 i agresivním CO₂ (nejčastěji XA1)**. Celková mineralizace se pohybuje v rozmezí 1 000–1 500 mg/l.

Souvrství dobrotivské obsahuje podzemní vody kalcium-sulfatické, které jsou tvrdé až velmi tvrdé s vysokou celkovou mineralizací (1 000–1 300 mg/l). Dále mají vysoký obsah SO_4^{2-} (**600–780 mg/l**), což značí stupeň **XA2** – středně agresivní chemické prostředí. Zastoupen je i **agresivní CO_2** (nejčastěji **XA1**). Reakce vod je velmi variabilní, pH kolísá v rozmezí 5,8–7,5, což znamená **kyselostní agresivitu stupně XA1**.

Křemence řevnické mají podzemní vody s nižší celkovou mineralizací (700–900 mg/l), které jsou tvrdé. Jsou kyselé až neutrální reakce, nicméně nepředpokládá se u nich kyselostní agresivita. Obsah SO_4^{2-} kolísá nejčastěji v rozmezí 200–300 mg/l, lze tedy očekávat nejčastěji slabou síranovou agresivitu – XA1.

Souvrství libeňské zahrnuje podzemní vody kalcium-sulfatické, které jsou velmi tvrdé, kyselé až silně kyselé (pH 4,1–6,9). Lze tedy předpokládat střední **kyselostní agresivitu (XA2)**. Dále podzemní vody obsahují agresivní CO_2 o průměrných koncentracích (12–50 mg/l), což značí slabou až střední agresivitu (XA1–XA2). Obsah SO_4^{2-} **dosahuje až 880 mg/l**, může se tak jednat až o středně agresivní chemické prostředí (**XA2**). Celková mineralizace činí v průměru 800–1 400 mg/l.

Souvrství letenské obsahuje podzemní vody kalcium-sulfatické, které jsou tvrdé, kyselé, ale i slabě alkalické (pH 6,8–7,2). Kyselostní agresivita se tedy nepředpokládá. Obsah agresivního CO_2 zpravidla nepřesahuje hodnotu 5 mg/l. Koncentrace SO_4^{2-} **je nejčastěji v rozmezí 300–600 mg/l** (agresivita na rozhraní **XA1–XA2**), celková mineralizace je 1 100–1 500 mg/l.



Obr. 24 a) Ve střední dolní části fotografie patrný vykrystalizovaný sádrovec bílé barvy, jakožto produkt zvětvávání pyritu v ordovických břidlicích; **b)** Detail krystalu sádrovce (Foto M. Aue 30. dubna 2020).

Hydrochemický monitoring vod v okolí tunelu Blanka prokazuje v letenských břidlicích zvýšené hodnoty obsahu síranů ve vodách okolí tunelu až na řády prvních g/l. Vysoký obsah síranů v podzemních vodách v kontaktu s ostěním tunelu generuje degradaci betonového ostění vlivem krystalizace ettringitu v pórovém systému betonu s následnými objemovými a pevnostními změnami. Proto by měl být použit pro výrobu betonových směsí ostění cement odolný vůči síranům (primární ochrana betonové konstrukce), případně v kombinaci se snížením vodního součinitele betonové směsi na 0,4 s případným použitím plastifikátorů pro zajištění jeho vhodných reologických vlastností. Podrobněji se této problematice věnuje Oberhelová et al. (2017).

4 Inženýrskogeologické zhodnocení 3D modelu

4.1 Hlavní geotypy modelu a jejich charakteristické vlastnosti

Inženýrskogeologický a geotechnický popis geotypů vyskytujících se v rámci území 3D modelu byl sestaven zejména na základě informací obsažených ve vysvětlujících textech k souboru inženýrskogeologických map v měřítku 1 : 5 000 pokrývajících zájmové území – listy Praha 7-0 (Kleček 1970), Praha 7-1 (Šimek 1969), Praha 8-0 (Králová 1971b), Praha 8-1 (Králová 1970), Praha 9-0 (Pařízková 1974) a Praha 9-1 (Králová 1975). Dále popis vybraných geotypů vycházel z průzkumů na stavbu metra A (Tesař – Hudek 1971; Smolař 2008; Smolař – Votoček 2008; Bohátková 2008; Bohátková – Rout 2011; Bohátková – Tlamsa 2011 a Bohátková et al. 2011) a také z průzkumů na stavbu městského okruhu (Chmelař – Březina – Urban 2009 a Vorel et al. 2009, 2010).

Pro získání ucelené představy o místních inženýrskogeologických poměrech bylo využito také informací obsažených v předběžných geotechnických průzkumech Tůmy – Chmelaře – Hudka (2019) a Dragouna (2019, 2020), popř. v monografiích Záruby (1948) a Píchala et al. (1979).

Součástí popisu vyčleněných geotypů je jejich základní charakteristika, popisné fyzikální vlastnosti, pevnostní charakteristiky, přetvárné charakteristiky a technologické vlastnosti, jako jsou např. abrazivita, vrtatelnost, těžitelnost atd. – pokud byly informace k dispozici. Pozornost byla věnována zejména těm geotypům, které budou bezprostředně interagovat s budoucí stavbou (především horniny ordoviku). Ostatní geotypy byly zpravidla popsány pouze slovně.

Na obtížnost ražení podzemního díla mají vedle pevnostních parametrů vliv zejména technologické vlastnosti, jako jsou rozpojitelnost, těžitelnost hornin a lepivost hornin. V podzemí je většinou vlhké prostředí; při ražení v jílovitých horninách se proto musí počítat se zvýšenou přilnavostí rubaniny na rozpojovací nástroje, nakládací a dopravní zařízení. Abrazivita hornin ovlivňuje čas pracovních operací při rozrušování hornin zejména při plnoprofilovém způsobu ražby; míra opotřebení řezných nástrojů podmiňuje hospodárnost zvolené technologie.

4.1.1 GT1 – An (antropogenní uložení – navážky)

Zrnitostním složením a litologickým zastoupením jsou antropogenní uložení horizontálně i vertikálně nejvariabilnějším a nejvíce heterogenním útvarem celého pokryvu zájmového území. Nacházejí se zde hlavně hlinitopísčité až písčité podsypy a zásypy výkopů pro inženýrské sítě a zásypy terénních nerovností. Mají převážně charakter hlíny písčité, hlíny štěrkovité až písku hlinitého a štěrku jílovitého s úlomky cihel, břidlic a jemnozrnných křemenných pískovců a štěrku do velikosti 150 mm (např. Vorel et al. 2009, 2010).

Mocnost navážek je nejčastěji do 2 m, může však být i daleko větší. Zejména v okolí barokních hradeb mohou být navážky mocné i více než 10 m, konzistence je tuhá až pevná. Laboratorní zkouška byla na tomto typu materiálu vyhodnocena např. v případě vzorku z vrtu HJ-12 (Dragoun 2020) z hloubky 8,0–8,3 m – vzorek konzistence tuhé ($I_c = 0,76$), klasifikován jako sasiCl (dle ČSN a CS/F4 s indexem plasticity $I_p = 12,2$ % a obsahem jílové frakce ($<0,002$ mm) 19 %. Dalším příkladem může být vzorek z vrtu HJ-8 (Tůma – Chmelař – Hudek 2019) z hloubky 1,0–1,2 m –

vzorek tuhé konzistence ($I_c = 0,99$), klasifikován také jako sasiCl a CS/F4 s indexem plasticity $I_p = 8,8$ % a obsahem jílové frakce 14 %.

Na vzorku z vrtu HJ-12 s pórovitostí 40,8 % byla stanovena smyková pevnost translační krabicovou zkouškou na neporušeném vzorku s výsledkem vrcholového uhlu $23,2^\circ$ s kohezí 21,9 kPa.

Vzhledem k heterogenitě tohoto geotypu však tyto dva vzorky nelze obecněji považovat pro daný geotyp za charakteristické, i když jsou jejich inženýrskogeologické vlastnosti podobné. Také je z tohoto důvodu zbytečné polemizovat např. o charakteristické smykové pevnosti antropogenních uloženin nebo o jejich jiných geotechnických parametrech.

Těžitelnost antropogenních uloženin dle ČSN 73 6133 je ve třídě I. Dle dnes již neplatné ČSN 73 3050, resp. nové ČSN 73 3055, je těžitelnost tříd 2 až 4. Vrtatelnost dle ceníku 800-2 je I(-III).

4.1.2 GT2 – Eo (spraše a sprašové hlíny)

Eolické sedimenty charakteru spraší a sprašových hlín jsou převážně třídy F6. Jedná se často o jíl s nízkou plasticitou až hlínu písčitou, hnědožlutou s vápnitými žilkami a ojediněle s tmavě hnědými lamelami.

Průměrné hodnoty obsahu jílové frakce činí 13,8 % (5–25 %) a index plasticity $I_p = 13,7$ % (11,2–16,8 %). Spraše ze zájmové lokality jsou velmi málo propustné, s průměrnou pórovitostí $n = 39,8$ %. Pórovitost vzorků se pohybuje v rozmezí 36,4–42,5 %. Uvedené hodnoty parametrů vycházejí z laboratorní analýzy celkem 7 vzorků (Dragoun 2020).

V případě 3 vzorků byla také stanovena i jejich smyková pevnost krabicovou smykovou zkouškou, přičemž výsledná pevnost je vrcholová. Vzorky byly zality vodou a smykány pod rychlostí 0,008 mm/min. Vrcholový uhel vnitřního tření dosáhl hodnot v rozmezí $19,2$ – $22,9^\circ$ s naměřenou kohezí 18,7–29,3 kPa. Uvedené výsledky jsou v souladu s výsledky obdobných zkoušek ze starší literatury (např. Tesař – Hudek 1971 a jiní výše uvedení autoři), kde jsou výsledné hodnoty pevnosti v rozmezí $16,1$ – $23,3^\circ$ s kohezí 17–46 kPa.

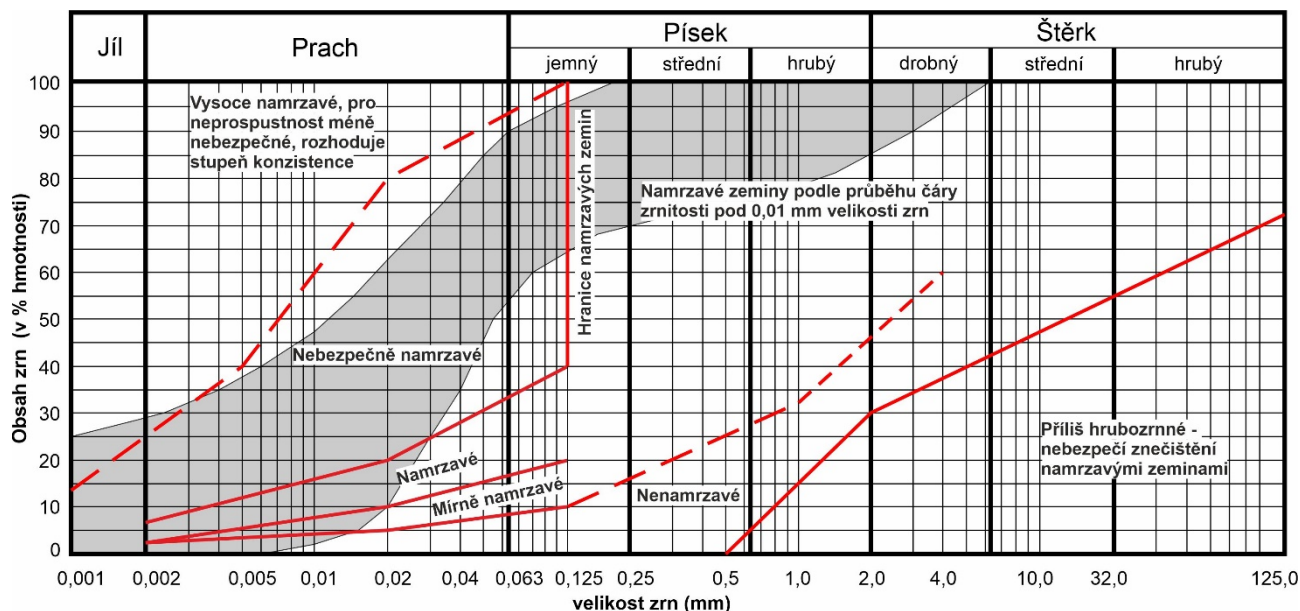
Sprašové hlíny a spraše jsou nebezpečně namrzavé, nestabilní a rozbídné. Spraše lze považovat za zeminy prosedavé a sprašové hlíny za zeminy neprosedavé (dle dnes již neplatné ČSN 73 1001). Tesař – Hudek (1971) upozorňují, že ve sprašových hlínách je možné narazit na hrubozrnnější polohy, které pojmenovali jako hlinitý písek se štěrkem až písčitá hlína se štěrkem. Tento typ materiálu bude mít pravděpodobně příznivější parametry smykové pevnosti.

Pro případné hutnění spraší stanovili Tesař – Hudek (1971) standardní objemovou hmotnost Proctorovou zkouškou na hodnotu $1\,783\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ s optimální vlhkostí 15,4 %. Vorel et al. (2009) stanovil obdobné výsledky a to max. objemovou hmotnost na $1\,734\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ s optimální vlhkostí 16 %.

Na obr. 25 jsou uvedeny zrnitostní poměry geotypu Eol v podobě oboru křivek zrnitosti stanovených ze 154 vzorků spraší (Kleček 1970). Průzkum Chmelaře – Březiny – Urbana (2009) stanovil stlačitelnost eolických sedimentů s edometrickým modulem přetvárnosti $E_{\text{oad}} = 9,41$ – $10,9$ MPa (pro obor zatížení 100–200 kPa a 200–300 kPa). Také doplnil data o pevnosti eolických sedimentů s jedním výsledkem efektivního uhlu vnitřního tření $24,2^\circ$ s kohezí 35 kPa. Na dvou vzorcích byla v rámci průzkumu Tůmy – Chmelaře – Hudka (2019) sledována prosedavost s výsledkem v obou

případech méně než 1 % (0,91 a 0,25 %), což je obvyklé kritérium pro zařazení mezi prosedavé zeminy.

Těžitelnost eolických sedimentů je dle ČSN 73 6133 ve třídě I., dle ČSN 73 3050, resp. ČSN 73 3055 ve třídách 2 až 3, vrtatelnost dle ceníku 800-2 je I.



Obř. 25 Obř křivek zrnitosti stanovených v případě 154 vzorků sprašů (Kleček 1970).

4.1.3 GT3 – DI (deluviální sedimenty – svahoviny nerozlišené)

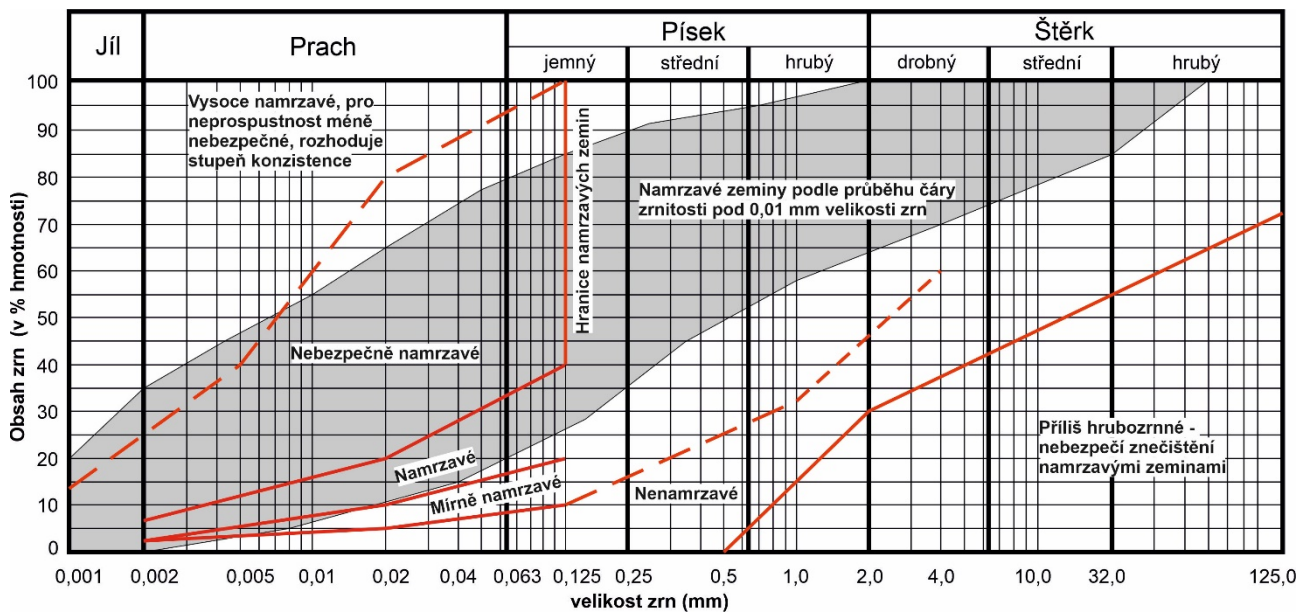
Deluviální sedimenty jsou v zájmovém území zastoupeny materiálem s poměrně pestrým složením, a to od štěrku hlinitého přes písek hlinitý až jílovitý až po nízkoplastický jíl s konzistencí tuhou až pevnou. Hrubozrné sedimenty mají charakter sutě a osypů. Obsahují bloky, balvany a kameny křídových a ordovických hornin.

Průzkum Dragouna (2020) obsahuje výsledky 11 vzorků tohoto geotypu laboratorně testovaných za účelem stanovení jejich fyzikálních vlastností a ve vybraných případech i pevnostních parametrů. Obsah jílové frakce dosáhl v průměru 14,5 % (5–30 %), index plasticity v průměru 11,6 % (5,8–17,2 %). Vzorky byly většinou málo nebo velmi málo propustné, ve dvou případech vzorků s vyšším obsahem jílu (24 a 25 %) byly nepropustné. Pórovitost vzorků se pohybuje v rozmezí 30,0–38,5 %.

V případě 6 vzorků byla translační krabicovou zkouškou stanovena jejich smyková pevnost. V případě vzorku SC/S5 dosáhla úhlu vnitřního tření 33,8° s kohezí 4,7 kPa. V případě ostatních vzorků byla jejich pevnost, vzhledem k jejich charakteru (CS/F4–CL/F6), nižší – a to v rozmezí úhlu 22,2–25,9° s kohezí v rozmezí 24,9–31,5 kPa. Zde je však nutné podotknout, že vzorek HJ-1 (CL/F6) byl smykán rychlostí 0,167 mm/min. (jiné jemnozrné vzorky byly smykány rychlostí 0,008 mm/min.). To může, i vzhledem k charakteru vzorku, být rychlost vysoká, která může způsobit nárůst pórových tlaků a tím zkreslit výsledek efektivní smykové pevnosti. Tesař – Hudek (1971) také udávají výsledky smykové pevnosti deluviálních sedimentů – minimální hodnota úhlu vnitřního tření je 22,4° s kohezí 10 kPa.

Také pro deluviální sedimenty byly pro účel této podkapitoly stanoveny obalové křivky zrnitosti (**obr. 26**). V porovnání s geotypem Eol dosahuje geotyp D1 příznivějších výsledků smykové pevnosti. Z hlediska vhodnosti dalšího stavebního použití pro násypy, zásypy a podloží komunikací představují deluviální sedimenty ve většině případů méně vhodný až nevhodný materiál, hlinité polohy jsou namrzavé, nestabilní a rozbřídavé. Pro případné hutnění stanovili Tesař – Hudek (1971) standardní objemovou hmotnost Proctorovou zkouškou na hodnotu $1\,760\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ s optimální vlhkostí 17,5 %.

Těžitelnost deluviálních sedimentů dle ČSN 73 6133 je ve třídě I., dle ČSN 73 3050, resp. ČSN 73 3055 ve třídách 2 až 5, vrtatelnost dle ceníku 800-2 je I–II.



Obr. 26 Obor křivek zrnitosti stanovených v případě 4 vzorků deluviálních sedimentů (Králová 1971b).

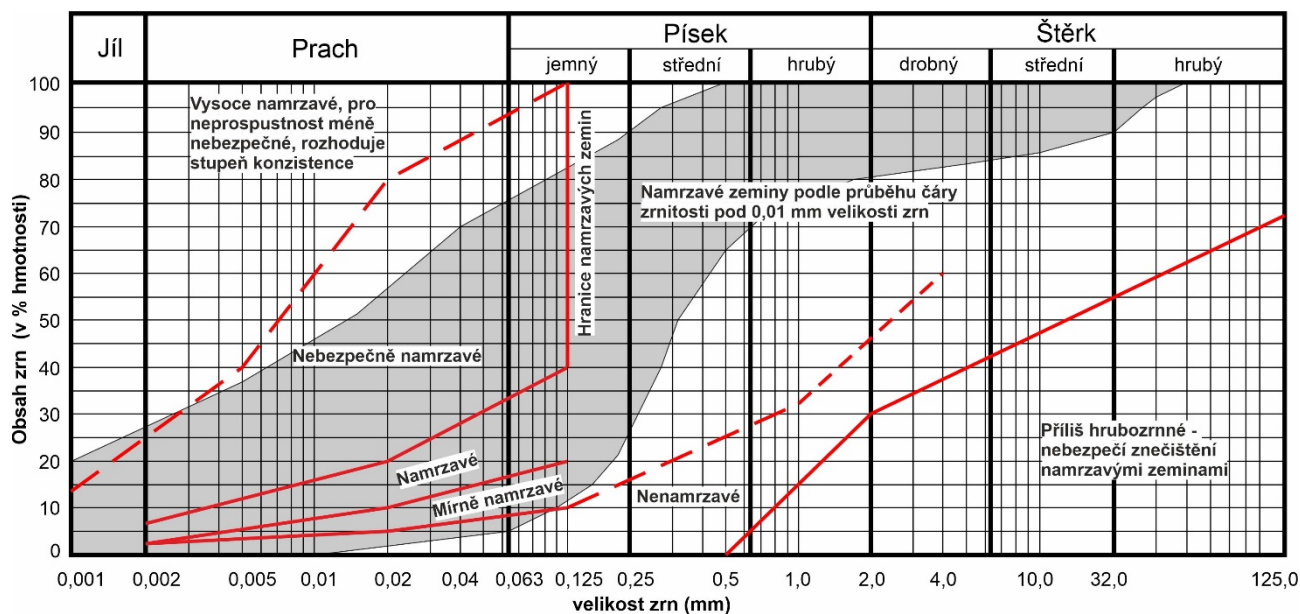
4.1.4 GT4 – Df1 (deluviofluviální sedimenty – Holocenní výplně podél toků a splachových depresí)

Vzhledem k tomu, že tento geotyp s největší pravděpodobností nebude v přímé interakci se stavbou, jsou jeho charakteristické vlastnosti popsány jen velmi stručně.

Jedná se o holocenní náplavy a výplně nivy zejména Veleslavínského (Dejvického) potoka a Brusnice. Mocnost těchto sedimentů může dosahovat i více než 10 m. Nánosy mají na bázi charakter hrubých hlinitopísčitých štěrků, místy s valouny větších rozměrů, nad nimi jsou pak uloženy hlinitopísčité až hlinitojílovité polohy (**obr. 27**).

Tyto náplavy jsou objemově nestálé a stlačitelné. V průzkumu Tůmy – Chmelaře – Hudka (2019) byla stanovena efektivní smyková pevnost vzorku jílu se střední plasticitou s výsledkem uhlu $25,9^\circ$ a soudržností 27 kPa.

Třídy těžitelnosti, rozpojitelosti a vrtatelnosti jsou obdobné jako v případě deluviálních sedimentů.



Obr. 27 Obor křivek zrnitosti stanovených v případě 9 vzorků deluviofluviálních sedimentů (Králová 1971b).

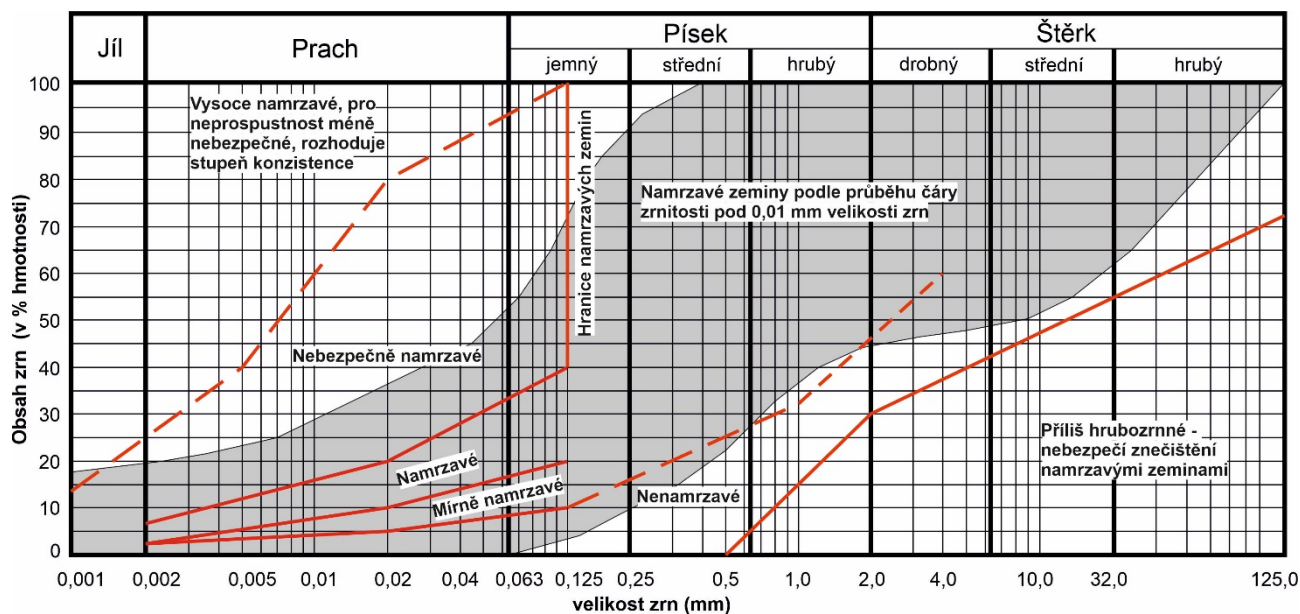
4.1.5 GT5 – FI (fluviální sedimenty – pleistocenní terasy řeky Vltavy)

Fluviální sedimenty jsou v zájmovém území zastoupeny sedimenty dejvické terasy pleistocenního stáří. Terasové sedimenty obecně představují, vzhledem k jejich značné mocnosti a velkému plošnému rozšíření, nejhojněji zastoupené horniny pokryvných útvarů.

V této souvislosti je nutné uvést, že ca 200 m západně od železniční stanice Praha-Dejvice budou plánované tunely procházet ca 5 m nad stropem těchto sedimentů. Z toho důvodu existuje možnost, že dojde k ovlivnění stavby např. průsaky podzemní vody, popř. jinými anomálními projevy.

V rámci průzkumu Dragouna (2019) byly vzorky tohoto geotypu odebrány ze 4 vrtů. Jsou klasifikovány jako CS/F4 až S-F/S3, s obsahem jílové frakce 2, 4, 5 a 15 %. Vyšší obsah jílové frakce je pravděpodobně spjat s tím, že se vrty nacházejí již poblíž okraje dejvické terasy. U dvou vzorků byl stanoven index plasticity 9,3 a 9,9 %. Na jednom vzorku (CS/F4) byl stanoven efektivní vrcholový úhel $23,3^\circ$ se soudržností 28 kPa. Na **obr. 28** jsou uvedeny křivky zrnitostí 13 odebraných vzorků.

Chmelař – Březina – Urban (2009) také stanovili pevnost fluviálních sedimentů s jedním výsledkem efektivního úhlu vnitřního tření $29,5^\circ$ s kohezí 17,5 kPa. Stejný průzkum stanovil stlačitelnost fluviálních (svrchní jemnozrné polohy) sedimentů s edometrickým modulem přetvárnosti $E_{oed} = 10,2\text{--}14,2$ MPa (pro obor zatížení 100–200 kPa a 200–300 kPa). Těžitelnost fluviálních sedimentů dle ČSN 73 6133 je ve třídě I., dle ČSN 73 3050, resp. ČSN 73 3055 ve třídách 2 až 4, vrtatelnost dle ceníku 800-2 je I–II.



Obr. 28 Obor křivek zrnitosti vyšších terasových stupňů (Kleček 1970).

4.1.6 GT6 – Kt (bělohorské souvrství – opuky)

Jedná se o jemně písčité slínovce, charakteristické nerovnoměrným zvětráváním. Někdy jde pouze o odvápnění se zachováním pevnosti, místy se však mohou střídát pevnější partie s polohami zvětralými, drobnou horninou a úlomky zvětraných opuk charakteru jílovitopísčité hlíny.

Zvětraliny bývají periglaciálními podmínkami nakypřeny, případně zvířeny, což zvyšuje jejich stlačitelnost. V tomto geotypu nelze vyloučit možnou přítomnost drobných opuštěných a zavezených lůmků. Geotyp Kt byl laboratorně testován v případě průzkumu Dragouna (2019) s průměrným výsledkem prosté pevnosti v tlaku 5,8 MPa, tedy třídy R5–R4. Průzkum Tůmy – Chmelaře – Hudka (2019) doporučuje pro navětralé až zdravé opuky třídu R3. Rozdíl v pevnostech je zřejmě způsoben tím, že vrtná jádra křídových hornin bývají často natolik rozvrtána, že určení pevnostní třídy bývá značně subjektivní. Těžitelnost dle ČSN 73 3050 je ve třídě 4, dle ČSN 73 6133 ve třídě II, vrtatelnost dle ceníku 800-2 je III.

4.1.7 GT7 – Kcp (perucko-korycanské souvrství – křemenné pískovce, glaukonitické pískovce)

V rámci tohoto geotypu byly Dragounem (2019) odebrány vzorky za účelem stanovení pevnosti v tlaku. Slabě zpevněné zkušební vzorky dosáhly třídy pevnosti R6 s pevností v tlaku 0,3 MPa a méně. Zdravé W1 vzorky (dle dnes již neplatné ČSN 72 1001) dosáhly hodnot 1,3 a 17,1 MPa. Tůma – Chmelař – Hudek (2019) obecně doporučují třídu R5 i pro zdravé horniny.

Průzkum Tůmy – Chmelaře – Hudka (2019) dále doporučuje pro geotyp Kcp přetvárné charakteristiky modulu přetvárnosti $E_{def} = 45$ MPa a modulu pružnosti $E = 90$ MPa. Zvětraliny lze charakterizovat jako středně až hrubozrné písky s úlomky více zpevněných pískovců.

4.1.8 GT8 – Kcj (perucké vrstvy – jílovce)

Za účelem stanovení pevnosti v tlaku byly Dragounem (2019, 2020) testovány dva vzorky s výsledky pevnosti v tlaku 2,1 a 3,8 MPa, což zařazuje tyto vzorky do třídy R5. Těžitelnost dle ČSN 73 3050 je ve třídě 4, dle ČSN 73 6133 ve třídě II. Uvedený průzkum dále doporučuje pro geotyp Kcj přetvárné charakteristiky modulu přetvárnosti $E_{def} = 20$ MPa a modulu pružnosti $E = 30$ MPa, podobné hodnoty doporučuje i průzkum Tůmy – Chmelaře – Hudka (2019).

4.1.9 GT9 – Vi (vinické souvrství)

Z geotechnického pohledu nehodnoceno z důvodu těsného vymezení již mimo jižní hranici modelu.

4.1.10 GT10 – Ltn (letenské souvrství – černé jílovité břidlice, písčité břidlice, droby)

Součástí tohoto geotypu jsou 2 „podtypy“ LtnJ (černé jílovité břidlice) a LtnP (střídání drob a písčitých břidlic). Tyto podtypy jsou v modelu vyčleněny samostatně, nicméně z pohledu popisných geotechnických vlastností jsou popisovány společně.

GT10 – Podtyp LtnJ (černé jílovité břidlice)

Geotechnické vlastnosti tohoto podtypu závisí na stupni zvětrání hornin. V rámci průzkumů Tůmy – Chmelaře – Hudka (2019) a Dragouna (2019, 2020) bylo laboratorně testováno 41 vzorků hornin geotypu LtnJ. Vzorky byly stupně zvětrání W1–W3. Vzorky zdravé (W1) dosahovaly prosté pevnosti v tlaku v rozmezí 1,6–102,44 MPa, s průměrnou hodnotou $\sigma_c = 20$ MPa, což je zařazuje pod stupeň pevnosti tříd R3 až R4. Vzorky navětralé (W2) dosahovaly prosté pevnosti 2–34 MPa, s průměrem $\sigma_c = 8$ MPa, a jsou hlavně třídy R4. Vzorky mírně zvětralé (W3) dosahovaly prosté pevnosti 0,6–26 MPa, s průměrem $\sigma_c = 13$ MPa. Jsou opět zařazené hlavně do třídy pevnosti R4, obecně se ale doporučuje jejich zařazení do třídy R5. Dále lze doporučit zatřídění hornin W5–W4 podle pevnosti do třídy R6.

V případě 19 vzorků Dragoun (2019, 2020) také stanovoval modul přetvárnosti E_{def} . Vzorky podle dokumentace zdravé (W1) dosáhly průměrných hodnot $E_{def} = 180$ MPa, vzorky navětralé (W2) dosáhly naopak vyšších hodnot, a to v průměru 285 MPa, vzorky mírně zvětralé (W3) dosáhly v průměru $E_{def} = 65$ MPa. Chmelař – Březina – Urban (2009) doporučují charakteristické hodnoty E_{def} pro W1 200–600 MPa, pro W2 80–200 MPa a pro W3 40–80 MPa. Pro W4 je to 20–40 MPa a pro W5 8–20 MPa.

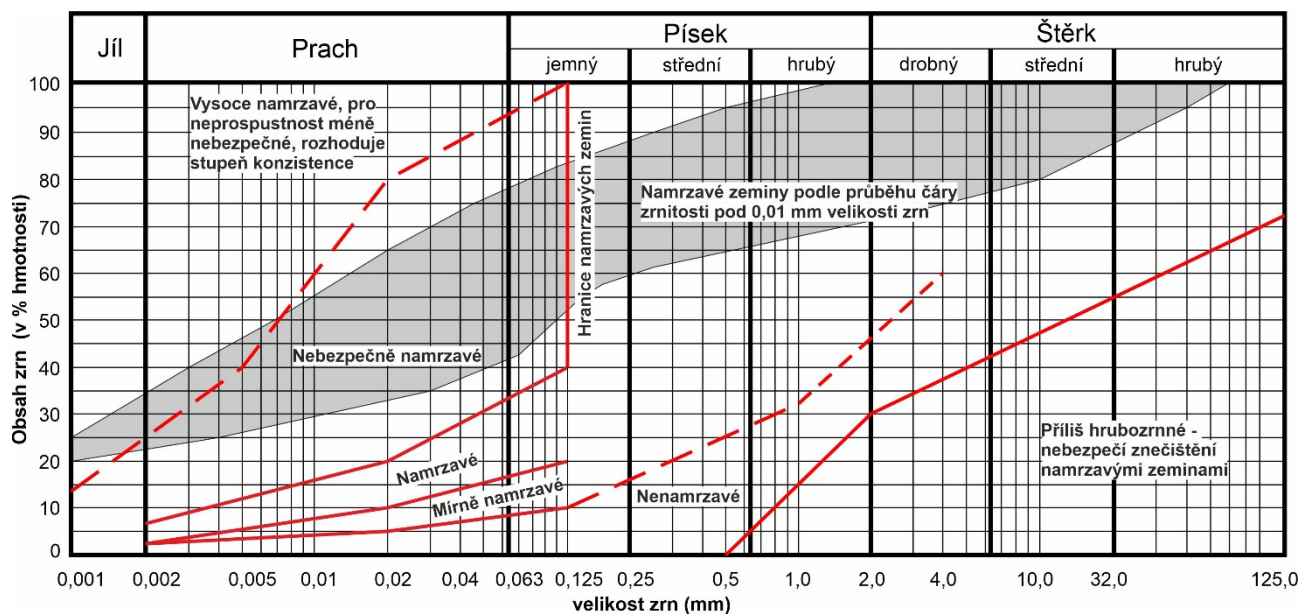
Modul pružnosti E je podle výše citovaného průzkumu doporučen přibližně dvojnásobný než E_{def} . Poissonovo číslo je v rozmezí 0,4 (W5) až 0,22 (W1). Velmi podobné nebo stejné hodnoty také doporučují průzkumy Dragouna (2019, 2020) nebo Vorla et al. (2009). Těžitelnost je také závislá na stupni zvětrání. Podle ČSN 73 3050 je ve třídách 4 až 6 pro W1 a W2 a třídách 3 až 4 pro W3–W5. Abrazivnost byla testována metodou CERCHAR u 2 vzorků (Tůma – Chmelař – Hudek 2019): břidlice s výsledkem CAI 0,76 (nízká) a laminy křemence s výsledkem CAI 4,42 (extrémně vysoká).

GT10 – podgeotyp LtnP (letenské souvrství – střídání drob a písčitých břidlic)

V rámci průzkumů Dragouna (2019, 2020) bylo laboratorně testováno 11 vzorků hornin podgeotypu LtnP. Všechny vzorky byly stupně zvětrání W1. Vzorky břidlic dosahovaly pevnosti v tlaku v rozmezí 0,6–28,3 MPa (s průměrem 8 MPa), tedy třídy R6 až R3 (v jednom případě). Vzorky pískovců dosáhly pevnosti v tlaku v rozmezí 41–107 MPa (s průměrem 76,8 MPa), tedy třídy R3–R2.

Tůma – Chmelař – Hudek (2019) popisují geotechnické vlastnosti geotypu střídání drobových pískovců a prachovitých břidlic následovně: pro zdravé (W1) doporučují $E_{def} = 500$ MPa, $E = 1\ 000$ MPa, Poissonovo číslo 0,25 a zařazení podle pevnosti do tříd R3–R4; pro navětralé (W2) doporučují $E_{def} = 150$ MPa, $E = 300$ MPa, Poissonovo číslo 0,3 a zařazení podle pevnosti do tříd R4–R5, pro mírně zvětralé (W3) doporučují $E_{def} = 60$ MPa, $E = 150$ MPa, Poissonovo číslo 0,35 a zařazení podle pevnosti do tříd R4–R5; pro zvětralé (W4–W5) doporučují $E_{def} = 15$ MPa, $E = 25$ MPa, Poissonovo číslo 0,38 a zařazení podle pevnosti do tříd R5–R6.

Křivky zrnitosti zvětralých vrstev ukazuje **obr. 29**. Abrazivnost byla testována metodou CERCHAR u 9 vzorků břidlice (W1–W2) s výsledkem CAI v rozmezí hodnot 0,66–1,03 (nízká až střední) a jemnozrnného pískovce (W1) s výsledkem CAI 1,39 (střední) – viz Tůma – Chmelař – Hudek (2019) a Dragoun (2020).



Obr. 29 Křivky zrnitosti zvětralých vrstev geotypu GT9 podtypu LtnP (Králová 1971b).

4.1.11 GT11 – Ln (libeňské souvrství – černé jílovité břidlice)

Libeňské břidlice snadno a hluboko zvětrávají. Bývají hluboko nakypřeny a porušeny periglaciálním větráním. Jejich vlastnosti jako základové půdy jsou velmi rozdílné podle stupně zvětrání, na kterém je závislá jejich pevnost i stlačitelnost. Na vzduchu se i pevné libeňské břidlice rychle rozpadají a porušují. V rámci průzkumu Dragouna (2020) bylo testováno 10 vzorků tohoto geotypu.

Zdravé horniny (W1) dosáhly pevnosti v prostém tlaku v průměru 17 MPa, navětralé vzorky dosáhly pevnosti v tlaku v průměru 16 MPa, horniny stupně zvětrání W3 a W4 dosáhly pevnosti méně než 0,4 MPa. Obecně ale citovaný průzkum doporučuje pro W1 zařazení R4–R3, těžitelnost dle ČSN 73

3050 ve třídě 5, dle ČSN 73 6133 ve třídě II, pro W2 zatřídění R4, těžitelnost dle ČSN 73 3050, resp. ČSN 73 3055 ve třídě 4, dle ČSN 73 6133 ve třídě II, pro W3 zatřídění R5, těžitelnost dle ČSN 73 3050 ve třídě 3, dle ČSN 73 6133 ve třídě I a pro W4–W5 zatřídění R6, těžitelnost dle ČSN 73 3050 ve třídě 3, dle ČSN 73 6133 ve třídě I.

Tůma – Chmelař – Hudek (2019) udávají přetvárné charakteristiky pro zdravé vrstvy: modul přetvárnosti $E_{\text{def}} = 250$ MPa, modul pružnosti $E = 500$ MPa a Poissonovo číslo 0,25. Pro navětralé vrstvy jmenovaní autoři doporučují modul přetvárnosti $E_{\text{def}} = 100$ MPa, modul pružnosti $E = 200$ MPa a Poissonovo číslo 0,3. Pro zvětralé (W3–W5) vrstvy jsou parametry E_{def} v rozmezí 10–40 MPa, E v rozmezí 20–100 MPa a Poissonovo číslo mezi 0,4 až 0,35. Abrazivnost byla testována metodou CERCHAR u jednoho vzorku břidlice s výsledkem CAI 0,77 (nízká).

4.1.12 GT12 – LnR (libeňské souvrství – řevnické křemence)

Řevnické křemence jsou bělavé nebo světle šedé křemence až křemenné pískovce. Jsou velmi tvrdé a těžko vrtatelné. Obecně vzato jsou nejtvrďší horninou pražského skalního podkladu. Často ale netvoří homogenní podklad. Vzhledem k jejich nestlačitelnosti jsou pro zakládání staveb podmíněně vhodné (Králová 1971b).

Parametry řevnických křemenců Králová (1971) shrnula následovně: pro navětralé vrstvy doporučuje modul přetvárnosti E_{def} v rozmezí 200–1 000 MPa, modul pružnosti E v rozmezí 500 až 2 000 MPa a Poissonovo číslo 0,15. Pro nezvětralé vrstvy doporučuje modul přetvárnosti E_{def} v rozmezí 1 000–5 000 MPa, modul pružnosti E v rozmezí 2 000–8 000 MPa a Poissonovo číslo 0,1. Pro zvětralé vrstvy jsou parametry nepříznivější.

4.1.13 GT13 – Dbr (dobrotivské souvrství – černé jílovité břidlice)

Dobrotivské břidlice nezvětralé a tektonicky neporušené jsou málo stlačitelnou a vhodnou základovou půdou i při náročné stavbě, navětralé jsou poměrně značně stlačitelné. Jsou snadno rozpojitelny s roubíkovitým rozpadem (Králová 1971b).

Dobrotivské břidlice byly laboratorně testovány např. v rámci průzkumů Dragouna (2019, 2020). Ten podobně jako Tůma – Chmelař – Hudek (2019) zatřídí tyto horniny podle stupně zvětrání následovně: W1 do tříd R4–R3, těžitelnost dle ČSN 73 3050 ve třídě 5, dle ČSN 73 6133 ve třídě II., W2 do třídy R4, těžitelnost dle ČSN 73 3050 ve třídě 4, dle ČSN 73 6133 ve třídě II., W3 do třídy R5, těžitelnost dle ČSN 73 3050 ve třídě 3, dle ČSN 73 6133 ve třídě I. a W5–W4 do třídy R6, těžitelnost dle ČSN 73 3050 ve třídě 3, dle ČSN 73 6133 ve třídě I.

Doporučené přetvárné charakteristiky jsou dle Dragouna (2020) následující: modul přetvárnosti E_{def} pro W1 je 200 MPa, pro W2 80 MPa, pro W3 30 MPa a pro W4–W5 8 MPa, modul pružnosti E je dvojnásobně vyšší, Poissonovo číslo v rozmezí 0,4–0,25. Abrazivnost byla testována metodou CERCHAR u 2 vzorků (Tůma – Chmelař – Hudek 2019) břidlice s výsledkem CAI 0,68 a 0,91 (nízká).

4.1.14 GT14 – DbrS (dobrotivské souvrství – skalecké křemence)

Skalecké křemence jsou spolu s křemenci řevnickými nejtvrďšími horninami v zájmovém území. Jsou to světlé až bělavé jemnozrnné křemence až křemenné pískovce. Jako základová půda jsou prakticky nestlačitelné a snesou vysoká zatížení. Podobně ale jako v případě řevnických křemenců,

jsou skalecké křemence pro zakládání podmíněčně vhodné vzhledem k jejich prostorové nehomogenitě.

Jsou velmi tvrdé, poměrně křehké a velmi těžko rozpojitelné. Průzkum Tesaře – Hudka (1971) doporučuje následující geotechnické charakteristiky nezvětralých vrstev skalických hornin: přirozenou vlhkost méně než 1 % při pórovitosti 2–7 %. Pevnost zdravých hornin v prostém tlaku dosahuje hodnot 25–80 MPa, což je podle ČSN 72 1001 pevnost R3–R2.

Podle Šimka (1969) je modul přetvárnosti E_{def} 200–5 000 MPa a modul pružnosti $E = 500–8 000$ MPa s Poissonovým číslem 0,1–0,15, a to pro navětralé a nezvětralé horniny.

4.1.15 GT15 – Sa (šárecké souvrství – černé jílovité břidlice)

Poslední horninový geotyp rovněž jako GT9 zasahují již za okraj modelu, nicméně trasa všech variant pokračuje do tohoto souvrství. Proto byly pro tento geotyp také orientačně vymezeny základní mechanicko-fyzikální vlastnosti.

Horniny šáreckých vrstev byly zkoumány např. průzkumem Tesaře – Hudka (1971), ti však tyto břidlice popisují jako prachovité. Jejich přirozená vlhkost od úrovně ca 20 m pod erozní bází dosahuje 1,2–2,1 %, který již dále pravděpodobně neklesá. Stejně jako pórovitost, která je v rozsahu 4,0–9,0 %.

Pevnost hornin v prostém tlaku dosahují horniny šáreckých vrstev v rozsahu ca 2–20 MPa, což jsou podle ČSN 72 1001 třídy pevnosti R5 až R3. Šárecké břidlice jsou i přes své tektonické porušení odolnějším prvkem než sousední břidlice bohdalecké. Je to způsobeno vyšším stupněm zpevnění a siltovou nebo písčitou příměsí, které zlepšují jejich technické vlastnosti (Šimek 1969).

Šimek (1969) shrnuje přetvárné charakteristiky šáreckých břidlic následovně: pro navětralé vrstvy doporučuje modul přetvárnosti E_{def} v rozmezí 100–400 MPa, modul pružnosti E v rozmezí 200–800 MPa a Poissonovo číslo 0,2. Pro nezvětralé vrstvy uvedený autor doporučuje modul přetvárnosti E_{def} v rozmezí 400–1 000 MPa, modul pružnosti E v rozmezí 800–2 000 MPa a Poissonovo číslo 0,15. Pro zvětralé vrstvy jsou parametry nepříznivější. Rozpad šáreckých břidlic je roubíkovitý.

4.1.16 GT16 – TEKT (tektonické zóny, poruchové oblasti)

Tento geotyp shrnuje tektonické zóny, resp. poruchové oblasti různých geotypů. Nelze ho obecně charakterizovat konkrétními geotechnickými parametry. Jedná se o zóny tektonického drcení, které mají snížené pevnostní i deformační parametry. Často jsou tyto materiály charakteru zemin s obsahem sice pevných hornin, které ale nereprezentují vlastnosti geotypu jako celku.

Tektonické zóny a poruchové oblasti mají výrazně jiné mechanické vlastnosti než okolní nepostižený materiál. Jedná o hlíny písčité až jíly, s úlomky hornin, tříd (R6) R5–R4, s $E_{\text{def}} = 40–60$ MPa, $E = 80–120$ MPa, těžitelnost dle ČSN 73 3050 ve třídách 3–4, dle ČSN 73 6133 ve třídě I., vrtatelnost dle ceníku 800-2 II (Tůma – Chmelař – Hudek 2019; Dragoun 2019, 2020).

4.2 Shrnutí geotechnických parametrů pro vybrané geotypy

V této kapitole jsou přehledně shrnuty základní orientační geotechnické parametry zemin a hornin vybraných geotypů (**tab. 6**, **tab. 7**, **tab. 8**). Geotypy byly vybrány na základě jejich relevantnosti

ke stavbě tunelů. Geotechnické parametry byly získány rešerší inženýrskogeologických průzkumů uvedených v **kap. 4.1**. Českou geologickou službou nebyly provedeny žádné dodatečné laboratorní testy. Hodnoty uvedené níže vystihují vlastnosti daných zkušebních vzorků, nikoliv obecně pevnost skalního masivu či kvartérních uloženin in situ.

Tab. 6 Souhrnná tabulka výsledků testů abrazivnosti metodou CERCHAR Extrémně vysoká abrazivnost (CAI 4,42) byla zjištěna pouze u souvrství LtnJ, W1 - zdravé laminy jemnozrnného křemence R2. U dvou vzorků byla zjištěna střední abrazivnost (LtnP) a u ostatních (11 vzorků) byla zjištěna nízká abrazivnost (Tůma – Chmelař – Hudek 2019, Dragoun 2019, 2020).

vrt	hloubka	geotyp	zvětrání	hornina	pevnost	CAI	klasifikace
J3	42,3-43,0	Ln	W1	břidlice	R3	0,77	NÍZKÁ
HPJ4	16,1-16,6	LtnJ	W1	břidlice	R5	0,76	NÍZKÁ
HPJ4	34,5-36,0	LtnJ	W1	lamina křemence	R2	4,42	EXTRÉMNĚ VYSOKÁ
PJ7	79,2-79,6	LtnP	W1	břidlice	R4	0,85	NÍZKÁ
PJ9	23,5-24,0	Dbr	W1	břidlice	R5	0,68	NÍZKÁ
HJ11	80,1-80,6	Dbr	W1	břidlice	R4	0,91	NÍZKÁ
PJ14	40,4-41,8	LtnP	W1	břidlice	R3	0,97	NÍZKÁ
PJ14	46,3-48,0	LtnP	W1	břidlice	R3	1,03	STŘEDNÍ
HJ15	41,0-42,4	LtnP	W1	břidlice	R3/R4	0,76	NÍZKÁ
HJ15	45,3-47,0	LtnP	W1	břidlice	R3/R4	0,74	NÍZKÁ
HJ15	47,5-48,9	LtnP	W1	břidlice	R3/R4	0,87	NÍZKÁ
HJ16	72,0-74,0	LtnP	W1	jemn. pískovec	R3/R4	1,39	STŘEDNÍ
HJ16	76,7-78,7	LtnP	W2	břidlice	R4/R5	0,66	NÍZKÁ
HJ16	80,0-82,0	LtnP	W2	břidlice	R4	0,90	NÍZKÁ

Tab. 7 Základní orientační geotechnické parametry zemin vybraných geotypů ((Šimek 1969, Králová 1971b, tesař – Hudek 1971, Chmelař – Březina – Urban 2009, Vorel et al. 2009, Tůma – Chmelař – Hudek 2019, Dragoun 2019, 2020)

geotyp	obj. tíha v přirozenom uložení γ (kN.m ⁻³)	součinitel filtrace k_f (m.s ⁻¹)	jílová frakce (%)	symbol dle ČSN P 73 1005, ČSN 73 6133	Index plasticity (%)	vrcholový úhel vnitř. tření ϕ (°)	zdánlivá soudržnost (kPa)	modul přetvárnosti E_{def} (MPa)	modul pružnosti E (MPa)	poissonovo číslo ν (-)	tažitelnost dle ČSN 73 6133, 73 3050	vrtatelnost pilot dle ceníku 800-2
AN	18,0-21,0	10^{-6} - 10^{-8}	-	Y	-	20-28	5-20	2-15	10-30	0,30-0,40	I/2-4	I(-III)
Eol	18,0-20,0	10^{-7} - 10^{-8}	do 25	MS-CL	do 17	18-25	12-40	5-11	10-15	0,35-0,40	I/2-3	I
DI	18,5-20,5	10^{-7} - 10^{-9}	do 30	GM-CL	do 20	19-32	5-30	6-50	12-100	0,30-0,40	I/2-5	I-II
FI	18,0-22,5	10^{-4} - 10^{-7}	do 15	GM-CS	do 10	23-35	0-30	8-90	15-180	0,25-0,38	I/2-4	I-II

Tab. 8 Základní orientační geotechnické parametry hornin vybraných geotypů ((Šímek 1969, Králová 1971b, tesař – Hudek 1971, Chmelař – Březina – Urban 2009, Vorel et al. 2009, Tůma – Chmelař – Hudek 2019, Dragoun 2019, 2020)

geotyp	zvetráání	obj. tíha v přirozenom uložení γ (kN.m ⁻³)	součinitel filtrace k_f (m.s ⁻¹)	modul přetvárnosti E_{def} (MPa)	modul pružnosti E (MPa)	poissonovo číslo ν (-)	pevnost v tlaku σ_c (Mpa)	zatřídění dle ČSN 7301005, ČSN 73 6133	tažítelnost dle ČSN 73 6133, 73 3050	vrtatelnost pilot dle ceníku 800-2
Ltn	W5-W4	21,0	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁹	8-40	15-80	0,34-0,40	do 7	R5-R6	I/4	I
	W3	22,0	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁹	40-80	80-150	0,30-0,35	2-15	R4-R5	I/4	II
	W2	25,0	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁹	80-200	150-400	0,26-0,30	7-30	R4-R3	II/5	III
	W1	25,5	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁹	180-600	400-1200	0,22-0,26	15-40	R3-R4	III/5	III
Ln	W5-W4	20,5	10 ⁻⁹ -10 ⁻¹⁰	10	20	0,40	do 1,5	R6	I/4	I
	W3	22,0	10 ⁻⁹ -10 ⁻¹⁰	40	100	0,35	1,5-5	R5	I/4	II
	W2	25,0	10 ⁻⁹	100	200	0,30	5-10	R4	II/5	III
	W1	26,0	10 ⁻⁷	250	500	0,25	10-20	R3-R4	III/5	III
Dbr	W5-W4	20,5	10 ⁻⁷	8	20	0,40	do 1,5	R6	I/4	I
	W3	22,0	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁸	30	60	0,35	1,5-4	R5	I/4	II
	W2	25,0	10 ⁻⁸	80	250	0,30	4-8	R4	II/5	III
	W1	26,0	10 ⁻⁹	200	400	0,25	8-15	R3-R4	II/5	III
DbrS+Ln R	W5-W3	21,0-24,0	10 ⁻⁵	15-200	30-500	0,20-0,40	do 35	R6-R4	I/4	I-II
	W2-W1	24,0-27,0	10 ⁻⁵	200-1000	500-2000	0,15	35-80	R3-R2	II-III/5	III
Sa	W5-W3	21,0-23,0	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁶	10-100	20-200	0,30-0,40	do 5	R6-R5	I/4	I-II
	W2-W1	24,5-26,0	10 ⁻⁵	100-400	200-800	0,15-0,20	5-18	R3-R4	II-III/5	III

4.3 Vymezení geodynamických fenoménů

4.3.1 Svahové pohyby

Stavba ražených tunelů nebude ovlivněna v současné době známými a dokumentovanými svahovými pohyby.

Registrace svahových nestabilit je v ČR vedena systematicky a dlouhodobě od počátku šedesátých let minulého století. V současnosti nejsou registrovány v širším okolí navrhované stavby v Registru svahových nestabilit ČGS (https://mapy.geology.cz/svahove_nestability/; stav ke dni 10. října 2020) žádné sesuvy. Stavbě (varianta JIH) nejbližším geodynamickým jevem je potenciální sesuv evidovaný pod číslem 784, který byl vázán na již dávno ukončenou těžbu cihlářských hlín v aplanovaném hliništi „Na Panenské“, a dále sesuv registračního čísla 1980 situovaný při jižním okraji ÚVN, který byl publikován také v monografii „Regionálna inžinierska geológia ČSSR“ (Matula – Pašek 1986) na straně 118, v odborné komunitě známý pod označením „terasové domy“.

Zájmové území je náchylné k rozvoji svahových deformací pouze při okrajích křídové plošiny, které jsou postiženy starými frontálními blokovými pohyby. Zde díky zahloubení vodních toků vůči křídové plošině došlo k zestržení svahů a vytvoření vhodných podmínek pro vznik svahových deformací. Tyto relativně mělce založené geodynamické jevy nebudou ovlivňovat ani portálové části tunelů, včetně jejich hloubených částí, natož jejich ražené úseky.

V portálových částech je vznik antropogenně vyvolaného sesuvu možný pouze při nedodržení základních inženýrských postupů, nevhodné projekční přípravě případně při selhání zabezpečení stavebních jam.

4.3.2 Poddolování

Zájmová oblast nespadá do území ohroženého vlivem poddolování, ale v širším zájmovém území se nacházejí staré jímací štoly. V přímém nadloží (ale výškově bez kolize) se nachází vůči raženým tunelům pouze jímací štola III. Při ražbě tunelů nelze očekávat v horninovém prostředí výskyt důlních plynů (CH₄, CO, CO₂).

V křídových pískovcích byly zjištěny zazděné podzemní prostory, které v minulosti sloužily jako sklepy (**obr. 11a**). Rozsah těchto historických prostor je neznámý. Nicméně se vyskytují vysoko nad projektovaným tunelem (varianta JIH) a neporušují hydrogeologický izolátor peruckých vrstev.

4.3.3 Seismicita

Podle ČSN EN 1998-1 (73 0036) náleží zájmové území do oblastí s velmi malou seismicitou, hodnoty referenčního zrychlení základové půdy agR nepřesahují v dané oblasti 0,02 g. Podle ČSN EN 1998-1:2004 se doporučuje v dané lokalitě postupovat podle tabulky 3.3 (magnitudo povrchových vln Ms lze očekávat vyšší než 5,5°) s hodnotami parametrů popisujících spektrum pružné odezvy typu 2. Předmětné území spadá do typu základové půdy A (skalní horninový masiv nebo geologická formace typu skalních hornin při nadloží z měkčího materiálu v max. mocnosti do 5 m) a C (mocné sedimenty středně ulehlého nebo ulehlého písku a štěrku nebo tuhý jíl v mocnosti od několika desítek do stovek metrů).

4.3.4 Kras

V trase tunelů se nevyskytují horniny postižené krasovými jevy (např. silurské či devonské vápence) a nejedná se tedy o území s rizikem průvalů podzemních vod do podzemního díla tak, jak tomu bylo například při ražbě kanalizační stoky P v jižní části Prahy.

4.4 Export 3D geologického modelu pro navazující geotechnické simulace

4.4.1 Tvorba 2D řezů (podélné a příčné)

Z výsledného modelu bylo vytvořeno osm vertikálních geologických řezů – čtyři podél jednotlivých variant tunelů a čtyři příčné (jejich umístění bylo zadáno objednatelem) pro názornější vizualizaci litologické variability modelovaného území. Řezy jsou vybarveny shodně s modelem (**příloha 11**).

4.4.2 Možnosti 3D exportu modelu

Pro snadnou vizualizaci a prezentaci byly 3D modely exportovány ve formátu 3D PDF, který umožňuje sdílet vizualizaci hotových 3D modelů s využitím běžně dostupného freeware (např. Adobe Acrobat Reader).

Z modelu bylo po diskuzi se zadavatelem v prostředí software MOVE™ vytvořeno několik krátkých němých videí ve formátu *.mp4, která lze prezentovat bez větších nároků na dostupný hardware.

Dále byly modely zadavateli předány v nativním formátu MOVE™ 2019.1. V tomto formátu jsou pro lepší přehlednost i snazší manipulaci s modelem jednotlivé objekty, které model utváří, seskupeny do několika tzv. „user-defined sets“.

Kromě těchto možností je v budoucnu, již nad rámec aktuálního kontraktu, možno vybrané části modelu nebo i celý model exportovat pro využití v navazujícím software (např. pro geotechnické numerické simulace, projektové práce v CAD apod.). Pro tyto účely lze exportovat „mesh“, které utvářejí samotný model, ve formátu *.DXF nebo vytvořit (ne)pravidelnou hustou síť virtuálních vertikálních vrtů a exportovat takto vzniklé vrtné profily jako tabulku (např. ve formátu *.xls).

5 Závěry a doporučení

5.1 Posouzení dosud provedených předběžných průzkumů

Inženýrskogeologický průzkum je při přípravě tunelových staveb jedním z nejodpovědnějších oborů inženýrské geologie, poněvadž na něm záleží nejen hospodárnost vlastní konstrukce tunelu, ale i pracovních postupů, termín dokončení práce a mnohdy i bezpečnost stavebních prací. S hospodárným a kvalitním provedením podzemního díla je spjatá etapovitost geologických průzkumů.

V zájmovém území (**obr. 1, příloha 4**) bylo dosud provedeno mnoho různých inženýrskogeologických průzkumů, ze kterých byly čerpány základní charakteristiky horninového prostředí uvedené v této zprávě. Průzkumy, cílené pro výstavbu nového železničního propojení mezi stanicemi Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín, byly doposud provedeny celkem tři. Svou náplní a rozsahem by se daly zařadit do etapy orientačního inženýrskogeologického průzkumu ve smyslu ustanovení § 3, odst. 4, písm. a) vyhlášky č. 369/2004 Sb., o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek, ve znění pozdějších předpisů.

Chronologicky se jedná o následující průzkumy:

- 1) Tůma, P. – Chmelař, R. – Hudek, J. (březen 2019): MODERNIZACE TRATI PRAHA-VÝSTAVIŠTĚ (MIMO) – PRAHA-VELESLAVÍN (MIMO). Geotechnický průzkum ražených tunelů Střešovice: SO 06-25-02 Ražený tunel levý, SO 06-25-03 Ražený tunel pravý, SO 06-25-04 Větrací šachta Střešovice. – PÚDIS, a.s. Praha.**

Hlavním cílem tohoto průzkumu bylo ověření inženýrskogeologických poměrů v trase tunelové varianty v současné době označené jako SEVER. Řízení vrtných prací, návrh a umístění průzkumných vrtů provedl jako vyšší dodavatel průzkumu celé akce „Modernizace trati Praha-Výstaviště (mimo) – Praha Veleslavín (mimo)“ SUDOP Praha, a.s. Umístění a počet sond respektovaly požadavky projektanta (METROPROJEKT Praha, a.s.). Původní umístění průzkumných vrtů vyhloubených v srpnu 2018 vycházelo z vedení trasy „VARIANTA V 4“. Výsledky tohoto průzkumu, shrnuté závěrečnou zprávou z března 2019, jsou ale interpretovány na nové vedení trasy tunelů (tzv. „VARIANTA V 5“). Vrtné práce byly zahájeny v listopadu 2018 a byly ukončeny na konci ledna 2019. Celkem bylo odvrtno 11 jádrových vrtů v souhrnné délce 580,8 bm. Součástí průzkumu byla inženýrskogeologická dokumentace všech provedených vrtů v oblasti ražených tunelů včetně karotážních měření, presiometrické zkoušky ve vybraných vrtech, laboratorní zkoušky zemin a hornin, laboratorní zkoušky agresivity podzemní vody či zemin. V rámci daného průzkumu bylo realizováno množství zkoušek, které uvádí **tab. 10**. Součástí průzkumu bylo také měření dynamických účinků ve vrtu HPJ-4 Fyzikálního ústavu Akademie věd ČR.

Tab. 9 Počty zkoušek realizovaných průzkumem Tůmy – Chmelaře – Hudka (2019).

Typ zkoušky	počet
Indexové zkoušky	27
Smykové zkoušky	3
Prosedavost	2
Pevnost v prostém tlaku	20
Index pevnosti při bodovém zatížení	39
Obsah CaCO ₃	1
Stlačitelnost	2
Bobtnací tlak	1
Agresivita vody	1
Agresivita výluhu	5
Abrazivnost + petrografická analýza	6

Výsledkem průzkumu bylo posouzení inženýrskogeologických podmínek ražby železničních tunelů. Celá trasa byla rozdělena do celkem 9 kvazihomogenních celků, které byly vymezeny na základě výskytu jednotlivých geotechnických typů hornin v profilu podzemního díla a na základě inženýrskogeologických a hydrogeologických podmínek. Bylo upozorněno, že vlivem ražby tunelů dojde k dočasnému poklesu hladiny podzemní vody v nadloží a blízkém okolí tunelů. Toto ovlivnění je očekáváno především v ordovickém skalním podloží. Ovlivnění zvodně v pískovcích korycanských vrstev, které jsou izolovány od hornin ordoviku jílovcí peruckých vrstev, je považováno za málo pravděpodobné, což je v souladu se zjištěními ČGS. Ovšem tyto závěry neplatí pro oblast SO 06-25-04 Větrací šachta Střešovice, kde by hypoteticky mohlo dojít k propojení obou zvodní a ovlivnění křídové zvodně. Zde je nutné včas přijmout taková technická opatření, které toto potenciální propojení zvodní eliminují.

Pro celou trasu ražby tunelů byl také v souladu s řízením rizik doporučen minimální rozsah geomonitoringu při výstavbě a pro následné etapy geotechnického průzkumu byly též doporučeny oblasti a cíle následujících průzkumných prací.

Průzkum hodnotí ČGS jako velmi kvalitní vstupní podklad pro následný podrobný inženýrskogeologický/geotechnický průzkum vybrané varianty.

- 2) Dragoun, F. (srpen 2019): MODERNIZACE TRATI PRAHA-VÝSTAVIŠTĚ (MIMO) – PRAHA-VELESLAVÍN (MIMO), SO 06-25-01 Ražený tunel levý, SO 06-25-02 Ražený tunel pravý, SO 06-25-04 Větrací šachta Střešovice. Geotechnický průzkum. – SUDOP Praha, a.s. Praha.**

Tato zpráva doplňuje původní zprávu z března 2019 (viz výše) o nově vyhloubené vrtvy v úseku stavby se změnou jejího směrového vedení v oblasti vjezdového portálu (varianta JIH). Z důvodů komplexnosti průzkumných prací jsou ve zprávě ponechány vrtvy, laboratorní a technické zprávy a průzkumy i z původní etapy průzkumných prací. Získané informace tak podávají souhrnné a ucelené poznatky o geologické a hydrogeologické stavbě zájmového území. V rámci tohoto doplňkového průzkumu byly odvrtány pouze 3 nové vrtvy v celkové souhrnné délce 132 bm, z nichž bylo odebráno celkem 16 vzorků zemin a hornin k laboratorním rozborům.

Celkově tak průzkum víceméně vychází z dat průzkumu předešlého včetně závěrečného doporučení a hodnocení.

3) Dragoun, F. (2020): MODERNIZACE TRATI PRAHA-VÝSTAVIŠTĚ (MIMO) – PRAHA-VELESLAVÍN (MIMO), SO 06-25-01 Ražený tunel levý, SO 06-25-02 Ražený tunel pravý, SO 06-25-04 Větrací šachta Střešovice. Geotechnický průzkum – varianta STŘED. – SUDOP Praha, a.s. Praha.

Vzhledem k negativnímu postoji místní veřejnosti k vedení trasy budoucí stavby v jižní části vymezeného koridoru byla zvolena alternativní varianta „STŘED“. V této variantě zůstává vjezdový a výjezdový portál tunelů v původní poloze, dochází pouze ke směrové změně tunelů v jejich střední části. Tunelové stavby jsou vedeny přibližně v souběhu pod ulicemi Střešovická a Na Petřinách.

Tento průzkum tak doplňuje původní zprávu ze srpna 2019 o vrtvy nově vyhloubené v úseku stavby se změnou jejího směrového vedení – tj. v oblasti ulic Střešovická a Na Petřinách. Z důvodů komplexnosti průzkumných prací jsou ve zprávě ponechány vrtvy, laboratorní a technické zprávy a průzkumy i z původní hlavní etapy průzkumných prací z března 2019. Získané informace tak podávají doplněné souhrnné a ucelené poznatky o geologické a hydrogeologické stavbě zájmového území pro zvolení optimální varianty tunelových staveb.

Cílem prací tak bylo doplnění pouze dvou vrtů v hloubkách 58 a 90 m v trase varianty STŘED mimo společné vedení trasy s variantou JIH. Z těchto dvou vrtů pak bylo odebráno celkem 23 vzorků zemin a hornin k laboratorním rozborům. Česká geologická služba se podílela na geologické dokumentaci těchto dvou vrtů.

Závěry a doporučení z tohoto průzkumu ve své podstatě reflektují veškerá zjištění z předchozích dvou průzkumů, především pak z průzkumu Tůma – Chmelař – Hudek (2019).

V souhrnu výše citované průzkumy doporučují následující inženýrskogeologická opatření a další postupy:

- Pro následné fáze geotechnického průzkumu ověřit rozsah kvartérních sedimentů v oblasti u východního vjezdového raženého portálu.
- Uskutečnit v podélných profilech nad tunely a příčných profilech v oblasti ulic Milady Horákové, U Prašného mostu, Patočkova, U Brusnice soubor geofyzikálních měření s cílem upřesnit průběh povrchu paleozoického skalního podloží.
- Vyhloubit jádrové vrtvy v oblastech výše zmíněných ulic a dále zvážit ražbu průzkumné štoly, která by ověřila rozsah kvartérních sedimentů v profilu i bezprostředním nadloží tunelů. Při

tomto rozhodování však nutno vzít v potaz též možné deformační účinky průzkumné štoly ražené v zeminách na povrchovou zástavbu a inženýrské sítě.

- Ověřit pomocí hydrogeologických vrtů v oblasti střešovické plošiny tvořené křídovými sedimenty úroveň hladiny podzemní vody jak v ordovických horninách, tak i v křídových horninách. Úroveň hladiny podzemní vody v ordovických horninách pod křídovými horninami je v současnosti ověřena nepřímo pouze karotážním měřením a je důležitá pro dimenzování trvalého ostění tunelu. Znalost úrovně hladiny podzemní vody v křídových sedimentech je důležitá jak pro návrh SO 06-25-04 Větrací šachta Střešovice, tak pro stanovení dosahu případného ovlivnění křídové zvodně při jejím hloubení. Také by bylo vhodné vyhloubit hydrogeologický vrt v oblasti, kde jsou nejbližší trasy tunelů situovány historické jímací štoly, a v místě větrací šachty.
- Provést průzkum pro ověření svahových pohybů v oblasti PP Střešovické skály – inklinometrické a hydrogeologické monitorovací vrty.
- Doplnit průzkumné vrty mezi vrtem HJ-16 a vrty u západního výjezdového raženého portálu (HJ-8 a PJ-9) pro ověření hypotetické polohy velmi pevných, obtížně vrtatelných a rozpojitelných skaleckých křemenců v trase tunelů (nelze vyloučit výskyt pruhu křemenců v podloží křídových sedimentů).

S výše popsány závěry se ČGS více méně ztotožňuje a doporučuje jejich realizaci. Více je k dané problematice uvedeno v závěrečných doporučeních.

5.2 Porovnání jednotlivých variant – riziková analýza

Riziko lze definovat jako souběh pravděpodobnosti uskutečnění nežádoucího jevu a jeho důsledků, které uskutečnění onoho jevu pro nositele rizika má. Analýza geologických rizik představuje souhrn činností směřujících k identifikaci a kvantifikaci těchto rizik a hledání optimálních opatření v oblasti projektové dokumentace a vlastní výstavby, která mohou tato rizika účinně zmírňovat či vylučovat.

Při identifikaci inženýrskogeologických rizik výstavby tunelů a navazujících staveb se vycházelo z veškerých dostupných informací obsažených v archivních průzkumech použitých pro sestavení 3D geologického modelu (**příloha 4**), přičemž zásadní pro popis rizik byly také informace z vybraných odborných publikací – Záruba (1974), Matula – Pašek (1995), Rozsypal (2001), Rozsypal – Pruška (2019) a také aktuálně platných technických podmínek TP 76, část C (MD 2008), a rovněž ČSN P 73 1005.

Různá geologická rizika jsou způsobena nežádoucími jevy, jejichž příčina tkví ve spolupůsobení horninového prostředí se stavební konstrukcí během její výstavby a provozu. Při projektování tunelů a navazujících staveb (šťol, šachet apod.) je proto nutné mít na zřeteli, že horninové prostředí, ve kterém se podzemní díla budují, spolupůsobí s vlastní stavební konstrukcí. Současně však podzemní dílo podstatně do horninového prostředí zasahuje a trvale jej mění. Trvale změněn bývá napěťový stav horninového masívu, což klade zvláštní důraz na ostění podzemního díla, které musí část napětí přebírat. Nezanedbatelné změny probíhají i v případě lokálních hydrologických a hydrogeologických poměrů.

Informace týkající se inženýrskogeologických, resp. geotechnických rizik výstavby se odvíjejí od vlastností a charakteristik základních složek geologického prostředí. V případě zájmového území jsou těmito složkami myšleny zejména horniny a horninové prostředí, reprezentované jednotlivými geotypy, a hydrogeologické, resp. hydrologické poměry. Tyto složky představují úhelný kámen při popisu vytvořeného prostorového geologického modelu.

Trojrozměrné geologické modely mají velkou výhodu proti konvenčním 2D zobrazením takřka v neomezené variabilitě možností generování různých výstupů, jako jsou např. objemy hornin, řezy v libovolných místech nebo automaticky generované délky (v případě tunelů délky tunelových rour) v jednotlivých horninových geotypech. V **tab. 11** jsou uvedeny délky a procentuální zastoupení jednotlivých horninových geotypů v alternativních posuzovaných trasách. Jedná se o důležité zhodnocení a jde také o jeden z parametrů vstupujících do rizikové analýzy.

Pro každou variantu trasy tunelů byl vytvořen schématický obrázek ukazující průběh trasy (**obr. 31, obr. 32, obr. 33, obr. 34**). Zároveň byl pro každou trasu generován podélný profil ve směru východ-západ. Profily jsou součástí **přílohy 10**.

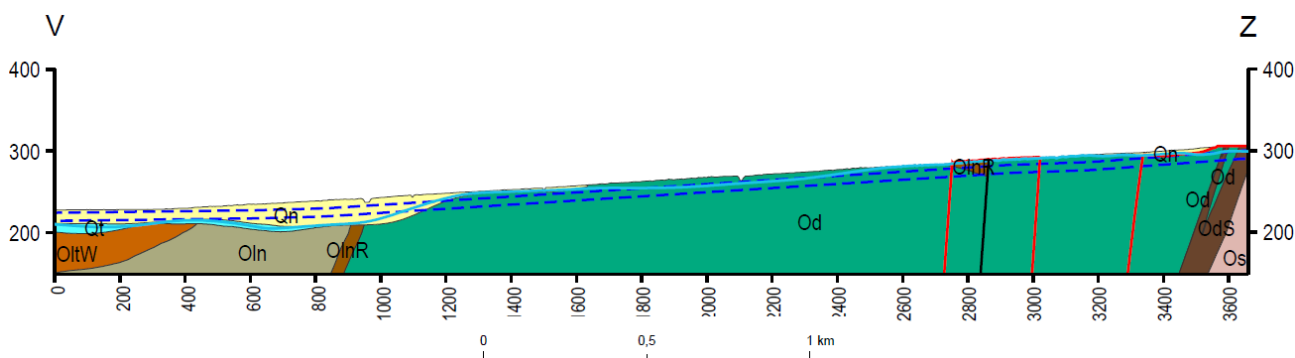
Tab. 10 Průnik jednotlivých variant tras tunelů s geologickými jednotkami. Zeleně jsou označeny příznivé hodnoty, červeně pak nepříznivé.

Celá trasa (okraje modelu)			hloubená		SEVER		STŘED		JIH	
Hornina	Stratigrafie	GT	m	%	m	%	m	%	m	%
Spraše, deluvium – Q nerozlišený	An, Eo, DI	GT1-4	1169	31,9	836	22,5	424	11,6	424	11,4
Fluviální štěrky – dejvická terasa	Fl	GT5	0	0,0	4	0,1	1	0,0	1	0,0
Jílovité břidlice – letenské	LtnJ	GT10	0	0,0	657	17,7	544	14,9	248	6,6
Písčité břidlice – letenské	LtnP	GT10	0	0,0	1114	29,9	1792	49,0	2315	62,0
Jílovité břidlice – libeňské	Ln	GT11	0	0,0	536	14,4	265	7,2	172	4,6
Křemence – řevnické	LnR	GT12	51	1,4	50	1,3	84	2,3	48	1,3
Jílovité břidlice – dobrotivské	Dbr	GT13	2388	65,2	472	12,7	497	13,6	473	12,7
Křemence – skalecké	DbrS	GT14	53	1,4	53	1,4	53	1,4	53	1,4
CELKEM			3661	100	3722	100	3660	100	3734	100

5.2.1 Varianta HLOUBENÁ

Popis trasy

Trasa prochází poměrně dlouhým úsekem v kvartérních sedimentech (sprašové hlíny a svahoviny) v délce kolem 1 170 m, což představuje ca 32 % celé délky. Poté se zahlubuje do břidlic dobrotivského souvrství, ve kterých probíhá převážnou částí a to v délce 2 390 m (přes 65 % trasy). V této části trasa probíhá paralelně v blízkosti rozhraní břidlic s pásmem řevnických křemenců a pokračuje až k významné severojižní tektonické linii. Za touto tektonickou poruchou opět pokračuje trasa v břidlicích dobrotivského souvrství podél geologického rozhraní – tentokrát díky posunu na zlomu se skaleckými křemenci. Křemence dohromady tvoří téměř 3 % trasy a byly modelovány v délce trasy kolem 100 m. Posledních ca 300 m za hranicí modelu pak probíhá trasa v šáreckém souvrství porušeném tektonikou (**obr. 31**).



Obr. 30 Průběh varianty HLOUBENÁ vůči litostratigrafickým jednotkám. Obrázek v plném rozlišení včetně legendy jsou obsahem přílohy 11.1. Převýšeno 2,5×.

Vyhodnocení trasy

Nejdelší část ze všech variant probíhá v kvartérních nezpevněných sedimentech (GT3/GT5), ve kterých bude obtížnější zabezpečení stěn výkopů a okolních staveb. Naopak zde budou horniny snáze těžitelné bez nutnosti používání těžkých rozpojovacích mechanismů. Převážná část trasy probíhá souběžně s rozhraním břidlic dobrotivského souvrství a řevnických křemenců (libeňské souvrství; GT12/GT11), kde lze očekávat různé zastoupení břidlic a křemenců paralelně s trasou po celé její délce. V této trase se tak v části výkopu může jeho hloubení setkat s obtížnou těžitelností křemenců a tím i výrazně zvýšenými náklady způsobenými obtížnou rozpojitelostí těchto mechanicky odolných hornin. V zájmové oblasti bylo dokumentováno také větší zvětvávání hornin ordovického podloží a zóny kolem tektonických poruch (GT16).

Lze očekávat větší přítoky vody do stavebních jam z mělkých zvodní. U této stavby navíc existuje vyšší riziko, že stavba vytvoří trvalou bariéru v horninovém prostředí a zabráni tak přirozenému proudění podzemní vody. Při trvalém snížení hladiny podzemní vody čerpáním může dojít např. k vyschnutí studní. Naopak trvalé zvýšení hladiny podzemní vody v důsledku zamezení proudění může mít nepříznivý vliv na místní základové poměry.

Varianta HLOUBENÁ probíhá – až na menší úseky – přes nejmenší počet litologických rozhraní v ordovických horninách, prakticky pouze přes jediné souvrství – dobrotivské břidlice (GT13), nicméně je vedena paralelně s hranicí libeňského souvrství, na které nelze přesněji predikovat a

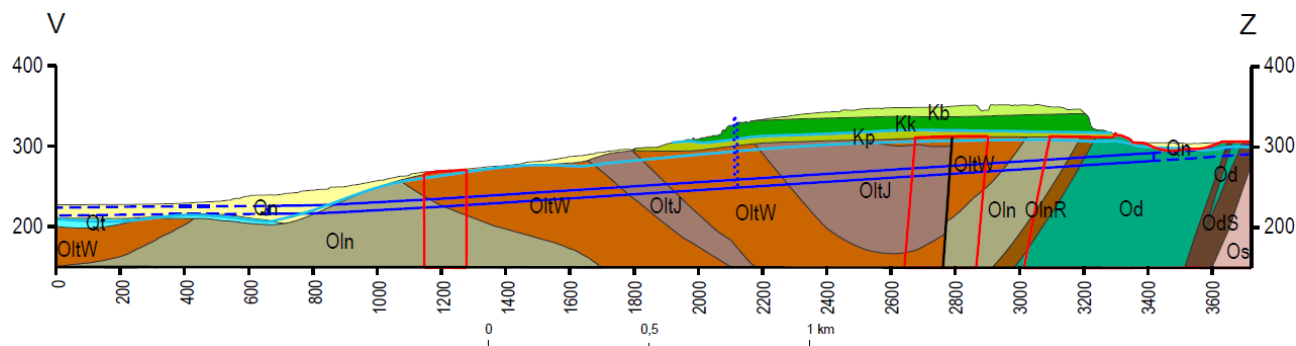
kvantifikovat výskyt pevnějších řevnických křemenců. Je pravděpodobné, že v severním křídle pražského synklinoria, prakticky na jeho okraji, bude tato hranice neprůběžná, zvlněná, křemence budou rozklouzané a zavlčené do větších mocností, než udává model, což zvyšuje nejistoty při provádění stavby.

5.2.2 Varianta SEVER

Popis trasy

Tato trasa zastihuje nejpestřejší geologii, kdy zprvu jako všechny ostatní varianty probíhá v mocnějších kvartérních sedimentech v délce kolem 850 m (23 % délky trasy). Poté se vlivem stočení více k severu dostává nejdříve do břidlic libeňského souvrství, aby po oblouku mohla přejít do nadložního souvrství letenského, a to jak v písčitéjší facii, tak posléze ve facii jílovité. Zde probíhá v souhrnné délce 1 770 m (což odpovídá 47 % trasy). Po cca 2,6 km se dostává trasa do široké oblasti tektonického porušení. Šířka této oblasti je kvalifikovaným odhadem předpokládána v desítkách metrů, maximálně do 200 m. Za tímto zlomem pak probíhá trasa opět v letenském souvrství a nakonec se dostává opět jako na svém počátku do libeňského souvrství.

Celkem tedy v břidlicích libeňského souvrství probíhá ca 650 m (18 % trasy). Pestrost geologických poměrů pokračuje v trasování přes řevnické křemence (50 m; 1,3 %), břidlice dobrotivského souvrství (472 m; 12,7 %), skalecké křemence (ca 50 m; 1,4 %) a sled ukončují již mimo model břidlice šárecké souvrství. Ke konci trasy je pak složitá tektonika. Varianta SEVER tak ze všech navržených tras nejvíce střídá litologická rozhraní (celkem 9x) – **obr. 32**.



Obr. 31 Průběh varianty SEVER vůči litostratigrafickým jednotkám. Obrázek v plném rozlišení včetně legendy jsou obsahem přílohy 11.2. Převýšeno 2,5x.

Vyhodnocení trasy

Z tunelových variant probíhá tato trasa nejdelší částí v kvartérních nezpevněných sedimentech (GT3/GT5), což přináší zvýšené nároky na výstavbu a častější změny v technologickém postupu. V kombinaci s méně mocným nadložením a vzhledem k parametrům sprašových hlín získala tato varianta mezi raženými horší hodnocení. Vzhledem k trasování k severu, poté k jihu a opět k severu několikrát přechází přes rozhraní litostratigrafických jednotek (geotypů) libeňského, letenského, dobrotivského a šáreckého souvrství (GT9–GT14), na kterých lze očekávat drčené zóny, prokluzu a zvodnění – jedná se o celkem 9 rozhraní, která mohou ovlivňovat technologii ražby pomocí TBM. To vše umocňuje fakt, že přes většinu těchto rozhraní prochází trasa ve velmi ostrých úhlech až skoro paralelně s nimi. Varianta SEVER přechází, podobně jako všechny ostatní varianty, přes významnou

tektonickou poruchu severojižního směru s dextrálním posunem (GT16), která má odhadovaný dosah ovlivnění horninového masivu až 200 m.

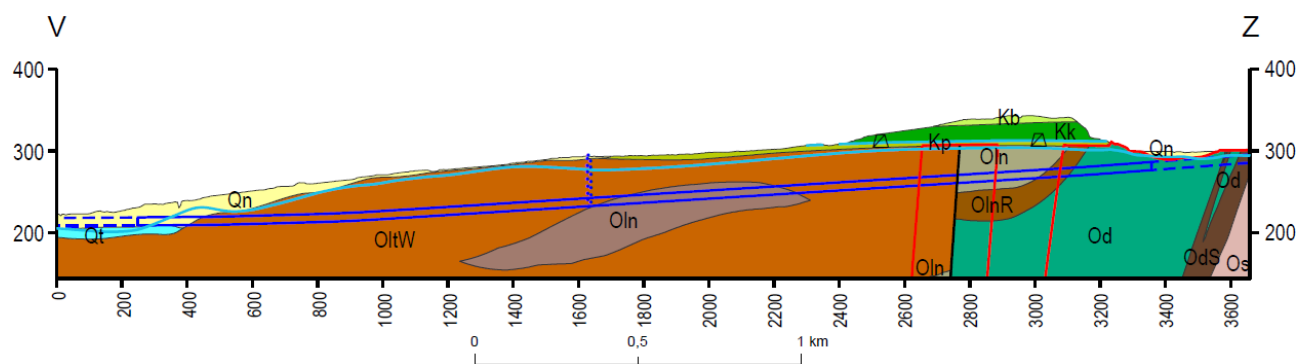
5.2.3 Varianta STŘED

Popis trasy

V první fázi ražby má stejný průběh jako varianta JIH. Obě varianty tak jdou nejkratším úsekem v kvartérních sedimentech – a to ca 420 m (tj. 11,6 % celkové trasy). Pak se již na dlouhou vzdálenost (2 340 m, ca 65 % celkové délky trasy) až po tektonickou zónu vnoří do letenského souvrství, a to jak v písčitéjším, tak jílovitém vývoji. Odlišná od varianty JIH je tato varianta především v průchodu horninovým prostředím za tektonickou poruchou severojižního směru.

Po překonání této ca 100 až 200 m široké poruchové zóny pokračuje trasa rovnoběžně s předpokládaným průběhem libeňského souvrství, resp. obou jeho facií – břidlic a řevnických křemenců. Díky posunu na zlomu se tak trasa dostává nikoli opět do letenského souvrství, nýbrž právě na rozhraní břidlic libeňského souvrství a řevnických křemenců. V nich probíhá ca 260 m, resp. 80m (procentuálně 7,2 % a 2,3 % z celkové délky trasy). U severní roury se očekává procentuální zastoupení křemenců ještě mnohem vyšší. V tomto úseku lze očekávat výrazněji nehomogenní prostředí, a navíc míra nejistot modelu je v této málo prozkoumané části poměrně vysoká. Do této oblasti proto ČGS doporučuje zacílit následující etapy průzkumných prací. Pozice křemenců v této zóně byla vymezena pouze na základě posunu na zlomu, identifikovaném v odkryté části ordoviku. Zde pod křídlovým pokryvem tedy došlo k odvození a interpretaci geologické stavby na základě předpokladu rovnoměrného posunu podél zlomu po celé jeho délce.

Z křemenců pak trasa pokračuje sledem břidlic dobrotivského souvrství v délce 500 m (13,6 %), následuje poloha skaleckých křemenců (ca 50 m, 1,4 % trasy). Všechny varianty mají pak ukončení totožné, a to v šáreckém souvrství postiženém intenzivnější tektonikou již mimo okraj modelu (**obr. 33**).



Obr. 32 Průběh varianty STŘED vůči litostratigrafickým jednotkám. Obrázek v plném rozlišení včetně legendy jsou obsahem přílohy 11.3. Převýšeno 2,5×.

Vyhodnocení trasy

Varianta STŘED má spolu s variantou JIH nejmenší podíl v kvartérních, většinou nesoudržných sedimentech (GT3/GT5), což zlepšuje hodnocení obou variant. Z velké části, až po tektonickou linii, probíhá v relativně homogenním celku letenského souvrství, jež je historicky

z inženýrskogeologického pohledu poměrně dobře charakterizované (GT10). Až po tektonickou poruchu má tak podobné inženýrskogeologické poměry jako varianta JIH.

Za zmíněnou tektonickou poruchou severojižního směru (GT16) pak trasa zřejmě probíhá paralelně s rozhraním křemenců a břidlic libeňského souvrství (GT12/GT13), kdy je vysoce pravděpodobné, že jedna tunelová roura bude procházet právě křemenci a druhá břidlicemi nebo část profilu jedné roury bude dokonce probíhat v rozhraní křemence/břidlice, což by ovlivňovalo ražbu. Toto zjištění tak znevýhodňuje variantu STŘED oproti variantě JIH, která se do takových problematických zón s největší pravděpodobností nedostane. V těchto místech za tektonickou poruchou má 3D model nejvyšší míru nejistot.

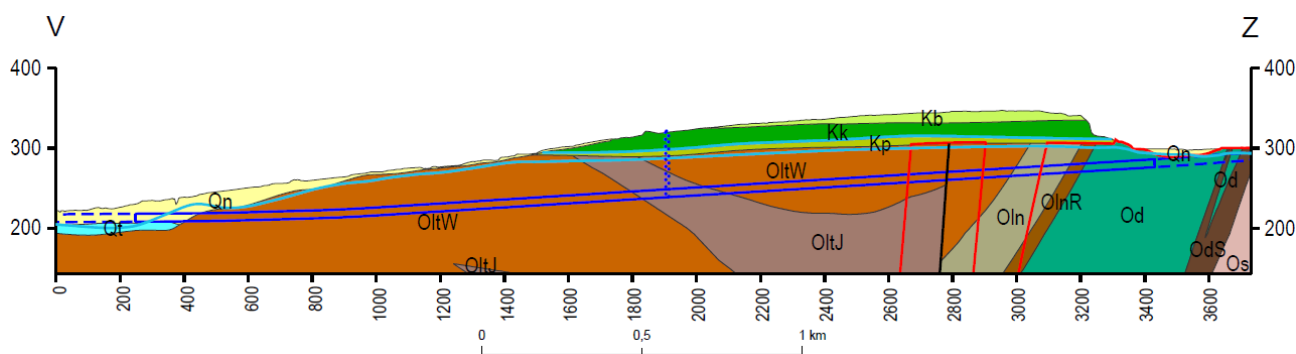
5.2.4 Varianta JIH

Popis trasy

V první fázi ražby má stejný průběh jako varianta STŘED. Obě varianty tak jdou nejkratším úsekem v kvartérních sedimentech – a to ca 420 m (tj. 11,6 % celkové trasy). Pak se již tato varianta na dlouhou vzdálenost (2 560 m, ca 69 % celkové délky trasy), až po tektonickou zónu, vnoří do letenského souvrství, a to jak v písčitéjším, tak jílovitém vývoji.

Odlišná od varianty STŘED je tato varianta především v průchodu horninovým prostředím za tektonickou poruchou severojižního směru (**obr. 38, obr. 40**). Po této až 200 m mocné poruchové zóně totiž pokračuje trasa i nadále v břidlicích letenského souvrství, na rozdíl od složitějšího přechodu na rozhraní břidlic a křemenců ve variantě STŘED. Celkem tak prochází v letenském souvrství ca 2 560 m, což představuje téměř 69 % celé trasy v jednom geotypu.

Až poté se varianta JIH téměř kolmo stává ke sledu pestřejších hornin: břidlic libeňského souvrství (170 m, resp. 4,6 %), částečně řevnických křemenců (ca 50 m, což odpovídá 1,3 % celkové trasy), břidlic dobrotivského souvrství (470 m, 12,3 %) a skaleckých křemenců (50 m, 1,3 %), což je z pohledu průchodu tímto horninovým sledem pozitivní. Trasa jako všechny ostatní končí mimo model v břidlicích šáreckého souvrství (**obr. 34**).



Obr. 33 Průběh varianty JIH vůči litostratigrafickým jednotkám. Obrázek v plném rozlišení včetně legendy jsou obsahem přílohy 11.4. Převýšeno 2,5×.

Vyhodnocení trasy

Varianta JIH, stejně jako varianta STŘED, prochází nejkratším úsekem v kvartérních, většinou nesoudržných sedimentech (GT3/GT5). Z velké části, a to i za tektonickou linií severojižního směru (GT16), probíhá v relativně homogenním celku letenského souvrství (GT10). Ve vztahu ke křemencovým polohám a mezivrstevním prokluzům probíhá trasa téměř kolmo, resp. pod největším úhlem ze všech variant, což je příznivější, než postup rovnoběžně s mezivrstevními plochami či ve velmi ostrém úhlu (**obr. 38, obr. 40**). Ze všech variant má tak varianta JIH nejpříznivější geologické poměry a v rizikové analýze pozitivně ovlivňuje především parametry 8, 13 a 15 (**tab. 12**).

5.2.5 Vyhodnocení objemů výrubů k jednotlivým geotypům

Jedním z hodnocených parametrů je také kvalita horninového prostředí, která odráží rychlost postupu ražby pomocí TBM. V následujícím odstavci je shrnut postup výpočtu objemů pro jednotlivé varianty. V Tab. 9 je uvedeno předběžné rozdělení výrubu jednotlivých tunelových variant pro metodu TBM dle zastížených litologií. Idealizované objemy horninových typů odpovídají vždy jižní rouře jednotlivých variant od portálu po portál (lokace portálů byly dodány objednatelem). Objemy jsou kalkulovány z průměru výrubu 9,9 m.

Pro výpočet byl využitý nástroj "Spatial join" litologií a "Planarized" průběhu spodní hranice tunelu. Získané plochy „S“ byly dosazeny do vzorce $V=S/2r \times \pi r^2$ pro výpočet objemů. Pro porovnání je uvedena také varianta HLOUBENÁ, i když u ní objemy nejsou reálné. I u této varianty byly totiž objemy počítány pomocí stejných nástrojů za předpokladu průměru výrubu 9,9 m tak jako u TBM. Hodnoty tak neodpovídají a z podstaty jiné technologie hloubených jam ani nemohou odpovídat skutečnosti. Procentuální zastoupení jednotlivých geotypů v průběhu budoucího tunelu ale reálné více méně je. Smyslem zahrnutí varianty HLOUBENÁ do tabulky tak bylo především přiblížit a srovnat s ostatními variantami celková procenta trasy v jednotlivých geotypech, která už odpovídají skutečnosti.

Z tabulky lze odvodit následující geologické trendy (+/-; ovlivnění parametrů 7 a 15 z **tab. 12**):

Varianta HLOUBENÁ (nehodnoceno, hodnoty objemů nejsou reálné)

Varianta SEVER

- Největší heterogenita v geologickém prostředí, žádné geotypy výrazně nedominují, časté střídání různých horninových typů, což se odráží v horších podmínkách pro tunelovací štít.

Varianta STŘED

- Největší podíl v křemencích, do kterých se trasa pravděpodobně dostane po přechodu hlavní tektonické poruchy (s posunem západní části k jihu).

- Jižní a severní tunelová trouba vede v různých geotypech.

Varianta JIH

+ Přes 80 % objemů prochází v jednom geotypu (GT10), tj. v letenském souvrství, které je relativně dobře prozkoumáno.

Tab. 11 Rozdělení výrubu jednotlivých tunelových variant pro TBM dle zastížených litologií. Idealizované objemy horninových typů odpovídají vždy jižní rouře jednotlivých variant. Objemy jsou kalkulovány z průměru výrubu 9,9 m. Pro výpočet byl využitý nástroj "Spatial join" (Have their center in) litologií a "planarized" průběhu spodní hranice tunelu. Získané plochy se použily do vzorce $V=S/2r*\pi r^2$ pro výpočet objemů. Zeleně jsou označeny příznivé hodnoty, červeně pak nepříznivé. .Pozn. Hodnota pro GT 15 je expertní odhad zastoupení tektonicky porušených hornin, který by se podle skutečně zastížených poměrů odčítal od dané horniny, kterou porušuje. Procentuálně jde o min.5 až max.10% celkového výrubu.

TBM (mimo hloubenou)			hloubená		SEVER		STŘED		JIH	
Hornina	Stratigrafie	GT	m ³	%	m ³	%	m ³	%	m ³	%
Spraše, deluvium – Q nerozlišený	An, Eo, DI	GT1-4	70720	27,0	13660	6,4	13540	5,7	13540	5,7
Fluviální štěrky – dejvická terasa	Fl	GT5	0	0,0	0	0,0	90	0,0	90	0,0
Jílovité břidlice – letenské	LtnJ	GT10	0	0,0	50560	23,8	41890	17,5	19080	7,8
Písčité břidlice – letenské	LtnP	GT10	0	0,0	85760	40,4	137890	57,7	178080	72,7
Jílovité břidlice – libeňské	Ln	GT11	0	0,0	41240	19,5	20350	8,5	13240	5,4
Křemence – řevnické	LnR	GT12	3930	1,5	3830	1,8	6490	2,7	3700	1,5
Jílovité břidlice – dobrotivské	Dbr	GT13	183700	70,0	17060	8,1	18980	7,9	17180	7,0
Křemence – skalecké	DbrS	GT14	4070	1,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0
tektonická zóna	TEKT	GT15	<26240	<10	<21210	<10	<23920	<10	<24490	<10
CELKEM			262420	100	212110	100	239230	100	244910	100

5.2.6 Souhrnné hodnocení minimalizace rizik

Výstavba inženýrských staveb, specificky tunelů, je charakteristická vyšší mírou rizik při jejich realizaci. Podzemní stavby jsou více rizikové především díky své komplexnosti a složitosti horninového prostředí, které navíc v podmínkách městských aglomerací často není možné podrobněji prozkoumat. Dalšími faktory, ovlivňující výstavbu tunelových staveb, jsou i socio-ekonomické aspekty.

Cílem prací ČGS bylo **specifikovat a vymežit geologické podmínky v zájmovém území a definovat z nich plynoucí geologické procesy, jež ovlivňují výstavbu celého díla** – vše na základě nově vytvořeného geologického 3D modelu. Poznáním geologických poměrů v 3D modelu lze tato rizika vymežit (identifikovat a kvantifikovat) a v dalších procesech výstavby také řídit (kontrolovat a snižovat nebo eliminovat).

Hlavním ukazatelem a číslem, které vstupuje do rizikové analýzy, je „pravděpodobnost uskutečnění nežádoucího jevu“. Pravděpodobnost uskutečnění nežádoucího jevu byla hodnocena podle následující bodové stupnice (Rozsypal – Pruška 2019):

- 1 – Vznik nebo projev nežádoucího geologického jevu je považován za nemožný, ale nelze jej ale zcela vyloučit.**
- 2 – Vznik nebo projev nežádoucího geologického jevu je málo pravděpodobný.**
- 3 – Uskutečnění či neuskutečnění nežádoucího geologického jevu je stejně pravděpodobné. Lze ho však očekávat nejvýše jednou.**
- 4 – Je velmi pravděpodobné, že nežádoucí jev se během realizace projektu uskuteční vícekrát.**
- 5 – Je téměř jisté, že ke vzniku nežádoucího geologického jevu dojde mnohokrát během existence projektu.**

Bodové hodnocení je tedy nastaveno tak, že lze dosáhnout minima **18 bodů = varianta zcela bez rizik**, kde vznik nebo projevy nežádoucích geologických jevů lze považovat za téměř nemožné, až po maximum **90 bodů = varianta extrémně riziková**, kde je téměř jisté, že ke vzniku všech nežádoucích geologických jevů dojde mnohokrát během realizace projektu. Geologické jevy ovlivňující jednotlivé varianty tras nového propojení železničních stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavin jsou stručně popsány níže a přehledně shrnuty v **tab. 13**. Vybrané jevy jsou také znázorněny na **obr. 35, obr. 36, obr. 37, obr. 38, obr. 39, obr. 40**.

Agresivní podzemní voda

Paleozoické horniny se vyznačují poměrně vysokými obsahy pyritu a z vrtů jsou dokumentovány také vyrostlice sádrovce, čímž je dané území předurčeno k vyšší agresivitě podzemní vody. Ta se pohybuje kolem stupně XA2 a největší agresivitu vykazují podzemní vody v souvrství libeňském a letenském, naopak podzemní vody vyskytující se v křemencích by měly mít agresivitu nižší. S vyšší agresivitou podzemní vody je tak nutné počítat prakticky ve všech variantách tras tunelů.

Nadměrné přítoky podzemní vody do tunelu

Všechny varianty tras probíhají z velké části pod hladinou podzemní vody. Důležitým faktem je, že žádná z variant nezasáhne volnou zvodeň v dejvické terase, která by mohla v případě konfliktu s trasou významně ovlivnit realizaci tunelu. Největší přítoky lze očekávat podél tektonických poruch, které prozatím nejsou dostatečně prozkoumány. Problematické by mohly být také přítoky vody do hlubokých stavebních jam ve variantě HLOUBENÁ.

Dlouhodobé snížení hladiny podzemní vody drenážní funkcí tunelu

Vlivem ražby tunelů dojde k dočasnému poklesu hladiny podzemní vody v nadloží a blízkém okolí tunelů, a to především v ordovické zvodni. U hloubené varianty se počítá s největším ovlivněním. Je velmi nepravděpodobné, že vlastní tunelovou stavbou by mohlo dojít k ovlivnění křídové zvodně.

Snížení hladiny podzemní vody v ordovické zvodni lze považovat u ražených variant za dočasné, u varianty hloubené existují reálné předpoklady, že toto snížení bude trvalé.

Přítomnost podmáčených území nad tunelovým dílem

Podmáčená území jsou historicky známa při severním úpatí střešovické plošiny na bázi jílu peruckých vrstev. Právě zde totiž vytékaly vody z křídových zvodní a sytily lokální terénní deprese, čímž vznikaly i menší rybníčky (např. park zámečku Veleslavín). Dále byla podmáčená území identifikována také v údolí Dejvického potoka, resp. hladina podzemní vody je zde velmi mělce pod povrchem. Přítomnost podmáčených území tak nemá vliv na varianty tras ražené pomocí TBM, které procházejí v dostatečné hloubce pod takto podmáčeným územím. Nejhůře je z tohoto pohledu hodnocena varianta HLOUBENÁ, která může být mělkou hladinou podzemní vody nejvíce ovlivněna. U ostatních variant se jedná pouze o krátké úseky od portálů vně tunelu.

Propojení vodních horizontů tunelem

V modelu byly vyčleněny celkem tři zvodně, které mají odlišnou genezi. První zvodně je vázána na terasové štěrky Vltavy (dejvická terasa, GT5), druhá je vyvinuta v křídových pískovcích (GT7) a třetí je smíšená zvodně v ordovických horninách a jejich zvětralinách (GT9–GT15). Tyto zvodně spolu komunikují pouze při okrajích v závislosti na piezometrických poměrech, většinou dochází k přetokům – ať již přímým, či zprostředkovaným – z vyšších zvodní do nižších (kvartér → křída → ordovik; kvartér → ordovik). Možnost propojení zvodní je z pohledu ražby metodou TBM velmi nízká. Křídová zvodně je oddělena od ordovické izolátorem jílovců peruckých vrstev (GT8) o mocnosti kolem 6–8 m. Tato přirozená hydraulická bariéra nebude porušena případnou ražbou tunelů metodou TBM. Zvodně ve štěrkové dejvické terase s volnou hladinou podzemní vody se nachází pod bázi tunelové roury, a tudíž nemůže dojít k jejímu ovlivnění drenážními účinky tunelu. A to ani při jejím nastoupaní na maximální možnou úroveň. Ordovická zvodně bude v bezprostředním okolí stavbou tunelů dotčena, nicméně jedná se o samostatnou zvodně, jejíž ovlivnění nebude interferovat s jinými zvodněmi.

Propojení vodních horizontů větrací šachtou

V rámci modelu byly vyčleněny tři zvodně – první je v terasových štěrcích Vltavy (dejvická terasa), druhá je v křídových pískovcích a třetí v ordovických horninách a jejich zvětralinách. K propojení těchto zvodní tedy může dojít pouze tam, kde větrací šachta tyto zvodně sama prochází. K takovému scénáři může dojít pouze u variant SEVER a JIH. Z tohoto důvodu je také mírně odlišné bodové hodnocení variant JIH a SEVER (s šachtou v křídové zvodni) a varianty STŘED (s šachtou hloubenou pouze v ordoviku). Podobně i varianta HLOUBENÁ nemůže protnout dvě zvodně. Případné propojení zvodní větrací šachtou by v případě kvalitně provedeného utěsnění nemělo ovlivnit vydatnost křídové zvodně, popř. vytvořit depresní kužel. Podrobněji v **kap. 5.3.1**.

Rozložená hornina v poruchách

Z dostupných vrtných jader, a především z dokumentace stanice Bořislavka při výstavbě metra A lze odvozovat charakter hornin podél hlavní tektonické poruchy probíhající severojižním směrem. Horninový masiv je v této části velmi heterogenní a rozložená hornina se vyskytuje v poměrně

velkých mocnostech. Hornina je promísená s dokumentovanými budinami. Často se střídá s relativně pevnějšími celky, kde je masiv rozpukaný a s menším rozevřením na plochách diskontinuit. Výjimečně byly zjištěné až jílovité zeminy. Index RQD se u vrtných jader pohybuje pod 25. Generelně lze tedy očekávat ve zjištěné poruše místy až zcela zvětralé horniny. Při povrchu, kde působí navíc exogenní procesy, bude hornina rozložená ještě ve větší míře, což se odráží v hodnocení hloubené varianty.

Rychlý a opakovaný střídavý výskyt měkkých a tvrdých hornin

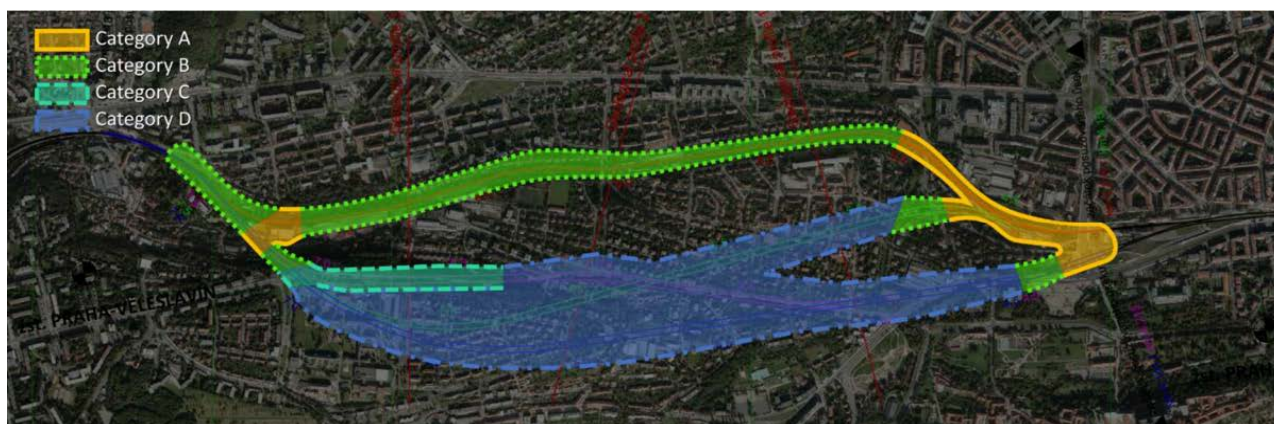
Ordovické horniny uložené v pražském synklinoriu jsou ze své podstaty uloženy tak, že se střídají měkkčí a tvrdší horniny. V zájmovém území tak často dochází ke střídání především jílovitých břidlic a křemenců, ale také jsou v rámci jednotlivých souvrství zastoupeny písčitéjší tvrdší polohy a jílovitéjší polohy měkkčí. Tento parametr je tak jeden z nejdůležitějších v rámci přípravy stavby. Proto varianta HLOUBENÁ, která prochází na pomezí takových dvou horninových typů (břidlice/křemence), má výrazně vyšší bodové ohodnocení. Podobně varianta SEVER svou trajektorii často zabíhá do nadložních a poté zase do podložních vrstev, čímž dochází k častému střídání měkkých a tvrdších hornin. Varianta JIH z tohoto pohledu vychází s nejnižším bodovým hodnocením.

Neočekávaný výskyt podzemních prostor pod nebo nad tunelem

V ražené části tunelu v místech použití TBM je prakticky vyloučen výskyt podzemních prostor, ať už přirozených či antropogenních. A to jak nad, tak pod tunelem. V hloubených přípovrchových částech je logické, že z důvodu poměrně velké antropogenní modelace území takové prostory v dosahu tunelu budou. Ať už se bude jednat o kanalizace, kolektory, staré zasypané jámy, těžebny či např. zbytky starých sklepů. Takové antropogenní projevy musí být odhaleny v průběhu podrobného inženýrskogeologického průzkumu.

Poklesy povrchu terénu při ražbě podzemního díla

U tohoto parametru byly převzaty hodnoty ze studie Thewes a kol. (Ruhr-Universität Bochum) – viz **obr. 33**. Z variant ražených TBM vychází mírně horší parametry pro varianty STŘED a SEVER a největší poklesy jsou očekávány u varianty HLOUBENÁ.



Obr. 34 Legenda: Category A: Pro zmírnění rizik sedání jsou nutná technická opatření. Category B: Možné riziko způsobené sedáním. Category C: Nízké riziko způsobené sedáním. Category D: Vliv tunelování je pravděpodobně zanedbatelný (Thewes a kol. 2020)

Nebezpečí kontaktu s neočekávanou tektonickou poruchou

Jak již bylo zmíněno, ve 3D geologickém modelu zřetelně vychází významná severojižní tektonická porucha, která odsunuje přirozený geologický sled hornin (více v kapitole 3.3.). V západní části zájmového území byla identifikována další porucha, jejíž průběh byl sestaven pouze na základě expertního geologického odhadu. Lze předpokládat, že dílčí poruchy se mohou vyskytovat i v jiných částech modelu. Svým rozsahem zlomovou strukturu, podobnou té v západní části modelu, s posunem vrstev v řádu 100 a více metrů však již v modelu očekávat nelze. Takové nebezpečí je ale rovnocenné pro všechny varianty.

Nízká mocnost únosné horniny nad tunelem

Jde o parametr, se kterým se lze setkat u všech tunelových variant především ve východních úvodních částech kolem portálu. Z tohoto pohledu vychází nejhůře varianta SEVER, která má nejdelší část s nízkou mocností únosné zeminy nad tunelem, následovaná shodně variantami STŘED a JIH. Pro variantu HLOUBENÁ platí určitá specifika, kdy tento parametr není zcela relevantní, protože výstavba probíhá jinou technologií, nicméně tento parametr bude ovlivňovat stavbu prakticky po celé délce tunelů.

Nepříznivá orientace diskontinuit či poruch vůči orientaci tunelů

Hlavní zjištěný zlom probíhá kolmo na všechny 4 varianty, což je relativně příznivá orientace pro ražbu metodou TBM. Orientace hlavních mezivrstevních ploch a prokluzů ovšem většinou probíhá paralelně s vedením tunelových tras, tzn. ve směru východ–západ. To se také projevilo na hodnocení severní a hloubené varianty, které probíhají větší částí podél těchto oslabených zón.

Výplň diskontinuit bude mít výrazně nižší smykovou pevnost

Z dosavadních znalostí a průzkumů lze očekávat prostoupení území nejen lokálními zlomy a výraznější tektonikou, ale také křehkým porušením. Tyto výplně mohou mít nižší smykové parametry. Takovéto zkoumání musí být součástí podrobnějšího průzkumu. Pro všechny varianty má tento parametr stejné hodnocení.

Délka trasy tunelu v nesoudržných kvartétních zeminách

Jedná se opět o kvantitativní ukazatel, který lze dobře odhadnout na základě 3D geologického modelu. Tento parametr výstižně charakterizují **tab. 11** a **tab. 12**. Zde jednoznačně dominují jako nejlepší varianty STŘED a JIH.

Výskyt vysoce abrazivních (těžko rozpojitelných) hornin

Abrazivita hornin ovlivňuje čas pracovních operací při rozrušování hornin zejména při plnoprofilovém způsobu ražby; míra opotřebení řezných nástrojů podmiňuje hospodárnost zvolené technologie. Z hornin vyskytujících se v zájmové oblasti se vysoká abrazivita obecně vyskytuje u křemenců, o něco menší je pak u pískovců a drob. Břidlice mají abrazivitu nejnižší. Nejvyšší počet bodů tak získala varianta HLOUBENÁ, protože její trasa je navržena v těsné blízkosti výskytu pruhu

řevnických křemenců. U ostatních variant je očekávána nižší pravděpodobnost výskytu těžko rozpojitelných hornin.

Rychlejší průběh geodynamických procesů

Z pohledu geodynamických jevů je celá zájmová oblast relativně bezpečná. Pro dané tunelové stavby není rizikem existence podzemních kaveren a krasových dutin tak, jak je tomu jižněji v rámci Prahy např. v oblasti plánovaného tunelu Radlice (v severním okraji pražského synklinoria v místě stavby tunelů se totiž nenachází mladší devonské vápence). Rovněž svahové deformace, vázané na okraje střešovického návrší, nebudou ovlivňovat hlouběji vedený tunel ani portálové oblasti.

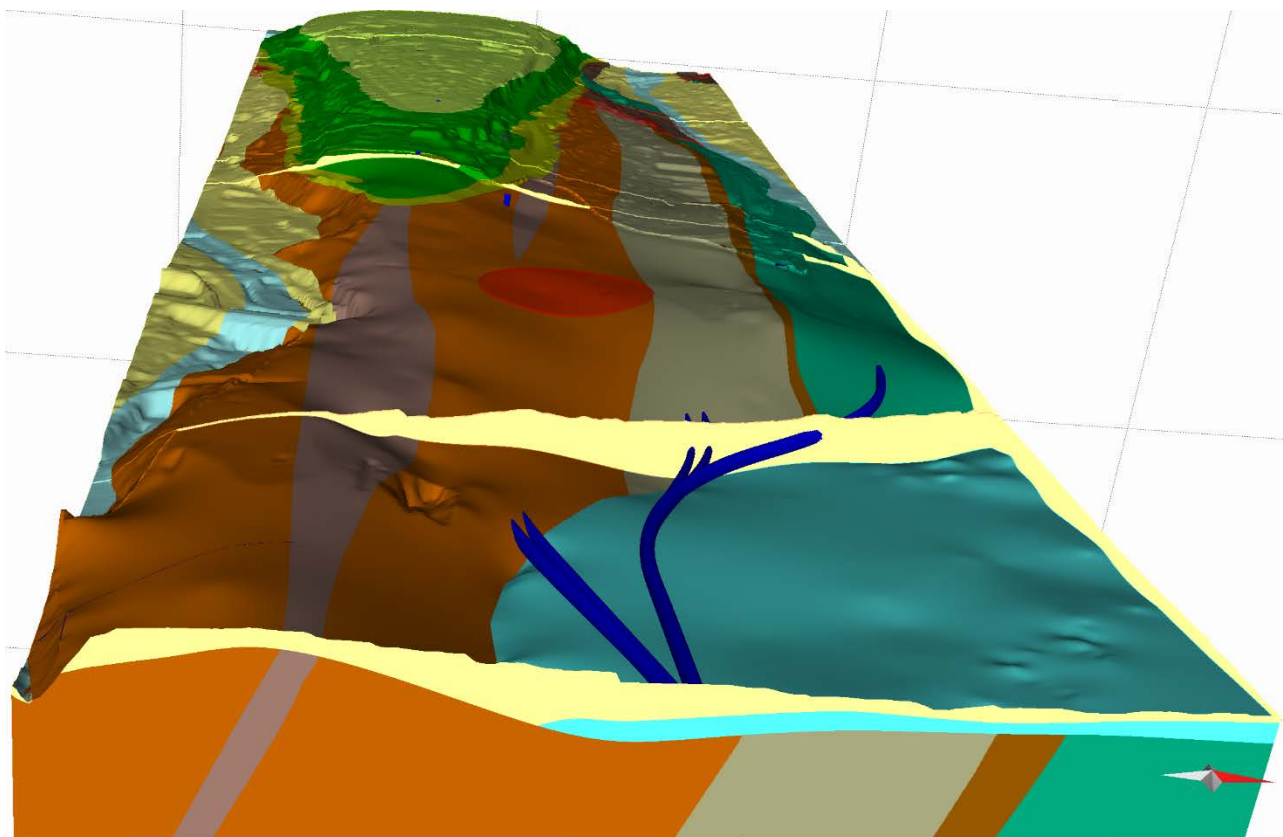
Poškození ŽP důsledku nehod nebo stavební činnosti

Tato událost se nedá predikovat, nicméně za předpokladu zajištění řízení rizik v průběhu celého procesu výstavby mohou být rizika vlivu stavby na životní prostředí minimalizována. V této souvislosti je třeba upozornit, že zhotovitel stavby má povinnost volit takové materiály, které nepoškozují ŽP.

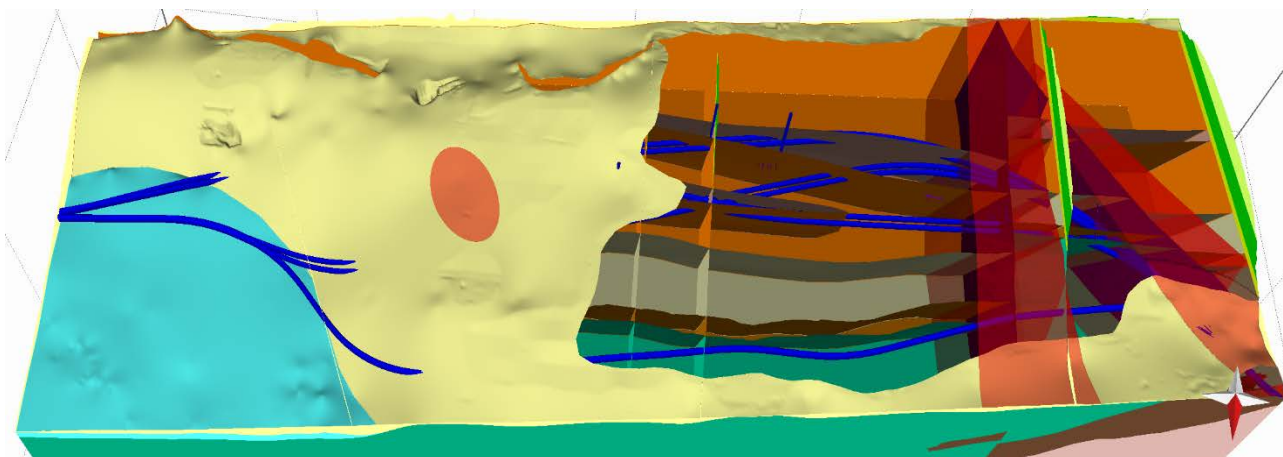
Z **tab. 13** vyplývá, že varianta HLOUBENÁ dosahuje poměrně vysokých hodnot, pohybujících se v horní třetině bodové škály (tedy blíží se k 100% pravděpodobnosti vzniku geologických rizik), naopak varianty ražené pomocí metody TBM vykazují relativně vysoký odstup s hodnotami v polovině bodové škály s příklonem k nižšímu riziku, a to sestupně v pořadí SEVER → STŘED → JIH.

Tab. 12 Souhrnná tabulka geologických fenoménů, ovlivňujících jednotlivé varianty nového propojení železničních stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín. (Čím nižší skóre, tím nižší pravděpodobnost výskytu rizikového geologického fenoménu).

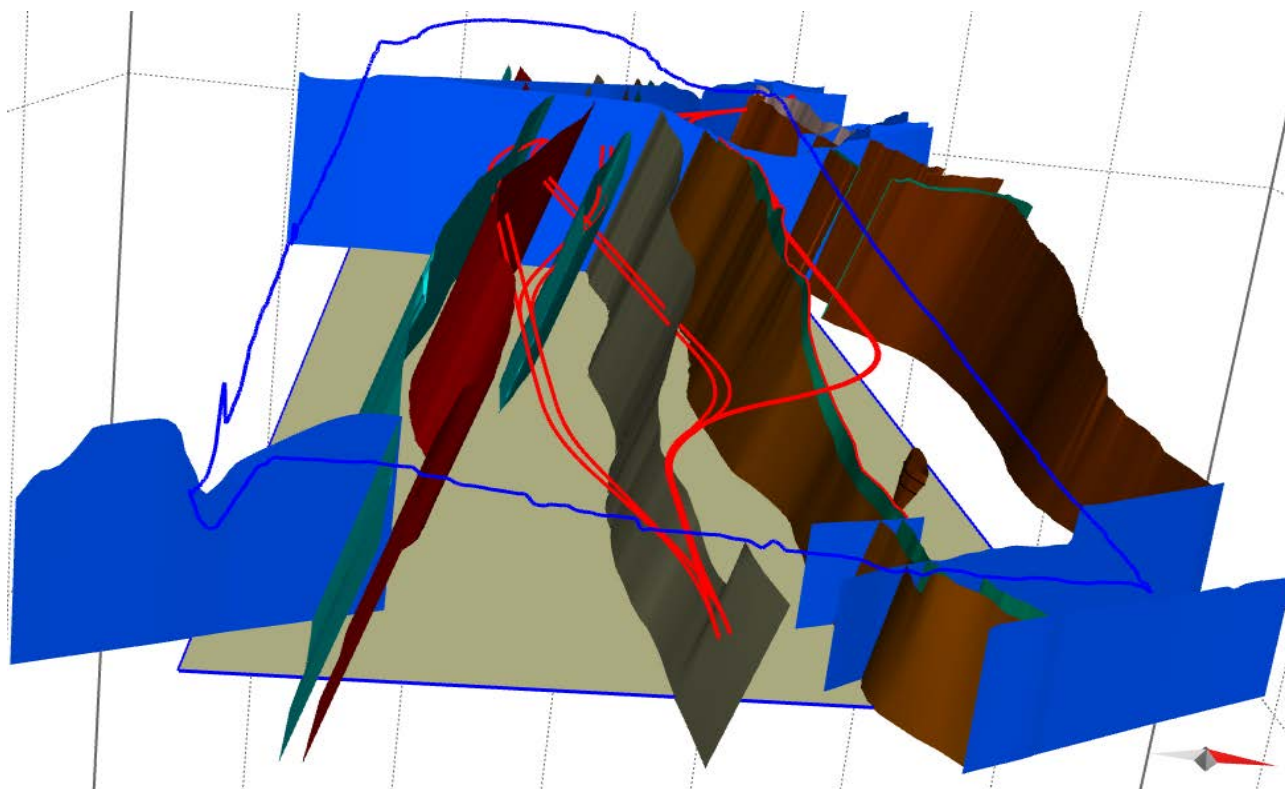
Nepříznivé geologické poměry	hloubená	sever	střed	jih
1. Agresivní podzemní voda	4	4	4	4
2. Nadměrné přítoky podzemní vody do tunelu	4	3	3	3
3. Dlouhodobé snížení hladiny podzemní vody drenážní funkcí tunelu	4	2	2	2
4. Přítomnost podmáčených území nad dílem	3	2	2	2
5. Propojení vodních horizontů tunelem	1	2	2	2
6. Propojení vodních horizontů větrací šachtou	1	2	1	2
7. Rozložená hornina v poruchách	3	2	2	2
8. Rychlý a opakovaný střídavý výskyt měkkých a tvrdých hornin	5	3	3	2
9. Neočekávaný výskyt podzemních prostor pod nebo nad tunelem	2	1	1	1
10. Poklesy povrchu terénu při ražbě podzemního díla	4	3	3	2
11. Nebezpečí kontaktu s neočekávanou tektonickou poruchou	3	4	4	4
12. Nízká mocnost únosné horniny nad tunelem	4	3	2	2
13. Nepříznivá orientace diskontinuit či poruch vůči orientaci tunelu	4	4	3	3
14. Výplň diskontinuit bude mít výrazně nižší smykovou pevnost	3	3	3	3
15. Délka trasy tunelu v nesoudržných kvartérních zeminách	5	3	2	2
16. Výskyt vysoce abrazivních (těžko rozpojitelných) hornin	4	2	3	2
17. Rychlejší průběh geodynamických procesů	3	1	1	1
18. Poškození ŽP důsledku nehod nebo stavební činnosti	4	2	2	2
celkem bodů	61	46	43	41



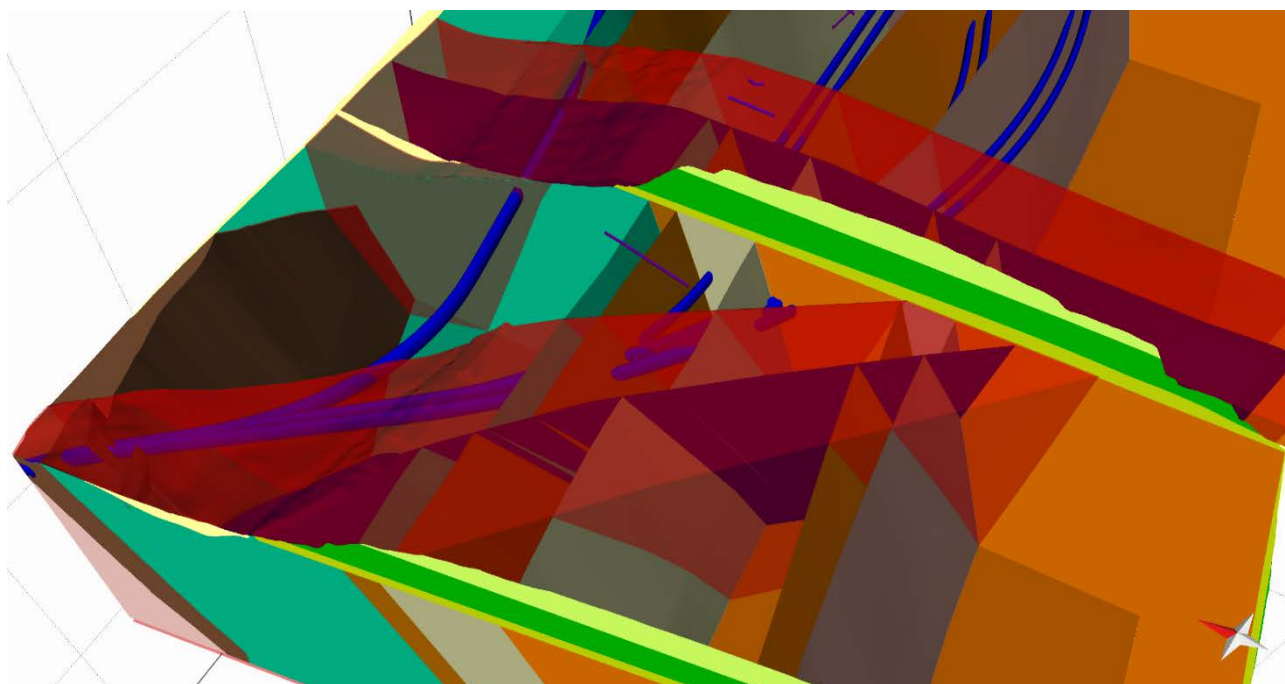
Obr. 35 Východní část tunelů před vstupem do ordovických hornin prochází kvartérními sedimenty, které jsou pro lepší přehlednost odstraněny (2,5x převýšeno). Ovlivnění parametrů 10 a 12 (**tab. 11**)-



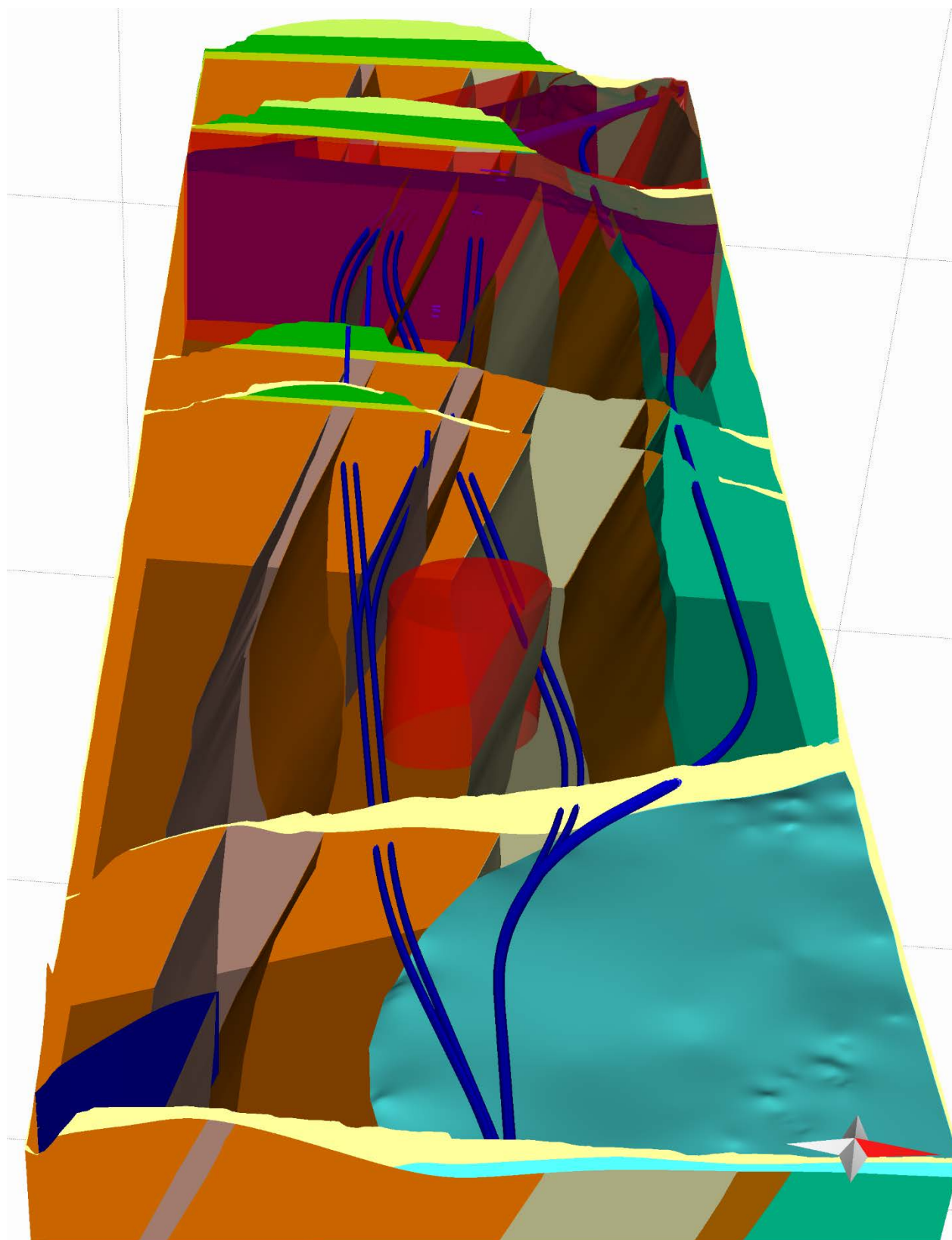
Obr. 36 Schéma ukazuje průběh jednotlivých tras vůči kvartérnímu pokryvu. V místech, kde jsou trasy na žlutém a modrém (hladina podzemní vody) polygonu, probíhají tunely v kvartérních sedimentech, tj. v místech zvýšeného rizika ražby (hloubení). Tam kde je trasa skryta pod žlutým polygonem, probíhá pod kvartérem v ordovických horninách a v takových místech je potřeba počítat s nižším nadložím v horninovém masivu. Tam kde jsou jednotlivé trasy mimo žlutý polygon, probíhají pouze v ordovických horninách (popř. s křídovým pokryvem), kde je existence sníženého nadloží minimalizována.



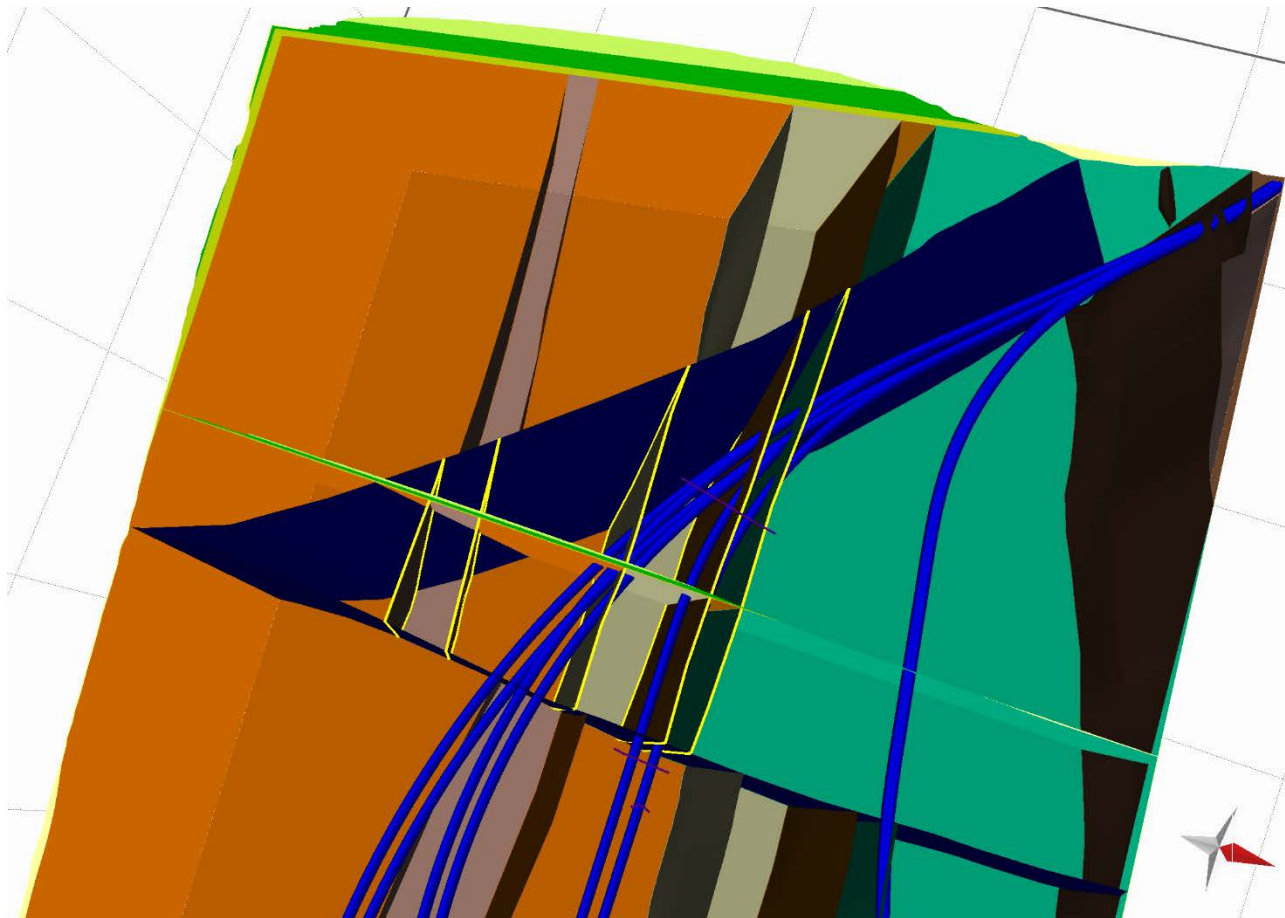
Obr. 37 Kosý pohled na model bez kvartérních sedimentů a křídového platformního pokryvu ukazuje průběh jednotlivých variant tras tunelů vůči ordovickým horninám. Zcela vpravo (na severu) je varianta HLOUBENÁ, uprostřed probíhá varianta SEVER a zcela vlevo (na jihu) varianta JIH. Varianta STŘED kopíruje variantu jižní a na západě se od ní odděluje k severu. Názorně zde lze vidět variabilitu geologického prostředí ve vztahu k jednotlivým trasám. Ovlivnění parametru 13 z **tab. 11**, **tab. 12**.



Obr. 38 Složitá západní část všech variant je významně ovlivněna zlomovou stavbou. Ovlivnění parametrů 7 a 14 z **tab. 12**. Pohled od západu.



Obr. 39 Jiný pohled na model bez kvartérních sedimentů a křídového platformního pokryvu. Názorně zde lze vidět variabilitu geologického prostředí ve vztahu k jednotlivým trasám. Ovlivnění parametru 13 z **tab. 11** a **tab. 12**.



Obr. 40 Složitá západní část všech variant je významně ovlivněna zlomovou stavbou. Ovlivnění parametrů 7 a 14 z **tab. 12**. Pohled od východu.

5.3 Závěrečné shrnutí

Na základě poznání geologických poměrů zájmového území, odvozených z nově sestaveného koncepčního 3D geologického modelu a ze závěrů provedené rizikové analýzy, která vychází z expertního odhadu a hodnocení celkem 18 rizikových geologických parametrů (**tab. 13**). Lze vyvodit následující závěry a obecná doporučení.

5.3.1 Shrnutí provedených prací

Geologický 3D model byl sestaven na základě výsledků velkého množství vrtů a dalších geologických dat, i tak však má poměrně velkou míru nejistot, která se projevuje především v západní části modelu v oblasti mezi tektonickou poruchou severojižního směru a západním (výjezdovým) portálem tunelů. Dalšími průzkumnými díly může být geologický 3D model dále doplněn, popř. upraven.

I přes veškeré limity modelu nicméně lze formulovat určité závěry o geologické stavbě zájmového území.

Geologická stavba

V modelu byla vymezena hlavní tektonika, která se projevuje v západní části modelu. Převážně severojižní zlom s výrazným posunem geologických hranic je důležitým geologickým fenoménem, který je nutné v následných fázích průzkumu upřesnit. Rovněž nelze vyloučit neočekávanou tektonickou poruchu v dalších částech modelu – pokud by se ale taková vyskytla, její rozsah by byl spíše lokální, bez významného posunu geologických jednotek.

V případě platformních křídových sedimentů se na základě výsledků geologického mapování ani interpolace reinterpretovaných vrtných dat nepodařilo identifikovat žádný zlom, který by se systematicky projevoval výraznějším horizontálním nebo vertikálním posunem hranic křídových souvrství.

Vlivem rozložení případného minimálního sedání na pískovcové křídové „desce“ se neočekává sedání na povrchu střešovického hřbetu; se zvýšenou možností sedání povrchu ale nutno kalkulovat v okolí severojižní tektonické poruchy. V případě havárie nebo kavernování podél této poruchy může dojít ke křehkému porušení pískovců a následným projevům na povrchu.

V případě křídové, převážně puklinově propustné zvodně, je vhodnější sledovat vlivy výstavby a provozu tunelového díla na vodní bilanci – vydatnosti pramenů odvodňujících křídová souvrství v širším území a výtoky z historických jámacích štol. Je teoretický předpoklad, že díky bazálnímu izolátoru peruckých vrstev, by křídová jednotka neměla být výstavbou a provozem tunelového díla ovlivněna. Riziko může hrozit jednak v místech, kde by bazální izolátor byl málo mocný a potenciálně v kontaktu s poruchovou zónou podložní jednotky ordovických břidlic, či v místech hloubení vertikálních děl (větrací šachta).

Riziko představuje i přiblížení tunelu zvětralinovému plášti paleoreliéfu paleozoika, který byl ověřen vrtnými pracemi v mocnostech řádu metrů. Pokud jsou v nadloží skalních hornin kvartérní zvodněné sedimenty, je předpoklad jejich hydraulické komunikace s EDZ a EdZ velmi vysoká a podmiňuje možné dlouhodobé vlivy na lokální hydrogeologické poměry (snížení hladin podzemních vod, změny směrů proudění) s potenciálními dopady na základové poměry území. Ve směru příčném má pochopitelně izolované důlní dílo bariérový efekt. V urbanizovaném území není možno tyto vlivy zcela eliminovat, ale je možno je korektními opatřeními při ražbě minimalizovat.

Masiv ordovických hornin je protkán polohami křemenců, které mohou v případě jejich zastižení násobně prodražovat realizaci stavby. To se týká především hloubené varianty, kde by takové zastižení mohlo mít negativní následky (realizace pilot pro zajištění stavební jámy, nemožnost použití trhavin pro rozpojování atp.). U ražené varianty by došlo k výraznému opotřebením řezných nástrojů na hlavě stroje z důvodu až čtyřnásobně větší abrazivity. V dalších fázích průzkumu je proto nezbytné tyto křemencové polohy a jejich prostorovou distribuci detailně specifikovat (např. vrty). Vlivem velkého porušení křemenců puklinami mohou především u hloubené varianty vzniknout problémy s nestabilitou stěn výkopů. Pro minimalizaci tohoto rizika je nutno stěny výkopu vhodným způsobem stabilizovat.

V případě letenského souvrství se lokálně mohou vyskytnout i velké pelokarbonátové konkrce čočkovitého tvaru o délce až několika metrů a mocnosti často přes jeden metr. Tyto konkrce jsou velmi tvrdé a houževnaté a mohou tvořit nečekanou nehomogenitu v horninovém masivu. Uvnitř spodní či střední části facie břidlic dobrotivského souvrství se pro změnu mohou vyskytovat pískovcové lavice či čočkovitá tělesa křemenných pískovců.

Za neovlivněných podmínek jsou v zónách s omezenou vodní výměnou se zemským povrchem zpravidla hodnoty koncentrací síranů v prvních stovkách mg/l, ale v dlouhodobějším časovém horizontu podmínek navozených výstavbou tunelu dojde k přístupu kyslíku do porušeného propustnějšího okolí tunelu a k intenzifikaci těchto procesů. Je tedy nutno počítat zejména se síranovou agresivitou.

Hydrochemický monitoring vod v okolí tunelového komplexu Blanka prokazuje v letenských břidlicích zvýšené hodnoty obsahu síranů ve vodách okolí tunelu až na řády prvních g/l. Vysoký obsah síranů v podzemních vodách v kontaktu s ostěním tunelu generuje degradaci betonového ostění vlivem krystalizace ettringitu v pórovém systému betonu s následnými objemovými a pevnostními změnami. Proto by měl být použit pro výrobu betonových směsí ostění cement odolný vůči síranům (primární ochrana betonové konstrukce), případně v kombinaci se snížením vodního součinitele betonové směsi na 0,4 s případným použitím plastifikátorů pro zajištění jeho vhodných reologických vlastností

Na základě hydrogeologických poměrů se znalostí jednotlivých zvodněných litostratigrafických jednotek, jejich propustnosti a komunikace (včetně přirozených okrajových podmínek) je projektováno odvodňování. V případě předmětných tunelů předběžné průzkumy předpokládají přítoky jednotek l/s (málo propustné břidlice – viz rešerše hydrogeologických poměrů). V průběhu ražby budou předpokládáné přítoky do tunelového díla upřesňovány.

Pro stavbu jsou zásadní správně stanovené parametry zemin a hornin. Souhrn geotechnických vlastností vyčleněných geotypů je třeba chápat jen jako orientační, protože byl provedený pouze z archivních průzkumů často realizovaných mimo navrhované trasy tunelů. Z toho důvodu nemohou sloužit jako podklad pro další projektové/stavební práce.

Obecná doporučení

Lze předpokládat, že vlivem ražby tunelů dojde k dočasnému poklesu hladiny podzemní vody v nadloží a blízkém okolí tunelů. Z hlediska porovnání s konvenčními metodami ražby je ražba plnoprofilovými tunelovacími stroji ke snížení hladiny podzemní vody nejméně náchylná.

Česká geologická služba doporučuje provést pasportizaci a vyhodnocení všech dostupných hydrogeologických objektů a vzhledem k potřebné délce jeho trvání urychleně zahájit hydrogeologický monitoring v okolí plánované stavby, který v detailu není závislý na výběru konečné varianty trasy tunelů.

Kopané sondy, šachtice, popř. nárazově točivé nebo rotační vrty na sucho by se měly rozmístit do míst, kde se podzemní dílo blíží k povrchu nebo kde vystupuje na povrch. V místech situování portálů proto ČGS doporučuje v případě potřeby vyhloubit průzkumné šachty nebo vyrazit kratší průzkumné štoly.

Aby bylo možno získat údaje o horninovém prostředí plynule podél trasy podzemního díla, lze doporučit použití geofyzikálních metod průzkumu, sloužících k upřesnění geologických poměrů, polohy a průběhu tektonických poruch, případných kaveren, a to jak metodami z povrchu, tak i karotáží ve vrtech nebo aplikací některých metod ve štolách.

Z hlediska environmentálního se v rámci průzkumné činnosti posuzuje také možnost využití rubaniny a výkopku jako stavebního materiálu přednostně na dané stavbě. Posuzuje se kvalita rubaniny s ohledem na různé v úvahu připadající způsoby ražby, použití a orientační objemy

rubaniny podle každého typu a kvality. Vzhledem k povaze ordovických břidlic však lze předpokládat, že výkopek nebude možné využít jako stavební materiál. Je proto třeba zahájit hledání deponie, která by vytěžené množství horniny pojala.

V rámci analýzy lokálních hydrogeologických a hydrologických poměrů je před zahájením tunelovacích prací nezbytné provést rekognoskaci všech objektů vhodných k monitoringu a následně monitorovací systém doplnit pozorovacími hydrogeologickými vrty specificky projektovanými k monitoringu jednotlivých zvodní. Monitorovací vrt, který by propojoval zvodně, je hydrogeologicky přínosný jen omezeně a neumožňuje hodnotit vertikální hydraulický gradient a komunikaci zvodněných horizontů.

Vrty musí být situovány od osy tunelového díla až za dosah deprese liniové stavby vyvolané odvodňováním (výpočet hydraulického dosahu pro období odvodňování tunelu). Monitoring před zahájením výstavby tunelového díla by měl probíhat minimálně po dobu jednoho roku tak, aby byla definována přirozená neovlivněná úroveň hladin jednotlivých zvodní, jakož i její sezónní kolísání. V případě zájmové oblasti se očekává minimální kolísání hladin do 1 m, ale možná je i jejich trendová změna vzhledem k měnícím se klimatickým podmínkám.

Environmentálním rizikem při průzkumu je potenciální propojení zvodní a eventuální kontaminace hlubších zvodní např. z antropogenní vrstvy navážek. V případě nově hloubených vrtů do skalního podloží by měly být provedena hydrokarotáž pro stanovení přítokových zón do vrtu. Hydromonitoring zahrnuje i sledování chemismu podzemních vod jednotlivých zvodní. V případě kontrastních chemismů jednotlivých zvodní je z přítoků vody do tunelu možno vypočítat podíly přítoků podzemních vod jednotlivých horizontů ve směsi.

Projekt musí na základě geologických a hydrogeologických průzkumů kalkulovat s možností zmáhat a sanovat řádově zvýšené přítoky vody např. v poruchových zónách. V případě, že tuto možnost nelze vyloučit (vymapované tektonické zóny v ordovických břidlicích, blízkost zvětralinového pláště skalního podloží se zvodněným propustným pokrývným útvarem) je žádoucí propustné zóny injektovat v předpolí ražby tunelu („pregrouting“) k omezení rozsahu dočasného (i trvalého) vlivu na hydrogeologické poměry, tj. snížení hladin podzemních vod v dosahu deprese odvodňování. Na základě současného stavu poznání zájmové lokality lze tedy předpokládat, že Pregrouting bude zapotřebí provést na začátku ražby tunelů z povrchu (nebo z průzkumných děl) z důvodu stabilizace kvartérních hornin a pomoci k vytvoření klenby v hornině, při stavbě šachty z důvodu snížení přítoků vody a také při stavbě tunelových propojek z hotového tunelu (opět z důvodů přítoků vody). Další podrobnosti k této problematice jsou uvedeny ve studii Thewese (2020).

Specifické hydrogeologické problémy souvisí s výstavbou vertikálních děl (např. větrací šachta hloubená zvodněnými nadložními křídovými a kvartérními horninami, hloubené části tunelu), kdy potřeba pečlivého izolování nadložní zvodněné litostratigrafické jednotky (v tomto případě převážně puklinově propustné křídové zvodně a kvartérní průlinově propustné deluviofluviální jednotky) není pouze krátkodobým, ale trvalým cílem.

Na základě zkušeností ze zahraničí je možno prokázat, že k nejvýznamnější hydraulické komunikaci dochází pod počvou tunelu se zvýšenou axiální propustností. Tímto způsobem mohou hydraulicky komunikovat zastižené poruchové zóny. V případě předmětných tunelů je takováto tektonická zóna v západní části překryté křídovými jednotkami zachycena v geologickém modelu.

Z výše uvedeného lze závěrem konstatovat, že řešené problémy a jejich dopady na životní prostředí se různí v průběhu výstavby a pochopitelně i během samotného provozu (tzv. „životního cyklu“)

tunelového díla. Geologický průzkum pro podzemní stavby musí využít všech možných způsobů, aby získal spolehlivé údaje o prostředí, v němž se bude pracovat. Zodpovědným a uvážlivým přístupem při vedení projekčních, průzkumných a stavebních činností lze možné negativní inženýrskogeologické, geotechnické, hydrologické, hydrogeologické a prováděcí problémy výstavby tunelů a navazujících staveb patřičným způsobem minimalizovat.

5.3.2 Závěrečné vyhodnocení ČGS

Riziková analýza

Z ryze **geologického pohledu**, bez souvislostí se socio-ekonomickými a politickými aspekty, bez hodnocení finančního rámce či realizovatelnosti celého projektu z pohledu práva, doporučuje ČGS následující pořadí od nejvhodnější po nejméně vhodnou variantu:

Varianta JIH (41 bodů)

Varianta STŘED (43 bodů)

Varianta SEVER (46 bodů)

Varianta HLOUBENÁ (61 bodů)

Varianta HLOUBENÁ je nejvíce riziková, vhodnost dalších ražených variant stoupá v pořadí SEVER → STŘED → JIH, které mají víceméně podobná hodnocení s menšími rozdíly založenými na mírně odlišných geologických parametrech.

Česká geologická služba doporučuje na základě výše uvedeného vybrat jednu z aktuálně posuzovaných variant tras tunelů, v jejíž trase by mohl pokračovat podrobný inženýrskogeologický / geotechnický průzkum.

Průzkumná činnost musí probíhat ve smyslu ustanovení § 6 zákona č. 62/1988 Sb., o geologických pracích, ve znění pozdějších předpisů, a dále podle ustanovení § 3, odst. 4, písm. b) vyhlášky č. 369/2004 Sb., o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek, ve znění pozdějších předpisů. Podrobný inženýrskogeologický průzkum by měl probíhat také v souladu s principy uvedenými v normových předpisech ČSN EN 1997-1, ČSN EN 1997-2 a ČSN P 73 1005 a v předpisu S4 Správy železnic, státní organizace.

6 Podklady

Knihy, články, mapy, kapitoly:

(symbol # označuje signaturu daného titulu v archivu ČGS, tzv. Geofond)

- Anonym, označený jako „Č.“ (1903): O geologické povaze výšiny Letné. – Živa, 13, 4, 119–120.
- Aue, M. – Čech, S. – Franěk, J. – Novotný, J. (2020): Nálezová zpráva o vrtných pracích doplňujícího inženýrskogeologického průzkumu pro trasy železničních tunelů stavby „Modernizace železniční trati Praha-Výstaviště (mimo) – Praha-Veleslavin (mimo)“ – vrty HJ-16 a HJ-15. Zn. SOG-441/0317/2020. – Česká geologická služba. Praha. 10 s.
- Barta, R. (1930): Průmysl hlíny a kamene v Praze a okolí. – Zvláštní otisk z časopisu „Chemický obzor“, roč. V., č. 5–7, 3–24. Tiskem Dra. Eduarda Grégra a syna. Praha.
- Bárta, S. (2016): Zástavní listiny Zikmunda Lucemburského na církevní statky (1420–1437). – Spisy Filozofické fakulty Masarykovy univerzity, sv. 457. Masarykova univerzita. Brno.
- Beránek, J. (2015): Mezi námi v Břevnově XXXVI. Jak to bylo v Břevnově. – Břevnovan – časopis pro občany Prahy 6, roč. XXVI., č. 5/6, 11–13. Praha.
- Bohátková, L. (2008): Závěrečná zpráva geotechnického průzkumu pro stavbu Prodloužení trasy A metra v Praze ze stanice Dejvická – mezi stanicemi Dejvická a Motol – DSP, km 10,056 - 16,175. – Stavební geologie-Geotechnika, a.s. Praha. 148 s. # P122348.
- Bohátková, L. – Rout, J. (2011): Závěrečná zpráva doplňujícího inženýrskogeologického průzkumu pro SOD 05 - Stanice Veleslavin na trase metra V.A. – ARCADIS Geotechnika, a.s. Praha. 36 s. # P131526.
- Bohátková, L. – Tlamsa, J. (2011): Metro V.A (Dejvická – Motol) - SOD 05 Stanice Veleslavin, doplňkový inženýrskogeologický průzkum – etapa 1., geologické práce, závěrečná zpráva. – ARCADIS Geotechnika, a.s. Praha. 23 s. # P131530.
- Bohátková, L. – Ebermann, T. – Kořalka, S. – Říha, V. (2011): Komplexní hydrogeomonitoring a geomonitoring na stavbu metra V.A (Dejvická–Motol). Zpráva o vybudování hydrogeologického monitorovacího vrtu HG-34 na staveništi E1 (SO 02-28). – INSET, s.r.o. Praha. ARCADIS Geotechnika, a.s. Praha. 14 s. # P135386.
- Borkovský, I. (1933): O starobyklých vodních dílech na Pražském hradě. – Pražský ilustrovaný zpravodaj, č. 5, 10–11. Praha.
- Bouček, B. (1941): Geologické výlety do okolí pražského. – Melantrich. Praha.
- Budil, P. – Nohejlová, M. – Bruthansová, J. (2019): Souhrnná zpráva o terénní dokumentaci vrtných prací v oblasti Střešovic a Ořechovky. Zn. SOG-441/0061/2019. – Česká geologická služba. Praha. 6 s.
- Budil, P. – Chlupáč, I. – Hradecký, P. (2003): Middle Ordovician at Praha – Červený vrch Hill (Barrandian area, Czech Republic) – Bull. Geosci. 78, 2, 91–98.
- Buchtík, J. (1973): Pražský vodovod. Historie a současnost. Výstavba a výhled. – Státní nakladatelství technické literatury ve Středisku interních publikací. Praha.

- Bulíček, J. (1950): Vodovody v Praze. – Voda, roč. XXX., č. 2, 21–27. Praha.
- Burachovič, S. – Wieser, S. (2001): Encyklopedie lázní a léčivých pramenů v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. – Nakladatelství LIBRI. Praha.
- Čech, S. (1972): Ekospolečenstvo trilobitů z nové lokality v letenském souvrství (caradoc) v Praze na Letné. – Věstník Ústředního ústavu geologického, 47, 243–247.
- Čurda, J. (2007): Jubilující Břevnov očima hydrogeologa. – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2006, 187–191. Česká geologická služba. Praha.
- Čurda, J. (2017): Břevnovské podzemní vody. – Břevnovan – časopis pro občany Prahy 6, roč. XXVIII., č. 5/6, 12–13. Praha.
- Demek, J. et al. (2006): Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR. 2. upravené vydání. – Brno. ISBN 80-86064-99-9.
- Dragoun, F. (2019): Modernizace trati Praha-výstaviště (mimo) – Praha-Veleslavín (mimo). Geotechnický průzkum ražených tunelů Střešovice – SO 06-25-01 Ražený tunel levý, SO 06-25-02 Ražený tunel pravý, SO 06-25-04 Větrací šachta Střešovice. Geotechnický průzkum. – SUDOP Praha, a.s. Praha. 74 s.
- Dragoun, F. (2020): Modernizace trati Praha-Výstaviště (mimo) – Praha-Veleslavín (mimo) – SO 06-25-01 ražený tunel levý, SO 06-25-02 ražený tunel pravý, SO 06-25-04 větrací šachta Střešovice. Geotechnický průzkum – varianta střed. – SUDOP Praha, a.s. Praha. 79 s.
- Dvořák, A. (2004a): Studánky. – Břevnovan – časopis pro občany Prahy 6, roč. XV., č. 1/2, 11. Praha.
- Dvořák, A. (2004b): Studánky II. – Břevnovan – časopis pro občany Prahy 6, roč. XV., č. 6, 9. Praha.
- Ederer, A. – Uxa, J. (2004): Pražské kašny a fontány. – Nakladatelství LIBRI. Praha
- Flegl, M. – Fleglová, J. (1979): Staré Střešovice. Kapitoly z historie bývalé předměstské obce. – Etnografie dělnictva sv. 11. Národopisná knihovna sv. 35, 67–115. Ústav pro etnografii a folkloristiku. Československá akademie věd. Praha.
- Filip, O. (1903): Na Marjánce! – In P. Körber (ed.): Praha ve dne v noci. Líčení pražského života slovem i obrazem. Díl I., 239–250. – Nakladatelství Pavla Körbra v Praze. Praha.
- Fuksa, J. K. – Mlejnská, E. – Matoušová, L. – Eckhardt, P. (2015): Pražské prameny. Stav 2011–2013. – MS Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce. Praha.
- Gray, M. (1993): OECD/NEA International Stripa Project 1980–1992. Overview Volume III, Engineered Barriers. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Lanyon, G. W. – Diederichs, M. – Leech, R. E. J. – Lam, T. – Jensen, M. (2011): Excavation damaged zone assessment, OPG's Deep Geological Repository for Low & Intermediate Level Waste. – Fracture Systems Ltd. Nuclear Waste Management Organization NWMO DGR-TR-2011-21.
- Herčík, F. – Herrmann, Z. – Valečka, J. (1999): Hydrogeologie české křídové pánve. – Český geologický ústav. Praha.

- Holub, J. B. (1890): Paměti farnosti u sv. Markéty v Břevnově a blízkého okolí svým milým farníkům k poučení sepsal Bonifac Jan Holub, ř. sv. B. – Nákladem vlastním. Tiskem Kníž. arcibiskupské tiskárny. Praha.
- Horák, V. – Veverka, V. (1999): Pozoruhodná přemostění Chotkovy silnice a Myší díry. – Architekt, roč. XLV., č. 3, 38–40. Praha.
- Hošek, M. (1969): Závěrečná zpráva inženýrsko-geologického průzkumu „Panenská“ (Praha 6). – MS Geoindustria, n.p. Praha.
- Hrubeš, J. – Hrubešová, E. (1999): Pražské domy vyprávějí... V. – Nakladatelství Academia. Praha.
- Jarolímková, S. (2005): Co v průvodcích nebývá. – Nakladatelství Motto. Praha.
- Jásek, J. (1983): Zaniklé objekty pražského vodárenství. – Staletá Praha, technika a památky. Sborník Pražského střediska státní památkové péče a ochrany přírody, sv. XIII., 97–104. Nakladatelství Panorama. Praha.
- Jásek, J. a kol. (1997): Klenot města. Historický vývoj pražského vodárenství. – VR-ateliér. Praha.
- Jerie, R. (2010): Praha 6 - Střešovice (parcela č. 1753), závěrečná zpráva o vyhodnocení výsledků hydrogeologických průzkumných prací včetně vyjádření dle § 9 odst. 1 zákona č. 254/2001 Sb. – RNDr. Roman Jerie – HyS, Praha; Ivan Houska, Praha 10. # P129146.
- Chlupáč, I. – Štorch, P. eds (1992): Regionálně geologické dělení Českého masivu na území České republiky – Čas. Mineral. Geol. 37, 257–275.
- Chlupáč, I. – Havlíček, V. – Kříž, J. – Kukal, Z. – Štorch, P. (1998): Palaeozoic of the Barrandian. – Czech Geol. Survey. Prague.
- Chlupáč, I. – Brzobohatý, R. – Kovanda, J. – Stráník, Z. (2002): Geologická minulost České republiky. – Academia. Praha. ISBN 80-200-0914-0. 436 s.
- Chmelař, R. – Březina, B. – Urban, J. (2009): Soubor staveb MO, stavba č. 9515 "Myslbekova – Prašný most". Podrobný geotechnický průzkum spadiště Prašný most. – Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, a.s. Praha. 16 s. # P124168.
- Fatka, O. – Budil, P. (2018): Digestive structures in the Middle Ordovician trilobite *Prionocheilus Rouault 1847*, from the Barrandian area of Czech Republic. – *Geologica Acta*, 16, 1, 65–73.
- Jäger, O (2008): Hydrogeologický posudek pro potřeby EIA Prodloužení trasy metra A v Praze ze stanice Dejvická. – AQH, s.r.o. Praha. 46 s.
- Kettner, R. – Kodym, O. (1919): Nová stratigrafie Barrandienu. – Čas. Mus. Král. čes. 93 47–55.
- Kleček, M. (1970): Podrobná inženýrskogeologická mapa 1 : 5 000, list Praha 7-0. Průvodní zpráva. – Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb. Praha. 63 s. # P023437.
- Klouček, C. (1916): O vrstvách d1y, jich trilobitech a nalezištích. – Rozpr. Čes. Akad. Věd Umění, Tř. II, 25, 39, 1–20.
- Knížek, M. (2013): Radiální tektonika barrandienu. Disertační práce. – Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno. [online]. 2013. [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/y89km/>

- Kovanda, J. et al. (2001): Neživá příroda Prahy a jejího okolí. – Academia. Český geologický ústav. Praha. 216 s. ISBN 80-200-0835-7. [online]. 2001. [cit. 2020-09-28]. Dostupné z: <http://www.monet.cz/atlas/>
- Kovařík, P. (1998): Studánky a prameny Čech, Moravy a Slezska. – Nakladatelství Lidové noviny. Praha.
- Králík, F. – Brunnerová, Z. – Čuta, J. – Havlíček, V. – Chlupáč, I. – Klein, V. – Kříž, J. – Odehnal, L. – Šefrna, L. – Šimek, R. – Tomášek, M. – Zoubek, J. (1983): Základní geologická mapa ČSSR 1 : 25 000, list 12-243 Praha-sever. – Ústř. úst. geol. Praha.
- Králík, F. – Brunnerová, Z. – Čuta, J. – Havlíček, V. – Chlupáč, I. – Klein, V. – Kříž, J. – Odehnal, L. – Šefrna, L. – Šimek, R. – Tomášek, M. – Zoubek, J. (1984): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1 : 25 000, list 12-243 Praha-sever. 1–144. – Ústř. úst. geol. Praha.
- Králová, Z. (1970): Podrobná inženýrskogeologická mapa 1 : 5 000, list Praha 8-1. Průvodní zpráva. – Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb. Praha. 87 s. # P023443.
- Králová, Z. (1971a): Inženýrskogeologické mapy hlavního města Prahy 1 : 5 000. Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb. Publikace vydána pro potřebu účastníků Konference o zakládání soustředěné a občanské výstavby hlavního města Prahy. 28 s.
- Králová, Z. (1971b): Podrobná inženýrskogeologická mapa 1 : 5 000, list Praha 8-0. Průvodní zpráva. – Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb. Praha. 87 s. # P024939.
- Králová, Z. (1975): Podrobná inženýrskogeologická mapa 1 : 5 000, list Praha 9-1. Průvodní zpráva. – Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb. Praha. 74 s. # P092357.
- Krchov, P. (2006): Mezi námi v Břevnově II. – Břevnovan, časopis pro občany Prahy 6, roč. XVII., č. 5/6, 11. Praha.
- Křivský, P. (1983): Strahovský vodovod. – Staletá Praha - Technika a památky. Sborník Pražského střediska státní památkové péče a ochrany přírody, sv. XIII., 173–179. Nakladatelství Panorama. Praha.
- Lašťovka, M. – Lašťovková, B. (2005): Plán Prahy podle indikačních skic stabilního katastru (1840–1842). – Documenta Pragensia Monographia. Archiv hl. m. Prahy. Scriptorium. Praha.
- Lorenc, V. – Tříška, K. (1980): Černínský palác v Praze. – Nakladatelství Panorama. Praha.
- Lukeš, Z. (2001): Neznámý Plečnik? Vstupní objekt vodovodní štoly. – Architekt, roč. XLVII., č. 12, 57. Praha.
- Perras, M. A. – Diederichs, M. S. (2016): Predicting excavation damage zone depths in brittle rocks. – Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Volume 8, Issue 1, p. 60–74.
- Malá, V. (1999): Z historie Jeleního příkopu Pražského hradu. – Architekt, roč. XLV., č. 7, 22. Praha.
- Matula, M. – Pašek, J. (1986): Regionálna inžinierska geológia. – ALFA. Bratislava. SNTL. Praha.
- Melichar, R. (2004): Tectonics of the Prague Synform: a hundred years of scientific discussion. – Krystalinikum, 30, 167–187.

- Mikuláš, R. (1994): Rudolfova štola v Praze – významný profil v barrandienském ordoviku. – *Journal of the Czech Geological Society*, 39, 2-3: 245–249.
- Mlada, M. (2006): Hrst vzpomínek na starý Břevnov. – In M. Tryml (ed.): *Kniha o Břevnově*, 162–165. – Městská část Praha 6. Praha.
- Oberhelová, J. – Arnetová, K. – Bruthans, J. – Hubinger, L. – Vidža, P. (2017): Závěrečná zpráva o výsledcích hydrogeologického průzkumu respektive vybudování hydrogeologických monitorovacích vrtů v oblasti Letné a o výsledcích měření a sledování Tunelového komplexu Blanka za provozu. – *GEOtest, a.s. Praha*. 67 s. # P154891.
- Pařízková, Z. (1974): Podrobná inženýrskogeologická mapa 1 : 5 000, list Praha 9-0. Průvodní zpráva. – *Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb. Praha*. 70 s. # P024741.
- Pavlanský, J. (1928): Vývoj zásobování vodou hlavního města Prahy od XV. století do konce roku 1927: Předneseno ve výtahu na VIII. sjezdu Plynárenského a vodárenského sdružení čl. v Praze r. 1927. – Zvláštní otisk z odborného časopisu „Plyn a voda“, roč. VIII., 1–75. Nákladem Vodáren hlav. města Prahy. Tisk Neuber, Pour a spol. Praha I., Bílkova 17. Praha.
- Peršín, J. – Budil, P. (2009): Nové poznatky ze šáreckého a dobrotivského souvrství (ordovik, stupeň darriwil) v severozápadní a severní části Prahy. – *Český kras*, 35, 25–35.
- Peršín, J. – Mergl, M. – Budil, P. – Tasáryová, Z. (2018): Nález nejstarší ordovické fauny v severovýchodním křídle pražské pánve (v Praze-Troji a v Praze-Vokovicích) – *Geoscience Research Reports*, 51, 81–87.
- Píchal, Z. – Hudek, J. – Pašek, J. – Řezníček, T. – Součková, H. – Šimek, R. – Tesař, O. (1979): *Praha a inženýrská geologie*. 2. vyd. – Československá vědeckotechnická společnost. Praha. 131 s.
- Podvolec ký, F. (1934): Podzemní vody a prameny v okolí Prahy na území listu speciální mapy Praha – 3853. – *Státní ústav hydrologický a hydrotechnický T. G. Masaryka. Praha – Podbaba*.
- Polák, M. – Broncová, D. – Čížek, J. – Havlice, M. (2015): *Po stopách pražského vodárenství*. – MILPO MEDIA, s.r.o. Praha.
- Ptáček, J. (1915): Paměti farní osady hostivické. Lidem dobré vůle k poučení sebral Josef Ptáček, toho času kaplan. – *Tiskem Československé tiskárny v Praze, Spálená 15. Nákladem vlastním. Praha*.
- Quitt, E. (2009): Klimatické oblasti (1901–2000). Barevná mapa č. 38, 1 : 1 000 000. In: T. Hrnčiarova – P. Mackovčin – I. Zvara (eds): *Atlas krajiny České republiky/Landscape Atlas of the Czech Republic*. – Ministerstvo životního prostředí ČR. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., 332 s. Praha.
- Read, R. S. (2004): Sciences, 20 years of excavation response studies at AECL's Underground Research Laboratory. – *International Journal of Rock Mechanics & Mining*, p. 1251–1275.
- Röhlich, P. (1957): *Geologické exkurse do okolí Prahy, na Kralupsko a do dolního Posázaví*, 65–76. – St. pedagog. nakl. Praha.
- Röhlich, P. (1960): *Ordovik severovýchodní části Prahy*. – *Rozpravy Československé akademie věd, Řada matematicko-přírodních věd* 70(11), 1–64

- Röhlich, P. – Fediuk, F. (2005): Ordovik a proterozoikum Trojské kotliny. Exkurze České geologické společnosti. – 14 str. Čes. geol. společ. Praha.
- Rozsypal, A. (2001): Kontrolní sledování a rizika v geotechnice. 1. vyd., Bratislava, 2019. ISBN 80-88905-44-3, 198 s.
- Rozsypal – Pruška (2019): Minimalizace rizik při výstavbě tunelů. 1. vyd., Praha: Fakulta stavební ČVUT, 2019. ISBN: 978-80-01-06655-3. 197 s.
- Rybařík, V. (2014): Pražské kamenné kašny, fontány a pítka II. – Kámen, roč. XX., č. 3, 11–22. Praha.
- Ruth, F. (1903): Kronika královské Prahy a obcí sousedních, seš. 2, seš. 3. – Nakladatelství Pavla Körbra v Praze. Praha.
- Řepka, L. (1985a): Inženýrsko-geologické a základové poměry konventního traktu kláštera sv. Markéty v Praze 6 - Břevnově. – MS Stavební geologie, n.p. Praha. # P047741
- sine (1998): Bažantnice Pražského hradu. – Architekt, roč. XLIV., č. 1–2, 32. Praha.
- Sekal, J. (1959): Základové půdy Malé Strany a Hradčan s přílehlými částmi Smíchova, Dejvic, Břevnova, Střešovic a Holešovic. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta University Karlovy, Praha. 50 s. # P010955.
- Smolař, R. (2008): Prodloužení trasy metra A v Praze ze stanice Dejvická. Posouzení vlivu stavby na režim podzemních vod mezi stanicemi Dejvická a Motol. – GeoTec-GS, a.s. Praha. 15 s.
- Smolař, Z. – Votoček, R. (2008): Prodloužení trasy A metra v Praze ze stanice Dejvická, traťové úseky V.A1 a V.A2 Dejvická–Petřiny–Motol. Předběžný geotechnický průzkum. – GeoTec-GS, a.s. Praha. 39 s. # P119442.
- Straka, E. – Röhlich, P. (2008): Tektonické porušení ordoviku v tunelech Nového spojení v Praze 3 (vrch Vítkov). – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2007, 59–63 [online]. [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/img/zpravyvyzkum/fulltext/2007-16.pdf>
- Streit, J. (1960): Divy staré Prahy. – Nakladatelství Mladá fronta. Praha.
- Šimek, R. (1959a): Inženýrskogeologická mapa sz. části Prahy v měřítku 1:5 000. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta University Karlovy, Praha. 108 s. # P010997.
- Šimek, R. (1959b): Zpráva o inženýrsko-geologickém mapování části severozápadního území Prahy (list speciální mapy Praha-3953). – Zprávy o geologických výzkumech v roce 1959, 159–160. Praha.
- Šimek, R. (1969): Podrobná inženýrskogeologická mapa 1 : 5 000, list Praha 7-1. Průvodní zpráva. Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb. Praha. 112 s. # P023438.
- Tesař, O. – Hudek, J. (1971): Metro – I. provozní úsek trasy A. Podrobný inženýrskogeologický průzkum. Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb. Praha. 495 s. # P022816.
- Thewes, M. – Stascheit, J. – Hintz, S. – Syomik, A. (2020): Expert Assessment Modernizace trati Praha-Výstaviště – Praha-Veleslavín: Part I – Technical Assessment of Geotechnical Investigation Programme, Part II – Assessment of Alignment Variants, APPENDICES on Numerical Analyses. Ruhr-Universität Bochum. 2020.

- Tlamsa, J. – Ebermann, T. – Bohátka, J. – Bohátková, L. – Rout, J. (2012): Inženýrskogeologická a geotechnická problematika výstavby nové trasy metra V.A v Praze. – Tunel 21, 4, 15–24 [online]. [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: https://www.ita-aites.cz/files/tunel/komplet/tunel_4_12.pdf
- Tůma, P. – Chmelař, R. – Hudek, J. (2019): Modernizace trati Praha-Výstaviště (mimo) – Praha-Veleslavín (mimo): Geotechnický průzkum ražených tunelů Střešovice – SO 06-25-02 Ražený tunel levý, SO 06-25-03 Ražený tunel pravý, SO 06-25-04 Větrací šachta Střešovice. – Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb. Praha. 74 s.
- Vacek, F. – Žák, J. (2019): A lifetime of the Variscan orogenic plateau from uplift to collapse as recorded by the Prague Basin, Bohemian Massif. – Geological Magazine, 156 (3), 485–509.
- Vávrová, V. (1997): Voda pro Pražský hrad. – In J. Jásek a kol.: Klenot města. Historický vývoj pražského vodárenství, 15–28. – VR-ateliér. Praha.
- Veger, J. (1993): Prameny a vodovodní štoly na území Prahy. – Výzkum pro praxi, sv. 23, 1–102. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. Praha.
- Vojtíš, V. (1986): Zpráva o průzkumu štol, podzemních prostor a hydrogeologickém sledování. – MS Čes. speleolog. spol. – ZO 1-06 Speleologický klub Praha. Praha.
- Vošmik, J. (2008): Tektonika ordoviku severní části Prahy. Bakalářská práce. – Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno. [online]. [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/zv28/>
- Waldhausrová, J. (1986): Litologický vývoj, stratigrafie, vulkanismus a tektonika svrchního proterozoika a spodního paleozoika v profilu zjištěném v ražbě stoky D v Praze na Červeném vrchu. – MS Čes. geol. služba. Praha. č. PO 53470.
- Waldhausrová, J. (1987): Spodnoordovický vulkanismus v profilu ražby stoky D v Praze 6 na Červeném vrchu. – MS Čes. geol. služba. Praha. č. PO 56911.
- Vorel, J. – Březina, B. – Krupa, K. – Lukáš, Z. – Nohejl, S. (2009): 2. stavba Strahovský tunel, č. st. 0065, část 2. B - hloubený tunel MO, SO 3053 - stoka CO3 - optimalizovaná trasa (Královská zahrada), zpráva o podrobném geotechnickém průzkumu. – Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb. Praha. 25 s. # P126622.
- Vorel, J. – Březina, B. – Chmelař, R. – Vodička, V. (2010): Stavba č. 0065 Strahovský tunel (část 2B – hloubený tunel MO), SO 3053 -stoka CO3, optimalizovaná trasa (Královská zahrada), podrobný hydrogeologický průzkum, část 1: Podrobný hydrogeologický průzkum - závěrečná zpráva, část 2: Doplnující geotechnický průzkum - závěrečná zpráva. – Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb. Praha. 24 s. # P130452.
- Záruba, Q. (1948): Geologický podklad a základové poměry vnitřní Prahy. – Geotechnica, sbírka prací z praktické geologie, sv. 5. Státní geologický ústav Československé republiky. Praha.
- Záruba, Q. – Bucha, V. – Ložek, V. (1977): Significance of the Vltava terrace system for Quaternary chronostratigraphy. – Rozpravy ČSAV, Ř. mat.-přír. Věd 87, 4, 1–89.
- Závorová, K. – Holasová, A. (2007): Průvodce Břevnovem. Z Bílé hory na Bílou horu aneb Malý břevnovský uličník. – Spolek břevnovských živnostníků a podnikatelů. Praha.

Zavřel, J. ed. (2005): Před branami Velké Prahy. Obrazový průvodce územím Prahy 6 před rokem 1920. – Městská část Praha 6. Praha.

Normové předpisy:

Ceník 800-2: Klasifikace hornin pro vrtání pilot“.

ČSN 72 1001 (721001): Pomenovanie a opis hornín v inžinierskej geológii. Úrad pro normalizaci a měření. Praha. 1989. 40 s.

ČSN 73 1001 (731001): Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy. Úřad pro normalizaci a měření. Praha. 1987. 76 s.

ČSN 73 1214 (731214): Betonové konstrukce. Základní ustanovení pro navrhování ochrany proti korozi. Úřad pro normalizaci a měření. Praha. 1984. 8 s.

ČSN 73 3050 (733050): Zemné práce. Všeobecné ustanovenia. Úřad pro normalizaci a měření. Praha. 1986. 36 s.

ČSN 73 3055 (733055): Zemní práce při výstavbě potrubí. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha. 2018. 24 s.

ČSN 73 6133 (736133): Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha. 2010. 65 s.

ČSN EN 206+A1: (732403): Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Český normalizační institut. Praha. 2018. 88 s.

ČSN EN 1997-1: Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla. Český normalizační institut. Praha. 2006. 138 s.

ČSN EN 1997-2: Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy. Český normalizační institut. Praha. 2008. 152 s.

ČSN EN 1998-1 Změna Z4 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby. ÚNMZ, Praha, 2016.

ČSN EN ISO 14688-1:2002 (721003): Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování hornin - Část 1: Pojmenování a popis. Český normalizační institut. Praha. 2003. 16 s.

ČSN EN ISO 14688-2:2004 (721003): Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování zemin - Část 2: Zásady pro zařídování. Český normalizační institut. Praha. 2005. 24 s.

ČSN EN ISO 14689-1 (721005): Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařídování hornin – Část 1: Pojmenování a popis. Český normalizační institut. Praha. 2004. 20 s.

ČSN P 73 1005 (731005): Inženýrskogeologický průzkum. Český normalizační institut. Praha. 2016. 48 s.

TP 76C: Geotechnický průzkum pro navrhování a provádění tunelů PK, část C. Ministerstvo dopravy, odbor infrastruktury. Praha, 2008. 64 s. Schváleno MD - OI čj. 1084/07-910-IPK/1 ze dne 5.12.07 s účinností od 1.ledna 2008.

WWW stránky:

Geoportál ČUZK. [online]. 2020. [cit. 2020-09-07]. Dostupné z:

[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(1th3ukdijh3zjecqnwim4sjq\)\)/Default.aspx?head_tab=sekce-00-gp&mode=TextMeta&text=uvod_uvod&menu=01&news=yes&UvodniStrana=yes](http://geoportal.cuzk.cz/(S(1th3ukdijh3zjecqnwim4sjq))/Default.aspx?head_tab=sekce-00-gp&mode=TextMeta&text=uvod_uvod&menu=01&news=yes&UvodniStrana=yes)

HEIS VÚV T. G. Masaryka. [online]. 2020. [cit. 2020-10-01]. Dostupné z:

http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=AJAX_MAIN&IFRAME=1&LEGEND_HIDE=0&QUERY_SELECTION=1&FULLTEXT_CHECKED=1

Mapový server ČGS. [online]. 2020. [cit. 2020-10-14]. Dostupné z:

<http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>

Hrnčiarova T., Mackovčín P., Zvara I., et al. (2009): Atlas krajiny České republiky / Landscape Atlas of the Czech Republic. Ministerstvo životního prostředí ČR, Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., 332 s. Praha. ISBN 978-80-85116-59-5. [online]. 2009. [cit. 2017-19-12]. Dostupné z: http://mzp.cz/cz/atlas_krajiny_cr