

# **Znalecký posudek**

č. 25/3/2021

**pro zhodnocení ražených variant tunelů STŘED a JIH železničního spojení  
Praha-Dejvice až Praha-Veleslavín z hlediska geotechnického v rámci  
zpracovávané DÚR**

Úkolem znalce je na základě zadání níže uvedeného subjektu odpovědět na znalecké otázky, uvedené na následujících stranách.

## **Vypracování posudku zadal subjekt:**

Spolek za ochranu Střešovic a Břevnova  
U druhé baterie 889/33, 162 00 Praha 6  
IČ: 085 02 366

Spolek vedený ve spolkovém rejstříku Městského soudu v Praze, oddíl L, vložka 72470  
Zastoupený: p. Roman Mejstřík

## **Účel posudku:**

Pro potřeby zadavatele.

## **Posudek vypracoval:**

Ing. Josef Rott, Ph.D.

Primátorská 692

273 24 Velvary

IČ 88318711

DIČ CZ8011290672

tel. +420 602 610 507

## **Přizvaná instituce či fyzická osoba:**

Znalecký posudek obsahuje celkem 84 stran, 11 strany příloh.-----

Posudek je předán ve 3 vyhotoveních, z nichž každé má platnost originálu.-----

# OBSAH

	strana
<b>1. Úvod</b> .....	4
Použité podklady	
.....	10
<b>2. Nález</b> .....	12
Koncept technologie ražby tunelů a konstrukční návrh	
.....	12
Geologická a inženýrskogeologická charakteristika horninového prostředí tunelových variant JIH a STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín	
.....	13
Poklesy terénu při ražbě metodou TBM	
.....	28
Metodika hodnocení geotechnických rizik a pravděpodobnosti výskytu negativních jevů	
.....	31
<b>3. Posudek</b> .....	32
Očekávaná poklesová kotlina pro porovnávané varianty JIH a STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín	
.....	32
In-situ napětí v masivu v oblasti tektonických poruch variant tunelu JIH a STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín	
.....	36
Vliv technické seismicity při ražbě a provozu tunelové varianty STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín na okolní občanskou zástavbu a infrastrukturu	
.....	40
Hlavní limity dosavadního numerického modelování ražby tunelové variant STŘED a JIH železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín ve vztahu ke vstupním parametrům	
.....	43
Zhodnocení vlivu větrací šachty na hydrogeologii tunelu JIH železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín	
.....	50

Komentář a vzájemné souvislosti 4 podkladů ve smyslu geologie a zhodnocení rizik při porovnání variant tunelu JIH a STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín .....	53
Vyhodnocení tunelových variant tunelu JIH a STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín z hlediska ražby v horninách určité pevnost .....	71
Hodnocení geotechnických rizik – rizik výskytu geotechnického jevu u variant tunelu JIH a STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín .....	72
Závěrečné hodnocení .....	73
<b>Odpověď na znalecké otázky</b> .....	75
<b>Znalecká doložka</b> .....	84
 Přílohová část .....	 85

Velvary, dne 19. 2. 2021

Josef Rott

# 1. Úvod

Na základě e-mailového potvrzení prací a poptávky znaleckého posudku od zadavatelského subjektu SPOLEK ZA OCHRANU STŘEŠOVIC A BŘEVNOVA (dále jen „ZADAVATEL“) byl znalcem Josefem Rottem vypracován znalecký posudek s cílem zodpovědět znalecké otázky 2 variant ražených tunelů STŘED a JIH železničního spojení Praha-Dejvice až Praha-Veleslavín. Sledované hledisko znaleckých otázek má geotechnický podtext.

Tunel je součástí projektovaného dvoukolejného elektrifikovaného spojení Prahy, letiště Ruzyně a Kladna. Stavba zprostředkuje nezbytné rychlé železniční spojení letiště a města Kladno s centrem metropole, ve špičkové frekvenci 10 minut. Traťová rychlost dosáhne v Praze až 120 km/h a mimo Prahu až 160 km/h. Pro tuto stavbu byla v roce 2014 vypracována „Aktualizace studie proveditelnosti 2015, Železniční spojení Prahy, letiště Ruzyně a Kladna“ a v 7/2015 následně schválena Centrální komisí MD. Ve studii byla na základě předchozích prací doložena varianta vedení tunelu povrchová a varianta hloubená.

V dubnu 2019 byla zhotovitelem navržena a na úrovni studie prověřena nová „jižní varianta“ (v textu posudku označována jako „varianta JIH“), která předložila koncept nového vedení železniční tunelové trasy v blízkosti tunelů MO Blanka a ulice Milady Horákové. Na základě zpracovaného prověření konceptu byla varianta ražená JIH dále rozpracována a odevzdána na konci června 2019.

Vzhledem k následnému iniciačnímu návrhu zástupců občanů Střešovice byla na podzim roku 2019 zpracována modifikovaná Jižní varianta, v posudku dále označována jako varianta STŘED.

Úkolem znalce bylo odpovědět na následující znalecké otázky, definované či po úpravě odsouhlasené zadavatelem posudku:

**1) Byla metodika expertízy provedená Univerzitou Bochum pro zadaný účel realizována podle dostupných technických znalostí a postupů?**

**2) Byly při expertíze Univerzity Bochum použita všechna zásadní hodnotící kritéria, která by jednoznačně umožnila kvalifikovaným způsobem porovnávat jednotlivé trasy tunelu a jednoznačně identifikovat optimální trasu tunelu v předmětném území?**



**3) Byly vstupy pro expertízu Univerzity Bochum, z hlediska zadaných cílů a očekávaných výstupů, s ohledem na typ a kvalitu (spolehlivosti) podkladů, pro zadaný cíl dostatečné? Pokud nikoliv, tak proč?**

---

**4) Zahrnovaly tyto vstupy všechny důležité faktory, které jsou v daném území nezbytné pro hodnocení optimálního výběru trasy? Pokud nikoliv, které významné faktory chyběly a proč?**

---

**5) Jaký je kvalitativní rozdíl mezi informacemi o geologickém prostředí v potenciálních trasách tunelů, které Univerzita Bochum dostala jako podklad pro svou expertízu a v modelu ČGS, (který byl zpracován dodatečně a Univerzita Bochum ho neměla pro svou expertízu k dispozici)?**

---

**6) Jaký význam pro celkové hodnocení závěrečné hodnocení expertízy Univerzity Bochum měla skutečnost, že výsledky tohoto geologického modelu ČGS pro ni nemohly být použity?**

---

**7) Je možné na základě rizikové analýzy s kvalitativním i podklady, která Univerzita Bochum měla k jejímu provedení k dispozici, jednoznačně dávat preference trase JIH, nebo trase STŘED?**

---

**8) Jaké riziko představují v územním řízení vrty pro tepelná čerpadla trase tunelu?**

---

**9) Jaké riziko představují při ražbách tunelů vertikální průnik izolátorem mezi dvěma horizonty podzemní vody?**

---

**10) Jaké riziko představuje při ražbách tunelů, možnost náklonu vysokého objektu (komína) v oblasti ÚVN při jeho podchodu tunelovou troubou?**

---

**11) Jaké jsou další případné zdroje rizik ve variantách tunelové trasy JIH a STŘED?**

---

**12) Jaké je porovnání vlivu tunelových variant JIH a STŘED na nadzemní zástavbu, poklesy terénu, životní prostředí a hygienické podmínky?**

---

**13) Jsou výsledky expertizy Univerzity Bochum u veřejnosti a u orgánů veřejné správy prezentovány SŽDC věrohodně s cílem upřednostnit jednu z rozpracovaných tras, nebo jsou prezentovány tendenčně s cílem upřednostnit trasu JIH?**

---

Situační zákresy variant tunelů železničního spojení Praha-Dejvice až Praha-Veleslavín jsou v rámci úvodu přehledně uvedeny níže, mimo jiné pro eliminaci jejich opakování v následujících statích posudku. Zahrnuty jsou rovněž plánky pro znázornění vedení geologických řezů.

Portály ražených tunelů jsou v prostoru lokality Hradčanské v blízkosti křižovatky Svatovítská x Milady Horákové a teplárny Veleslavín. Varianta JIH se dvěma jednokolejnými raženými tunely TBM je trasována jižně od Fyzikálního ústavu akademie věd. Varianta STŘED je modifikací varianty ražená JIH. Rozdíl spočívá v rozdílném trasování v oblasti Střešovic. Trasa je odsunuta severním směrem tak, aby byla vedena v maximální možné míře pod ulicemi Střešovická a Na Petřínách a aby bylo minimalizováno vedení pod areálem Ústřední vojenské nemocnice Střešovice.

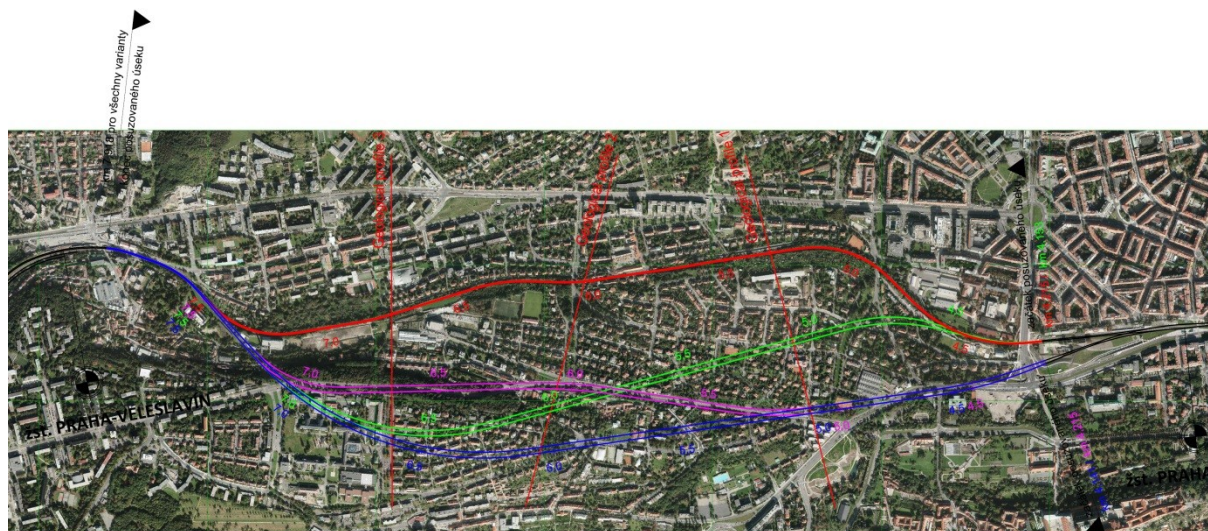
#### Varianta JIH

První úsek trasy (cca 500 m) je charakterizován kvartérními uloženinami bez obytné zástavby na povrchu s nadloží do 30 m. V podloží kvartérních uloženin byly evidovány břidlice letenského souvrství. Ražba bude probíhat pravděpodobně pod hladinou podzemní vody. Ve středu trasy tunel prochází zdravými letenskými břidlicemi s nadloží zhruba 70 m. Hladina podzemní vody se nachází u povrchu v kvartérních uloženinách a není předpoklad jejího ovlivnění ražbou. Riziko jejího ovlivnění dále snižuje navržená technologie ražby. Ke konci úseku po překonání poruchového pásma trasa prochází zdravými dobrotivskými břidlicemi pod nadloží zhruba 60 m. Před portálem Veleslavín se výška nadloží snižuje a očekává se zvodnění břidlic. Délka trasy je 3765 m.

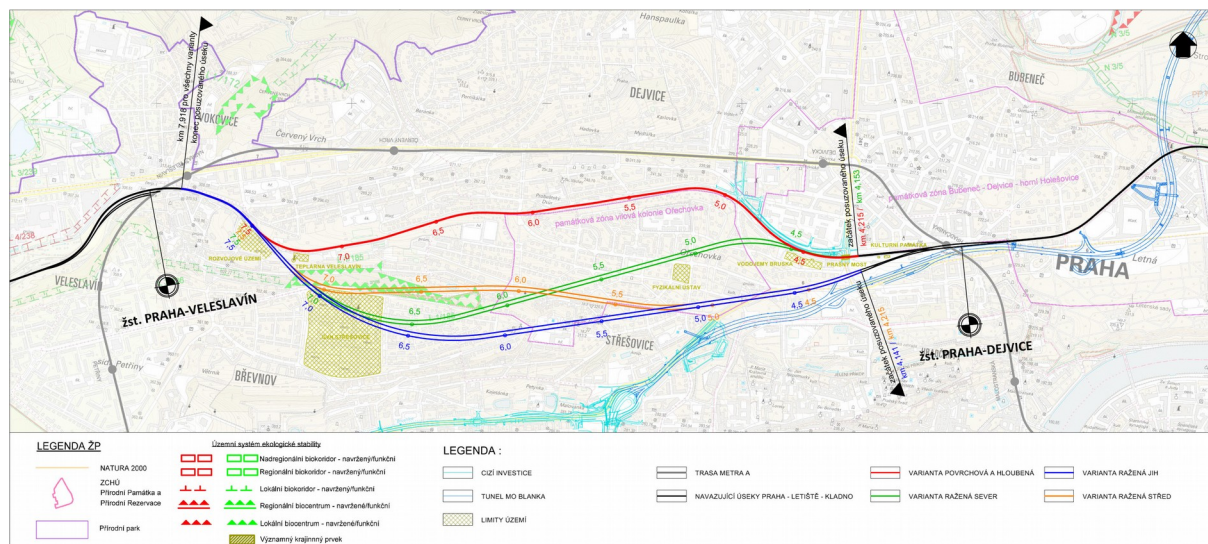
#### Varianta STŘED

První úsek trasy (cca 500 m) je charakterizován kvartérními uloženinami bez obytné zástavby na povrchu s nadloží do 30 m. V podloží kvartérních uloženin byly evidovány břidlice letenského souvrství. Ve středu trasy tunel prochází po překonání pásu libeňských vrstev zdravými letenskými břidlicemi pod nadloží zhruba 40 m. Hladina podzemní vody se nachází u povrchu v kvartérních uloženinách a není předpoklad jejího ovlivnění ražbou. Ke konci úseku po překonání poruchového pásma trasa prochází zdravými dobrotivskými břidlicemi pod nadloží zhruba 55 m. Před portálem Veleslavín se výška nadloží snižuje a

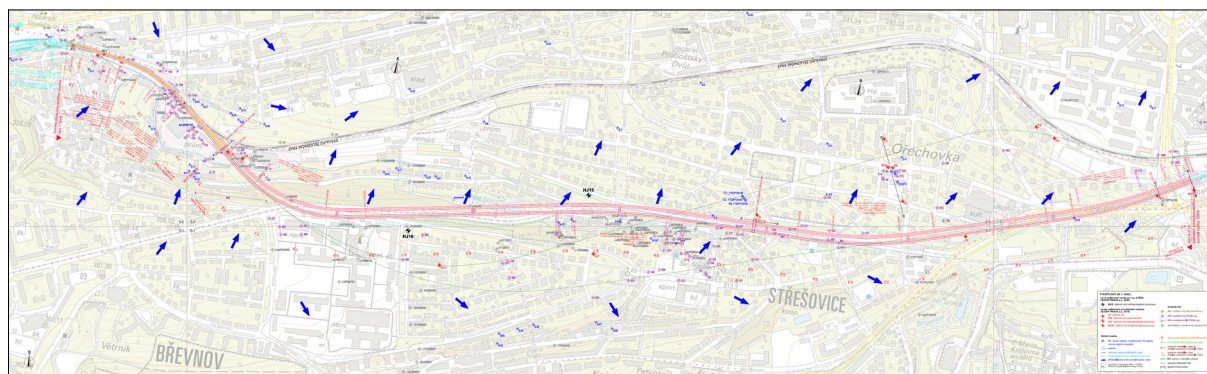
očekává se zvodnění těchto břidlic. Největším geotechnickým rizikem je ražba pod nízkým nadložím v zeminách pod nájezdovou rampou Svatovítská v prvním úseku trasy. Zde jsou však plánována dodatečná opatření pro minimalizaci těchto rizik. Hladina podzemní vody nebude ražbou ovlivněna. Pro tuto variantu dosud nebyl proveden geotechnický průzkum a údaje uvedené v podélném profilu trasy jsou doplněny na základě odborného odhadu. Délka trasy je 3703 m.



Obr. 1: Vedení ražených variant tunelů železničního spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín, varianta JIH modře, varianta STŘED fialově.

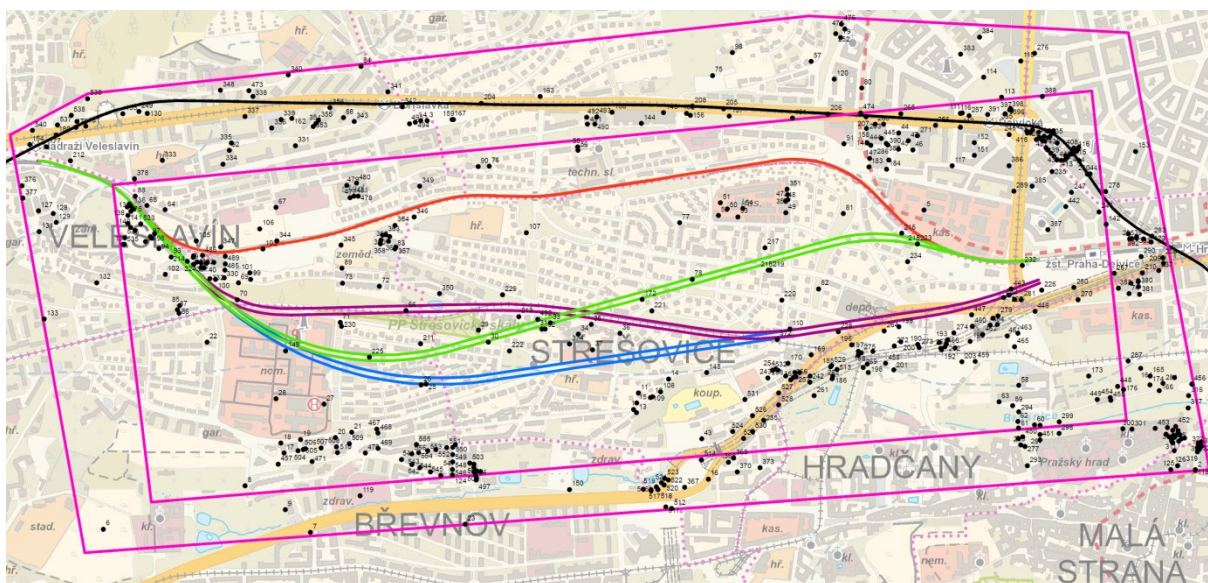


Obr. 2: Vedení ražených variant tunelů železničního spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín, varianta JIH modře, varianta STŘED oranžově ve vztahu k územnímu systému ekologické stability, limitám území a významným dopravním stavbám.

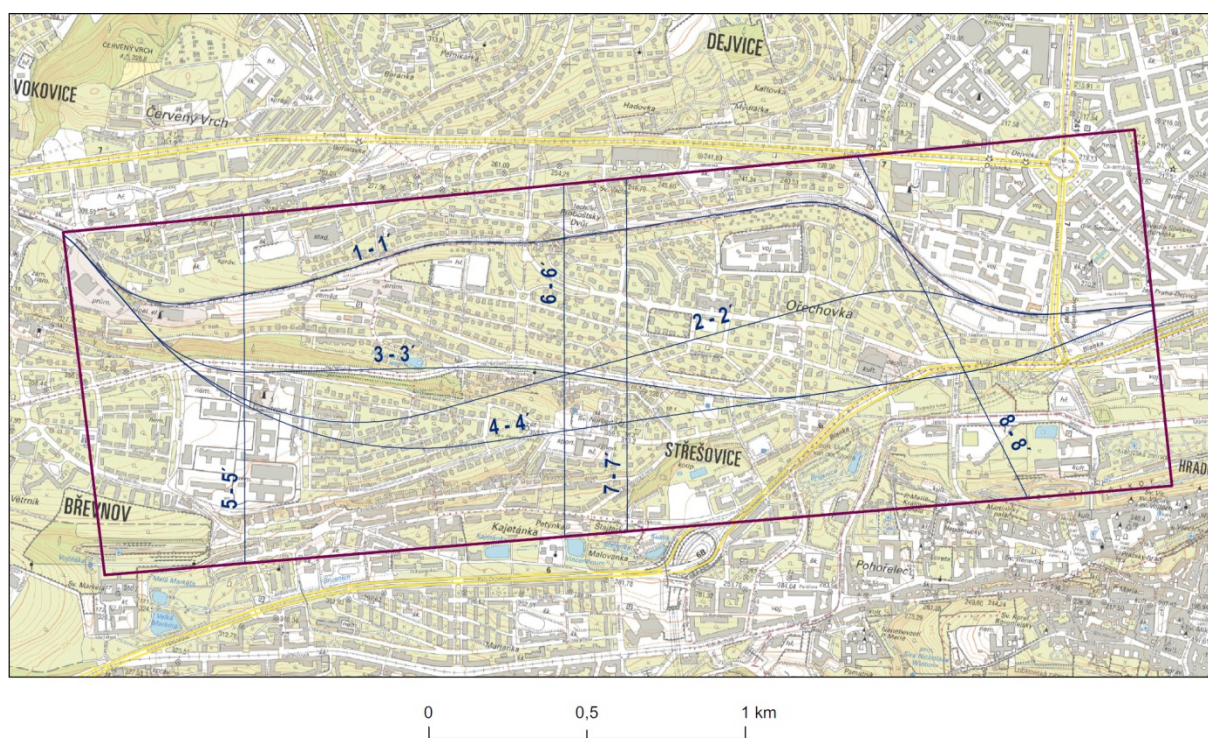


Obr. 3: Průběh varianty STŘED s vyznačením průzkumných děl.





Obr. 4: Zájmová oblasť s reinterpretovanými GDO.



Obr. 5: Oblast 3D geologického profilu, podélné geologické profily jednotlivých tunelových variant a příčné profily 7-7', 6-6' v místě větrací šachty tunelové varianty JIH a 5-5' v místě Ústřední vojenské nemocnice.

## Použité podklady

Podklady k posudku jsou uvedeny v následujícím výčtu. Znalec konstatuje, že jsou pro zodpovězení znaleckých otázek dostatečné. V následujícím textu jsou kompletně převzaté a znalcem nedoplněné tabulky prezentovány jako obrázky.

Zprávy, posudky, průzkumy, projektová dokumentace

- [1] Projektová dokumentace (DÚR - Dokumentace pro územní řízení se zapracovanými připomínkami): Modernizace trati Praha-Výstaviště (mimo) – Praha-Veleslavín (mimo), definiční úsek Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín (0101 04), D.2.1.7.6 – SO 06-25-01 – Ražený tunel Střešovice levý – km 4,141 – 7,322; D.2.1.7.7 – SO 06-25-02 – Ražený tunel Střešovice pravý – km 4,162 – 7,320; D.2.1.7.8 – SO 06-25-03 – Tunelové propojky Střešovice; D.2.1.7.9 – SO 06-25-04 – Větrací šachta Střešovice, METROPROJEKT, a.s., 11/2019.
- [2] 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.
- [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. 79 s.
- [4] Clarification of questions concerning regional geology of Prague, METROPROJEKT, a.s., Podklady pro zpracování posouzení variant tunelových staveb, 05/2020.
- [5] Thewes M. (2020): Project Modernizace trati - Praha-Výstaviště – Praha-Veleslavín, Expert Assessment - Part I – Technical Assessment of Geotechnical Investigation Programme, ve spolupráci se společností Maidl Tunnelconsultants (Dr.-Ing. Janosch Stascheit, Dipl.-Ing. Stefan Hintz, MSc. Artem Syomik), DocID: PTPVA201\_AR\_I\_01, 09/2020.
- [6] Thewes M. (2020): Project Modernizace trati - Praha-Výstaviště – Praha-Veleslavín, Odborné posouzení - Část II – Část II – Posouzení variant vedení trasy, ve spolupráci se společností Maidl Tunnelconsultants (Dr.-Ing. Janosch Stascheit, Dipl.-Ing. Stefan Hintz, MSc. Artem Syomik), DocID: PTPVA201\_AR\_II\_01, 09/2020.
- [7] Thewes M. (2020): Project Modernizace trati - Praha-Výstaviště – Praha-Veleslavín, Expert Assessment - APPENDICES on Numerical Analyses, ve spolupráci se společností Maidl Tunnelconsultants (Dr.-Ing. Janosch Stascheit, Dipl.-Ing. Stefan Hintz, MSc. Artem Syomik), DocID: PTPVA201\_AR\_A\_01, 09/2020.
- [8] Nezávislý posudek vlivu vibrací na zástavbu nad železničním tunelem Praha-Dejvice - Praha-Veleslavín, ARENAL s.r.o., 9/2020.
- [9] ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA - ČGS (2020): 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, odpovědný řešitel Ing. Milan Aue, 11/2020.

## Články české i zahraniční, příspěvky z konferencí

- [10] Mihalis I., Kavvadas M. (1999): Ground movements caused by tunnelling in the Athens Metro Project, Proc. Int. Symp. on the Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Tokyo, Japan, strany 269-274.
- [11] Novák J., Sedlák V. (2004): K problematice určení mezního úhlu vlivu dobývání v poklesové kotlině, Acta Montanistica Slovaca, ročník 9, číslo 2, strany 85-89.
- [12] Pavlík J., Klímek L., and Rupp D. (2004): Geotechnical exploration for the Dobrovskho tunnel, the 450 most significant structure on the large city ring road in Brno. TUNEL, ročník 13, číslo 2/2004: strany 2–12.
- [13] Hudek J. (2007): Zkušenosti PUDIS a.s.s presiometrickými zkouškami pro tunely, TUNEL, ročník 16, č. 3/2017, strany 19 - 25.
- [14] Krch V., Chmelař R., Síla L., Kuk R., Rieger R. (2011): Odvodňovací štola strahovského automobilového tunelu, TUNEL, ročník 20, č. 1/2011, strany 12 - 21.
- [15] Hilar M., Tuan N. T. (2016): Evaluation of the surface settlement above the Prague Metro Line A extension constructed by 2 shields. Acta Polytechnica 56(6), strany 448–454.
- [16] De Barros L., Daniel G., Guglielmi Y., Rivet D., Caron H., Payre X., Bergery G., Henry P., Castilla R., Dick P., Barbieri E. Gourlay M. (2016): Fault structure, stress, or pressure control of the seismicity in shale? Insights from a controlled experiment of fluid-induced fault reactivation, J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, 4506–4522, doi:10.1002/2015JB012633.
- [17] Rott, J., Mašín, D., Boháč, J., Krupička, M. and Mohyla, T. (2015). Evaluation of K0 in stiff clay by back-analysis of convergence measurements from unsupported cylindrical cavity. Acta Geotechnica 10, No. 6, strany 719-733.
- [18] Hudek, J. (2016): Zjištění napjatosti horninového masivu metodou odlehčení štolou pro první podtunelování řeky vltavy v roce 1973, TUNEL, ročník 25, č. 1/2016, strany 51 – 60.
- [19] Kaláb Z., Stolárik M., Pinka M. (2017): Analýza koeficientů přenosu prostředí na třech mělce ražených tunelech, TUNEL (ISSN 1211 – 0728), ročník 26, 2/2017, strany 41 - 47.
- [20] Ebermann T., Hort O., Hubinger L., Oberhelová J., Vižďa P. (2017): Tunely Ejpovice – geotechnický monitoring, TUNEL (ISSN 1211 – 0728), ročník 26, 1/2017, strany 16 - 25.
- [21] Khoo Ch.-M., Gopalan T., Abdul Rahman N’A., Mohamad H. (2019): Volume loss caused by tunnelling in Kenny Hill formation. International Journal of GEOMATE, Feb., 2019, Vol.16, Issue 54, strany 164 – 169.
- [22] Liu L., Chalaturnik R., Deisman N., Zambrano-Narvaes G. (2021): Anisotropic Borehole Response from Pressuremeter Testing in Deep Clay Shale, Canadian Geotechnical Journal, accepted manuscript.

## Normy

- [23] ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů seismicitou a jejich odezva.
- [24] ČSN 73 0039 - Navrhování objektů na poddolovaném území.
- [25] ČSN 73 1001 (731001): Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy. Úřad pro normalizaci a měření. Praha. 1987. 76 s.
- [26] ČSN EN 1991-1-7, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-7: Obecná zatížení - Mimořádná zatížení

## Internetové podklady

- [27] On-line mapové podklady České geologické služby (ČGS).
- [28] On-line podklady Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního (ČÚZK).

# 2. Nález

## Koncept technologie ražby tunelů a konstrukční návrh

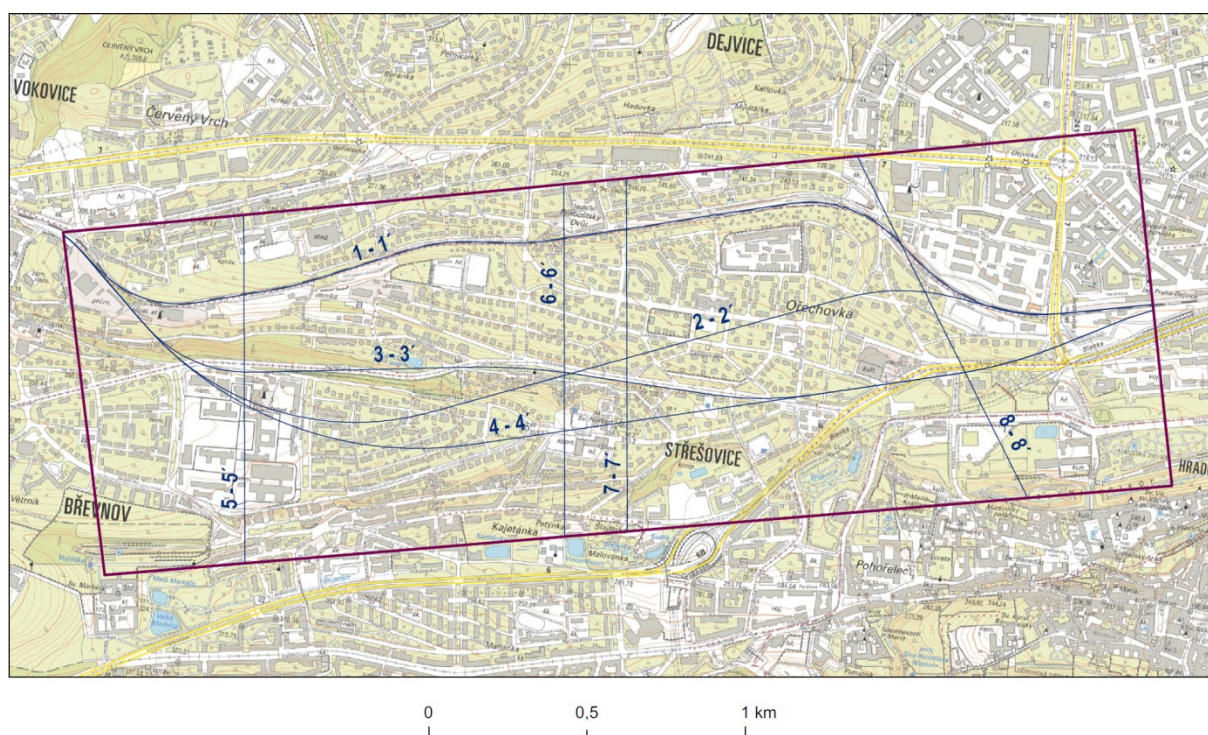
Zvoleno je užití tunelovacího s pažením čelby zemním tlakem - EPB TBM. Tato technologie je především při volbě tzv. uzavřeného módu, tj. s natlakovanou pracovní komorou za řeznou hlavou velice šetrná na pokles terénu, neboť přetlak účinně brání deformacím (extruzi) čelby. Konkrétní mechanismus je založen na rozrušování a vtlačování rubané horniny do komory za řeznou hlavou, kde se rubanina mísí se zeminou, již předpřipravenou do stavu plastického. Podle zastižených podmínek může stroj pracovat v otevřeném, polouzavřeném nebo uzavřeném módu. Při posunu se štít stroje opírá o čelo prstence, smontovaného v předchozím kroku.

Teoretický výrub při ražbě je 9,9 m, což je z důvodu řízení stroje o 150 mm více, než je vnější průměr ostění. Navrženo je prefabrikované železobetonové ostění průměru 8,7/9,6 m, tloušťky 450 mm, s běžnou betonářskou výztuží a příměsí polypropylenových vláken pro prevenci odprysků betonu z ostění při případném požáru. Podélné spáry mezi segmenty v sousedních prstencích jsou vzájemně vzdáleny minimálně 200 mm. Prostor mezi horninou a prstencem bude doinjektován, do spár bude vloženo předinjektační těsnění proti pronikání injektační směsi spárami do prostoru tunelu. Izolace proti vodě bude zprostředkována pryžovými pásky, případně též s bentonitovými pásky. Pasivní ochrana proti bludným proudům je zajištěna vyšší třídou betonu C35/45.



## Geologická a inženýrskogeologická charakteristika horninového prostředí tunelových variant JIH a STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín

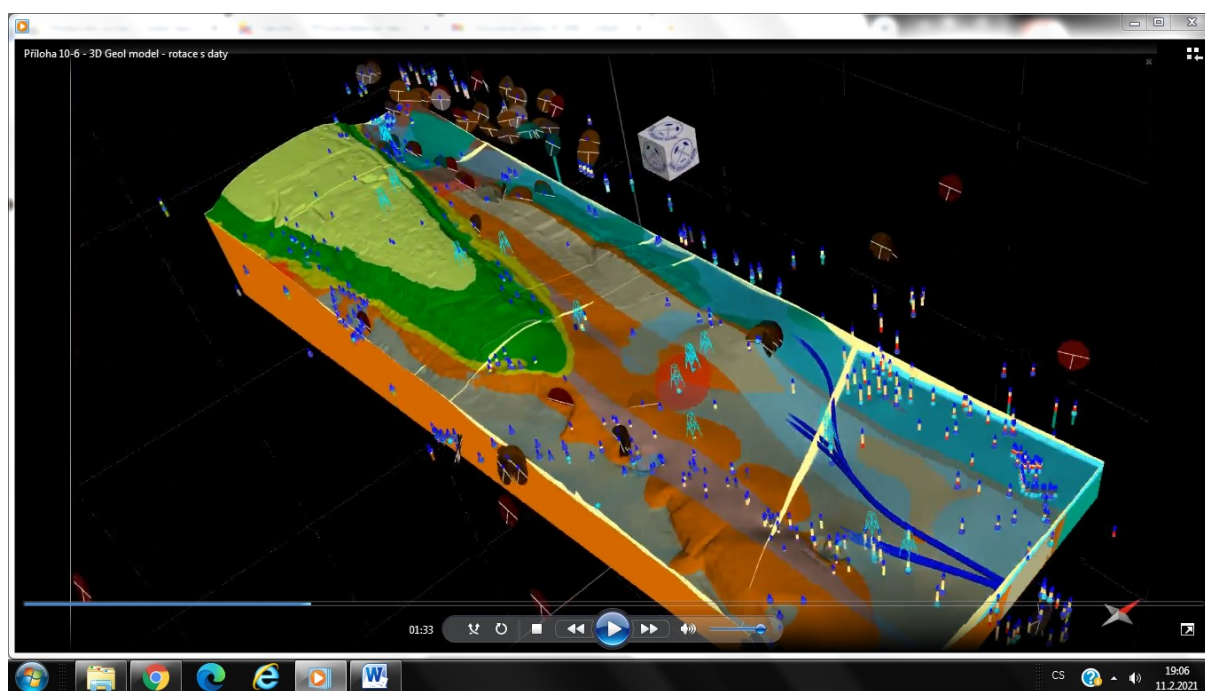
Klíčovým a prakticky jediným citovaným podkladem je v tomto oddíle Závěrečná zpráva – ČGS. Jedná se prakticky o rešeršní práci a zpracování celkem zhruba 500 průzkumných děl, doplněných o 2 hluboké vrty HJ15 (90 m) a HJ16 (63 m) v trase tunelové varianty STŘED do 3D koncepčního geologického modelu. Součástí rešerše je pojednání o tektonice oblasti, pramenech a vodovodních štolách, včetně historických jímacích objektů a dále jsou k dispozici údaje o 4 ks 127 m hlubokých vrtech pro tepelné čerpadlo.



Obr. 6: Oblast 3D geologického profilu, podélné geologické profily jednotlivých tunelových variant a příčné profily 7-7', 6-6' v místě větrací šachty tunelové varianty JIH a 5-5' v místě Ústřední vojenské nemocnice (ČGS, 2020).

<b>Qt</b>	Fluviální sedimenty – pleistocenní terasy řeky Vltavy	<b>OltW</b>	Ordovik – Letenské souvrství – střídání drob, písčitých prachovců a pískovců, s vložkami jílovců
<b>Qn</b>	Kvartérní sedimenty nerozlišené	<b>Oln</b>	Ordovik – Libeňské souvrství – černé jílovité břidlice
<b>Kb</b>	Křída – Bělohorské souvrství	<b>OlnR</b>	Ordovik – Libeňské souvrství – řevnické křemence
<b>Kk</b>	Křída – Korycanské vrstvy	<b>Od</b>	Ordovik – Dobrotivské souvrství – černé jílovité břidlice
<b>Kp</b>	Křída – Perucké vrstvy	<b>OdS</b>	Ordovik – Dobrotivské souvrství – skalecké křemence
<b>OltJ</b>	Ordovik – Letenské souvrství – tmavé jílovce a prachovce, s vložkami pískovců a drob	<b>Os</b>	Ordovik – Šárecké souvrství – černé jílovité břidlice

Obr. 7: Legenda zastižených litologických formací v rámci zpracovávaného 3D modelu (ČGS, 2020).



Obr. 8: Celkový pohled na povrch horninového masivu pod kvartérním pokryvem (ČGS, 2020).

### **Souhrnné geologické informace k litologickým formacím**

Tunelové varianty JIH a STŘED prochází kromě příportálových úseků, kde je podzemní stavba vedená v kvartérním souvrství (a u Veleslavína, kde mohou být zastiženy skalecké křemence v minoritní délce úseku trasy, stejném pro obě tunelové varianty) 4-mi základními geotypy (5-ti podgeotypy) pražského staršího ordoviku, které jsou pro přehlednost označeny následujícím způsobem. Popis je veden v rámci geotechnických souvislostí s tunelovými variantami.

**O-LT-(BP+D)** jsou písčité břidlice a droby (+pískovce) letenského souvrství pražského ordoviku. Náleží v rámci 3D geologického modelu geotypu **GT10** a jsou označeny podgeotypem **LtnP**. Mocnost jednotlivých lavic drob je přibližně 5 – 15 cm, stavba velice připomíná flyš. Lokálně se vyskytují velmi tvrdé a houževnaté pelokarbonátové konkrce délky několika metrů a mocnosti často přes 1 metr. Abrazivita byla testována dle metodiky CERCHAR pro stupeň zvětrání břidlice W1 a W2 s výsledkem CAI = 0,66 až 1,03 (abrazivita nízká až střední) a pískovce stupně zvětrání W1 s výsledkem CAI = 1,39 (abrazivita střední). Pevnost v tlaku s abrazivitou souvisí, je předmětem rozboru v kapitole Posudek.

**O-LT-BJ(č)** jsou černé jílovité břidlice letenského souvrství pražského ordoviku. Náleží v rámci 3D geologického modelu geotypu **GT10** a jsou označeny podgeotypem **LtnJ**. Obsahují často laminy křemenců, které zvyšují abrazivitu z hodnoty dle CERCHAR z hodnoty CAI = 0,76 (abrazivita nízká) na hodnotu CAI = 4,42 (abrazivita extrémně vysoká). Pevnost v tlaku s abrazivitou souvisí, je předmětem rozboru v kapitole Posudek. Těžitelnost je závislá na stupni zvětrání a s přihlédnutím k ČSN 73 3050 je ve třídách 4 až 6 pro stupeň zvětrání W1 a W2, ve třídách 3 a 4 pro stupeň zvětrání W3 až W5. Mocnost letenského souvrství jako celku dosahuje 500 – 600 m.

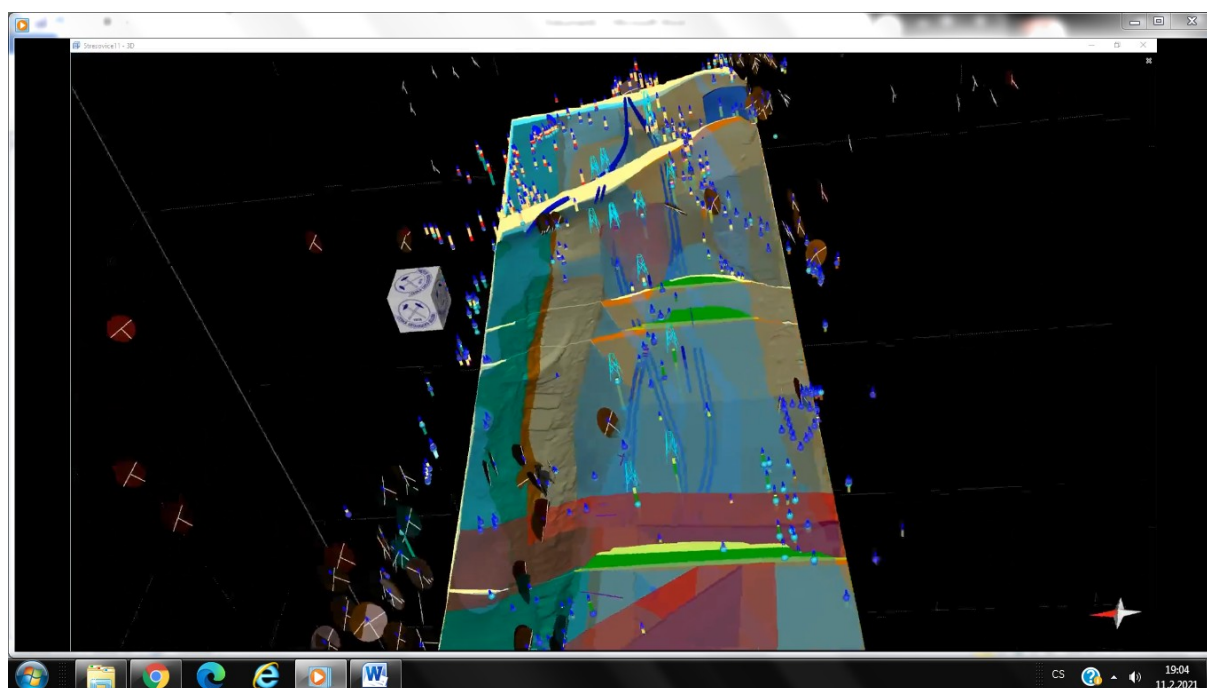
**O-LN-BJ(č)** jsou černé jílovité břidlice libeňského souvrství pražského ordoviku. Náleží v rámci 3D geologického modelu geotypu **GT11** a jsou označeny podgeotypem **Ln**. Jde o hojně slídnaté, nedokonale odlučné černé jílovce a břidlice, při zvětrání střípkovitě rozpadavé. Jsou podobné až nerozlišitelné od břidlic souvrství dobrotivského (viz dále). Z hlediska porovnání se souvrstvím dobrotivským je slída a vlastní hmota jemnější, bez jemnozrnných drob. Libeňské břidlice hluboko zvětrávají – bývají hluboko nakypřeny a porušeny periglaciálním zvětráním. Těžitelnost se pohybuje dle ČSN 73 3050 ve třídě 5 pro stupeň zvětrání W1 (dle ČSN 73 6133 ve třídě II); dle ČSN 73 3050 ve třídě 4 pro stupeň zvětrání W2 (dle ČSN 73 6133 ve třídě II); dle ČSN 73 3050 ve třídě 3 pro stupeň zvětrání W3 (dle ČSN 73 6133 ve třídě I); dle ČSN 73 3050 ve třídě 3 pro stupeň zvětrání W4-W5 (dle ČSN 73 6133 ve třídě I). Mocnost činí kolem 100 – 120 m, na západě cca 80 m.

**O-LN-řK** jsou bazové řevnické křemence libeňského souvrství pražského ordoviku. Náleží v rámci 3D geologického modelu geotypu **GT12** a jsou označeny podgeotypem **LnR**. Litologicky se jedná o cca 10 až 50 cm mocné vrstvy, místy se však vyskytují lavice silné přes 2 m. Podřízeně jsou proloženy vložkami písčitých i jílovitých břidlic a jílovců. Je možnost prolnutí těchto materiálů do černých jílovitých břidlic libeňského souvrství. Svojí mocností 15 – 40 m (lokálně i 15 m) tvoří přibližně ¼ souvrství. Řevnické křemence jsou prakticky spolu

se skaleckými křemenci nejtvrďší horninou skalního podkladu. Pevnost v tlaku je předmětem rozboru v kapitole Posudek.

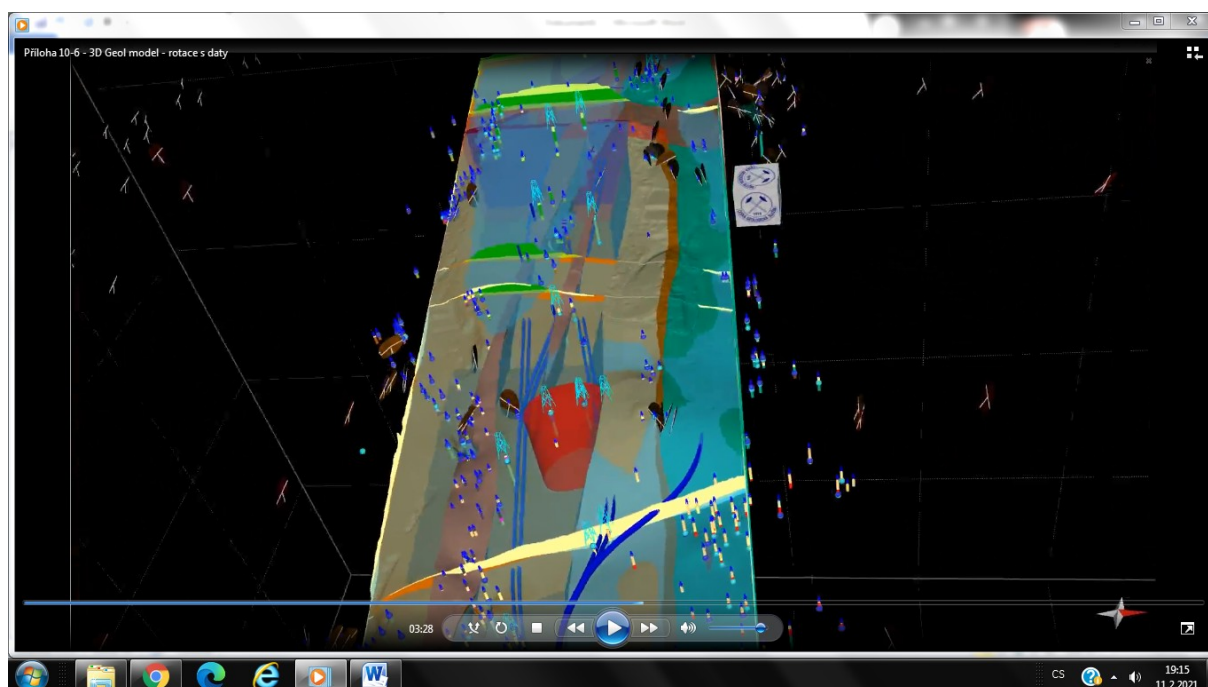
**O-D-BJ(č)** jsou černé jílovité břidlice dobrotivského souvrství pražského ordoviku. Náleží v rámci 3D geologického modelu geotypu **GT13** a jsou označeny podgeotypem **Od**. Tvoří přibližně 2/3 souvrství. Jde o výrazně slídnaté jílovce až jílovité břidlice, při navětrání střípkovitě rozpadavé. V nejbližším okolí zájmového území byly břidlice proloženy rovněž drobami. Celková mocnost dobrotivského souvrství činí přibližně 400 m. Hojně jsou nodule s pevným karbonátovým tmelem, rozpadavé do jílovitopísčité zeminy. Těžitelnost se pohybuje dle ČSN 73 3050 ve třídě 5 pro stupeň zvětrání W1 (dle ČSN 73 6133 ve třídě II); dle ČSN 73 3050 ve třídě 4 pro stupeň zvětrání W2 (dle ČSN 73 6133 ve třídě II); dle ČSN 73 3050 ve třídě 3 pro stupeň zvětrání W3 (dle ČSN 73 6133 ve třídě I); dle ČSN 73 3050 ve třídě 3 pro stupeň zvětrání W4-W5 (dle ČSN 73 6133 ve třídě I). Abrazivnost byla testována metodou CERCHAR, výsledky pro 2 vzorky břidlice činí 0,68 a 0,91 (abrazivita nízká). Pevnost v tlaku je předmětem rozboru v kapitole Posudek.

Pro znalecký posudek byla k dispozici animace ze 3D geologického modelu, ze kterého byly generovány výstupy na Obrázcích 8 a dále 9 – 12.

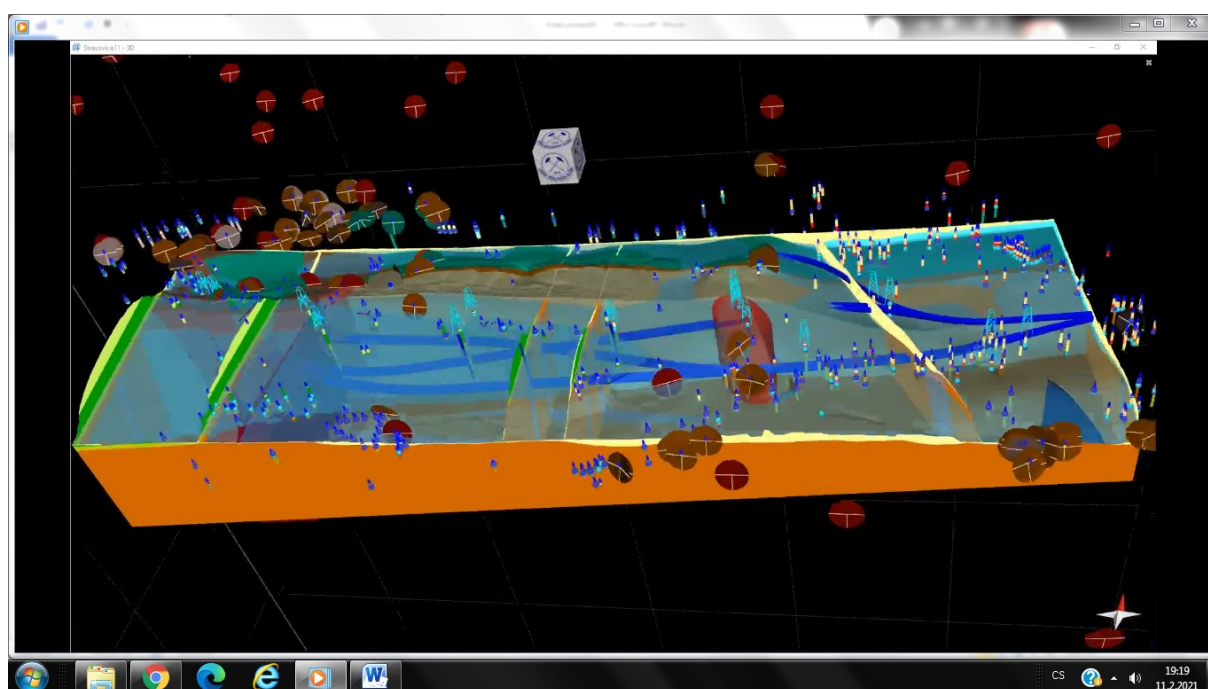


Obr. 9: Pohled od západu na model s dokumentačními body – báze křídového souvrství je zobrazena bázovou plochou s průhledným modrým odstínem, na které je v řezech patrné křídové souvrství. Z pohledu je patrný ofset tunelových variant vůči nejvzdálenější výspy křídové plošiny (ČGS, 2020).

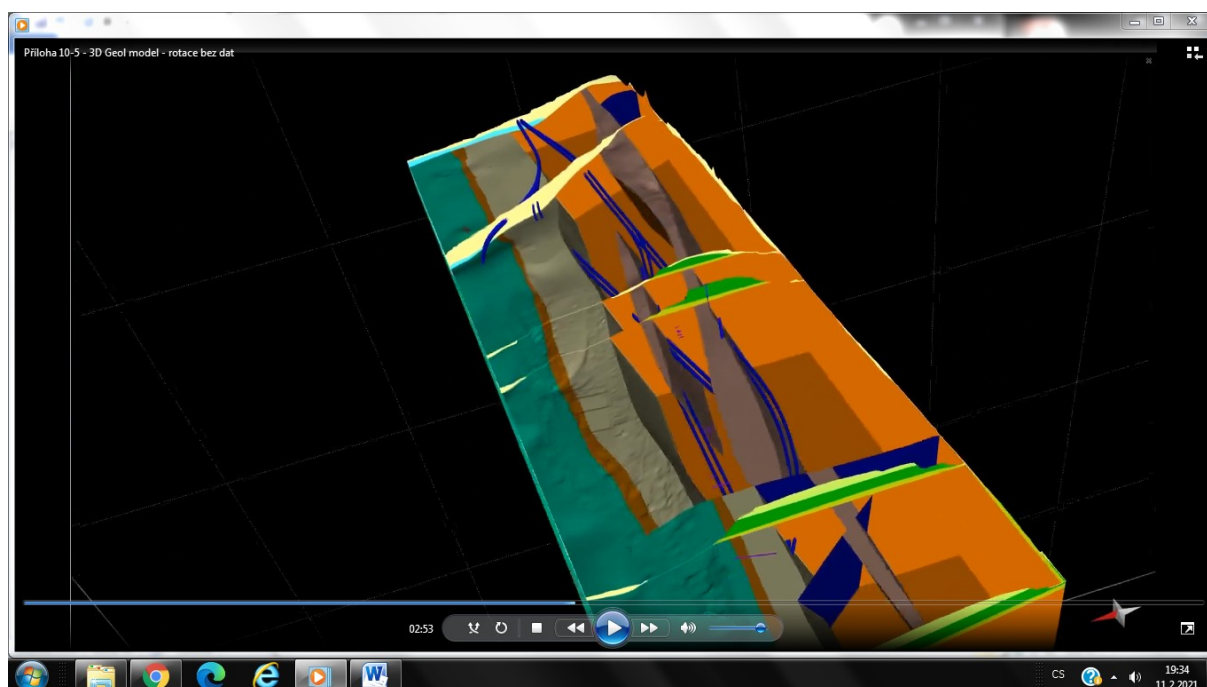




Obr. 10: Analogický pohled předchozímu obrázku – pohled od východu (ČGS, 2020).



Obr. 11: Analogický pohled od jihu. Úklon vrstev v masivu je zhruba jižním směrem (ČGS, 2020).



Obr. 12: Pohled do nitra oranžově značených Letenských vrstev (drob, pískovců, prachovců) s průběhy tunelových variant ve vztahu k černým břidlicím souvrství Libeňského (šedá barva). Úklon vrstev je JJV směrem, na rozhraní Letenského a Libeňského souvrství mohou být tektonické prokluzy a oslabené zóny fragmentované horniny. Patrné jsou hlavní zlomové struktury (modře) (ČGS, 2020).

## Průběh trasy jednotlivých tunelů v geologických formacích

### Varianta STŘED

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 (**O-LT-(BP+D)** v kombinaci s **O-LT-BJ(č)**, respektive GT10 – LtnP+LtnJ). 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 (**O-LN-BJ(č)** v kombinaci s **O-LN-řK**, respektive GT11-Ln v kombinaci s GT12-LnR). V nich probíhá na úseku délky cca 260 m, resp. 80 m (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. Pozice křemenců v této zóně byla vymezena pouze na základě posunu na zlomu, identifikovaném v odkryté části ordoviku. Zde pod křídovým 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 (**O-D-BJ(č)**, respektive **GT13-Od**, 13,6 %), následuje poloha skaleckých křemenců (**O-D-sK**, respektive **GT14-OdS**, cca 50 m, 1,4 % trasy). Uvedené dokumentuje následující podélný geologický profil na Obrázku 13.

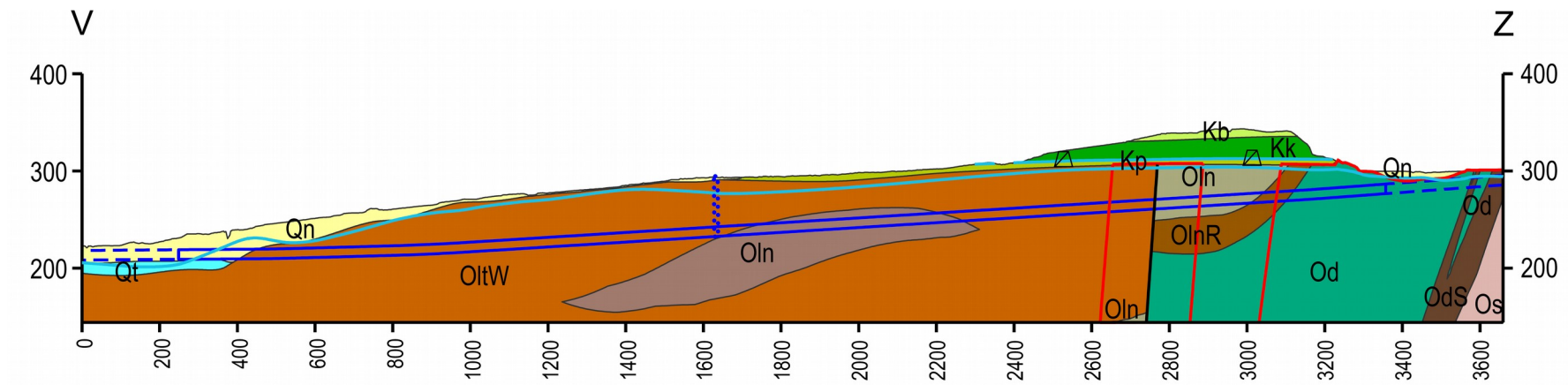
#### Varianta JIH

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 (**O-LT-(BP+D)** v kombinaci s **O-LT-BJ(č)**, respektive **GT10 – LtnP+LtnJ**).

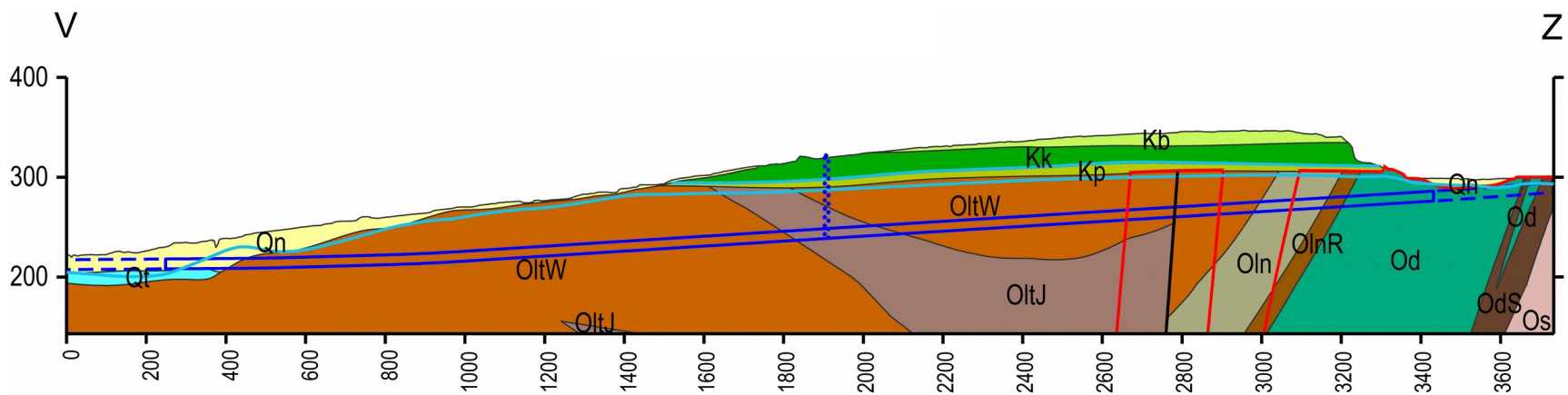
Odlišná od varianty STŘED je tato varianta především v průchodu horninovým prostředím za tektonickou poruchou severojižního směru. Po této až 200 m mocné poruchové zóně totiž pokračuje trasa i nadále v břidlicích letenského souvrství ((**O-LT-(BP+D)** v kombinaci s **O-LT-BJ(č)**, respektive **GT10 – LtnP+LtnJ**), na rozdíl od složitého 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 staví ke sledu pestřejších hornin: břidlic libeňského souvrství (**O-LN-BJ(č)** respektive **GT11-Ln**, 170 m, resp. 4,6 %), částečně řevnických křemenců (**O-LN-řK** respektive **GT12-LnR**, cca 50 m, což odpovídá 1,3 % celkové trasy), břidlic dobrotivského souvrství (**O-D-BJ(č)**, respektive **GT13-Od**, 470 m, 12,3 %), což je z pohledu průchodu tímto horninovým sledem pozitivní. Uvedené dokumentuje následující podélný geologický profil na Obrázku 14.

Na Obrázcích 15 až 17 jsou generované příčné geologické řezy. Váží se k situaci řezů – stejně jako řezy podélné – k Obrázku 7.

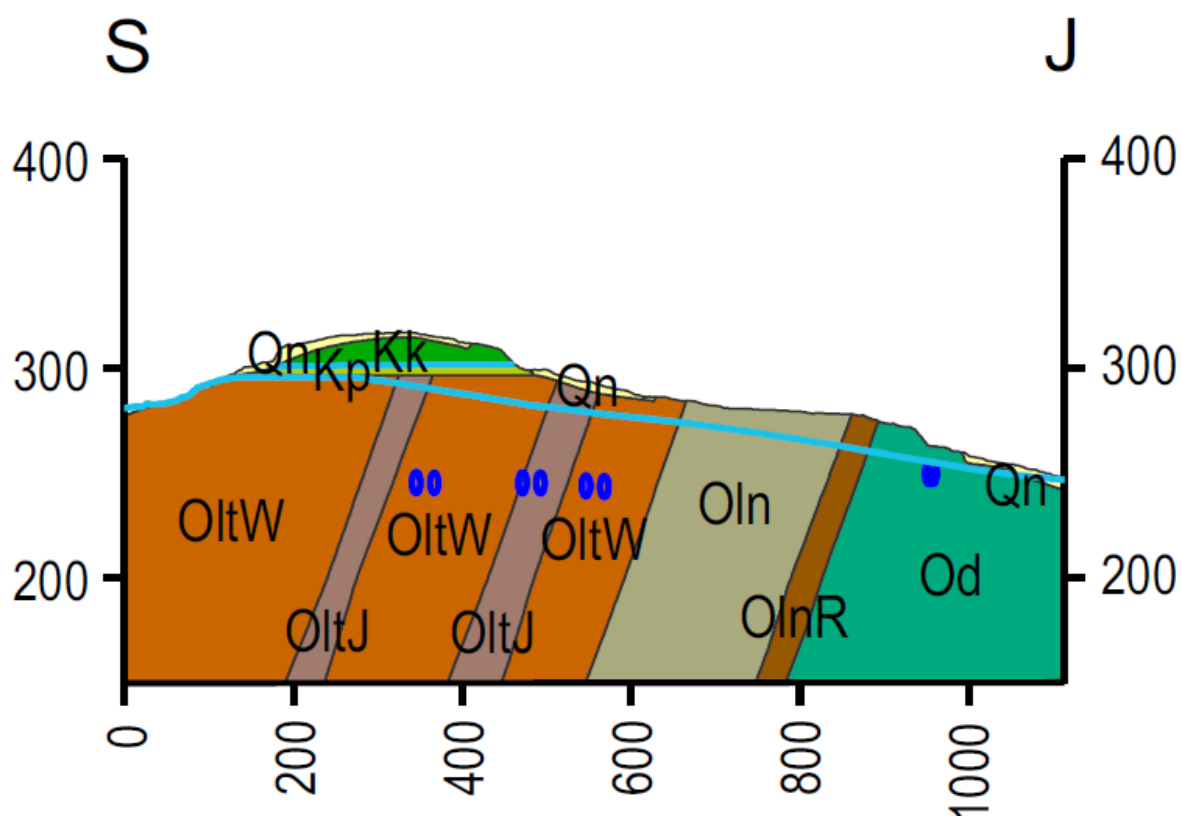


Obr. 13: Podélný geologický řez – varianta STŘED (ČGS, 2020).

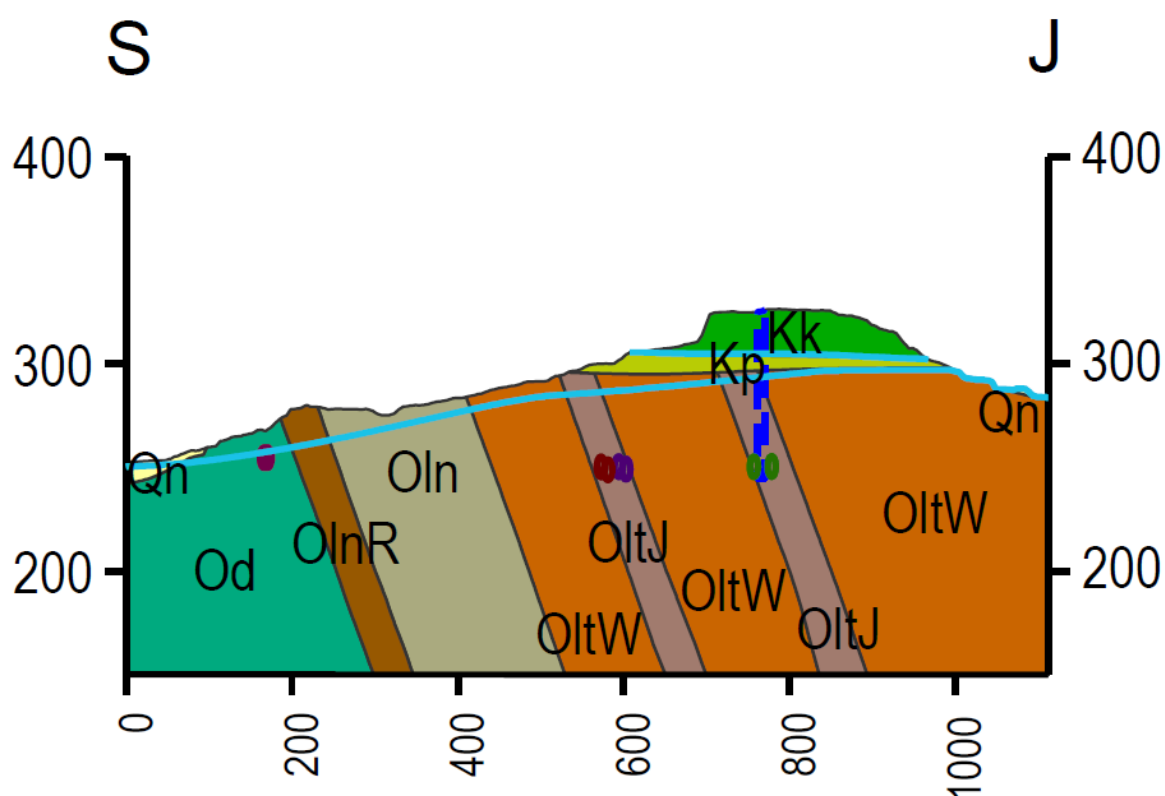


Obr. 14: Podélný geologický řez – varianta JIH (ČGS, 2020).

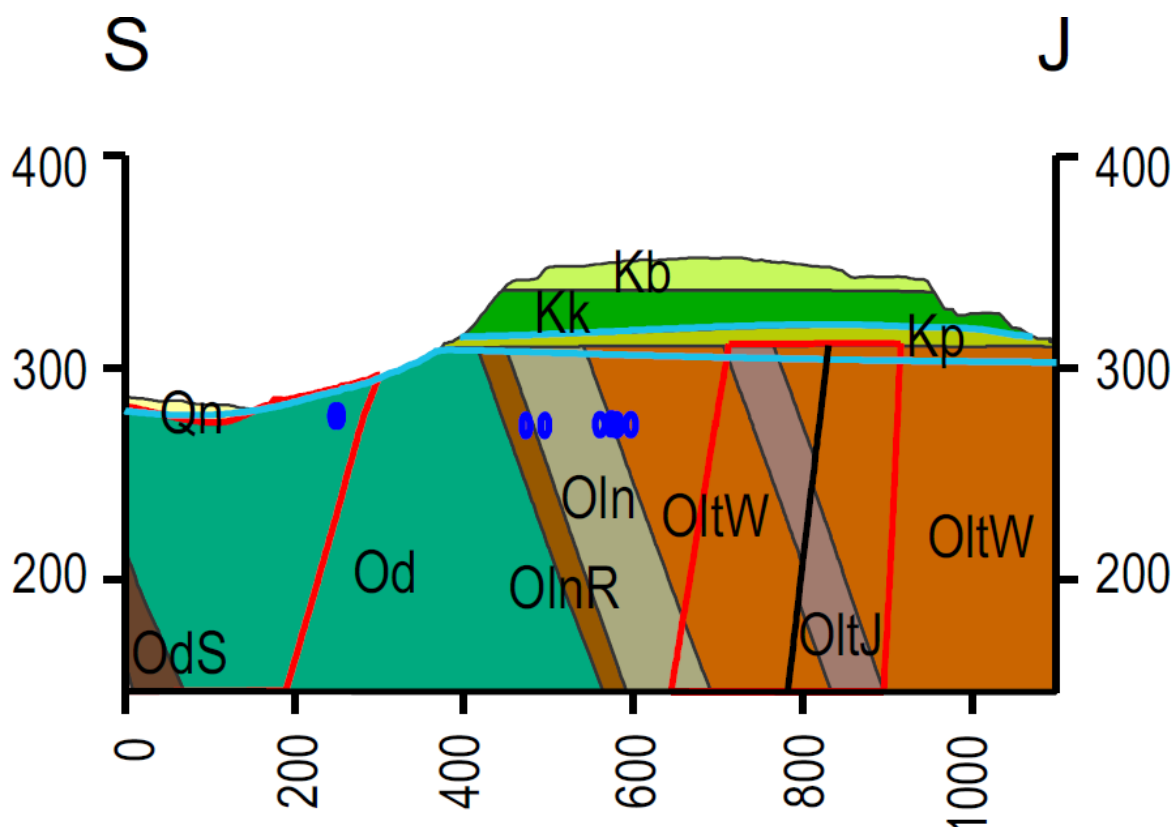




Obr. 15: Příčný řez 7-7' - pohled od Dejvic (ČGS, 2020).



Obr. 16: Příčný řez 6-6' v místě větrací šachty – pohled od Veleslavína (ČGS, 2020).



Obr. 17: Příčný řez 5-5' v oblasti Ústřední vojenské nemocnice (ČGS, 2020).

### **Tektonika oblasti**

Masív v zájmovém místě je součástí rozsáhlé brachysynklinály vzniklé v průběhu variského vrásnění. Tektonicky se jedná o méně poruchové místo v rámci celé pražské synformy.

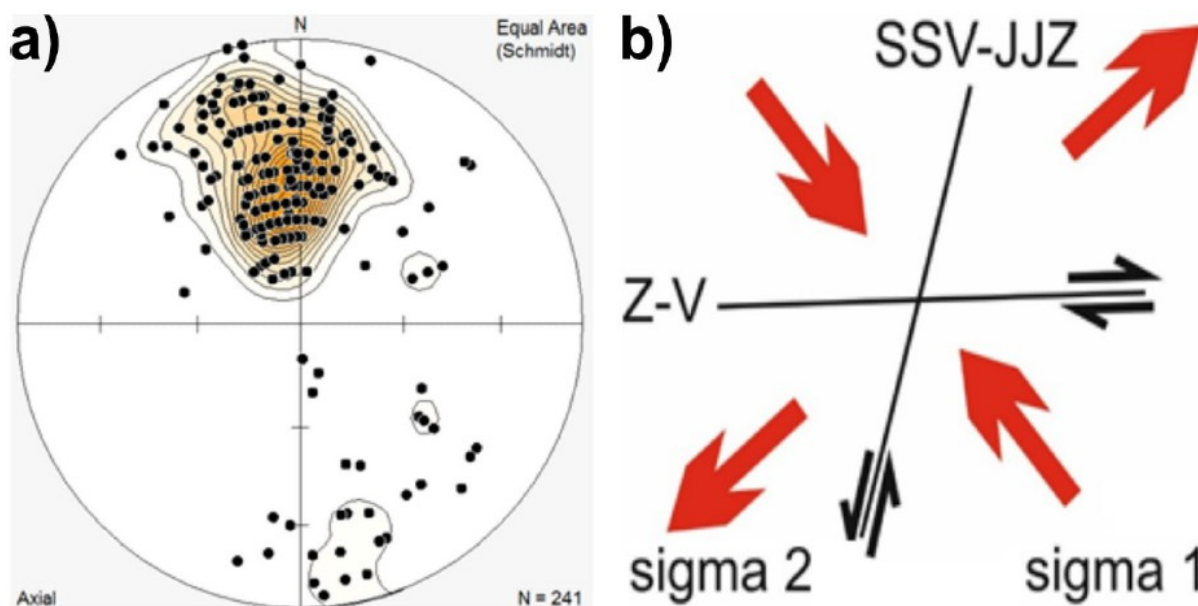
Tektonické struktury respektující stavbu masivu mají v paleozoických horninách v zájmové oblasti generelní (prokázaný) průběh VSV-ZJZ se sklonem vrstevnatosti nejčastěji 30 – 50°. To je patrné z Obrázku 18. Tektonika je mechanismem spíše křehká, příklady duktilní tektoniky jsou v přízlomových oblastech formou flexur a vrás. V materiálových přechodech se mohou vyskytnout dílčí kompenzační prokluzy, které mohou být rovněž provázeny fragmentací nebo obecně porušováním hornin. Nepředpokládá se rovněž, že by nadložní křídlové horniny byly dotčeny duktilní deformací a dokonce, ani interpolací reinterpretovaných vrtných dat, se nepodařilo prokázat zlom jako projev deformace křehké.

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

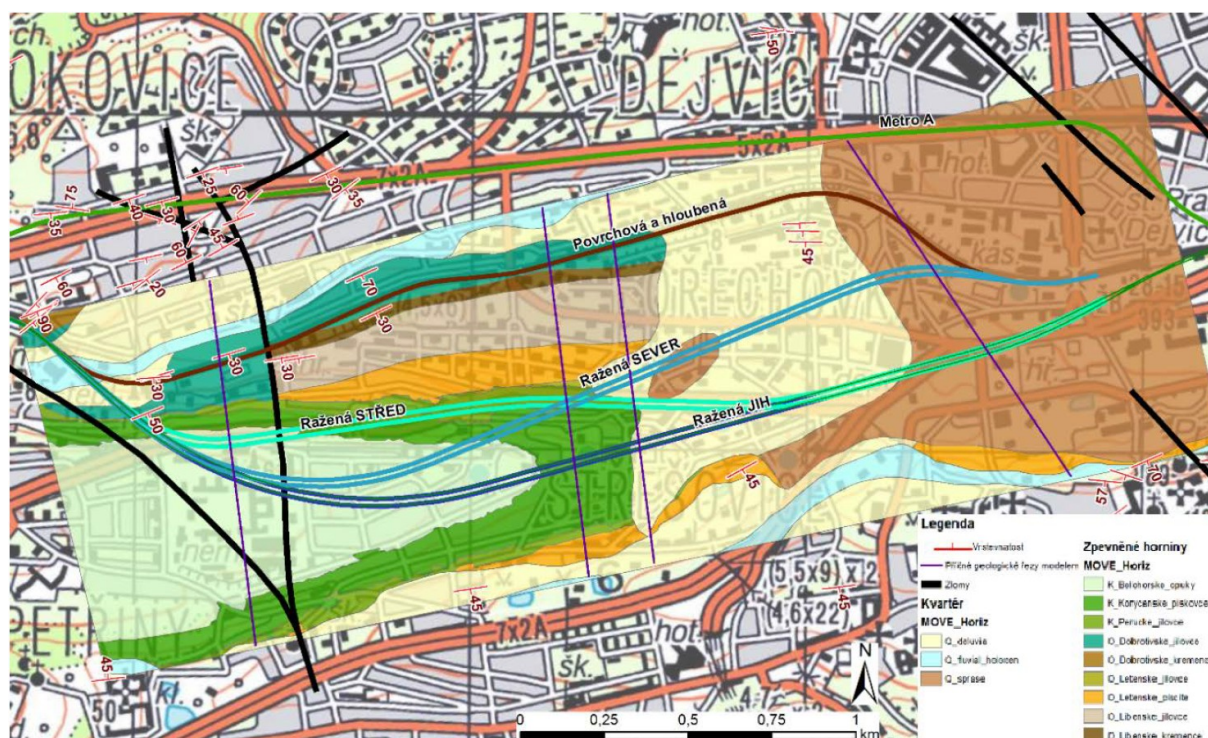
očekávanou duktilní deformací v jejím okolí, případně s přízlovou kliváží a mezivrstevními prokluzy. Tato zlomová zóna v trase metra V. A dosahovala mocnosti až 150 m a byla charakteru četných dílčích zlomových ploch, oddělených bloky jen mírně deformovaných skaleckých křemenců a obklopených silně duktilně 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.

Na západním okraji daného území mezi Veleslavínem a Petřinami probíhá zlom SZ-JV 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. S ohledem na charakter hornin, kterými probíhá, lze opět předpokládat širší zlomovou zónu s přízlovou deformací a kliváží. Komplikovanější stavbu pak může vytvořit křížení těchto obou struktur v jižní části zájmového prostoru, které však leží mimo uvažované variantní trasování. Znázornění kinematiky je na Obrázku 20.

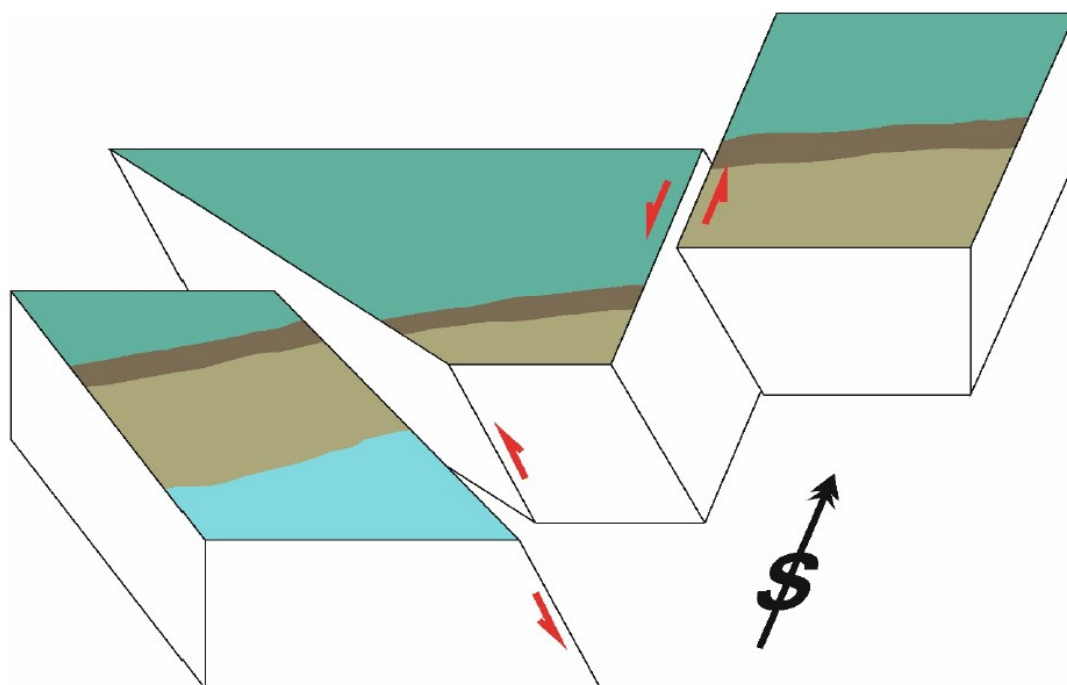
Ve východní části zájmového území jsou zaznamenány drobnější zlomové struktury, které odrážejí lokální kompenzaci napjatosti v době jejich vzniku. Lze předpokládat, že se jedná o přesmykové struktury obdobného charakteru, jako výše popsaná struktura u Veleslavína. Pohyb na zlomech však není tak výrazný a lze předpokládat, že i intenzita porušení bude méně výrazná oproti situaci na západní straně zájmového území. Situace hlavních zlomových struktur je na Obrázku 19.



Obr. 18: a) 241 orientací vrstevnatosti s vyznačenými póly ploch, b) idealizovaná napjatost v zájmové oblasti podle analýzy z průzkumné štoly pod Stromovkou – ČGS 2020 (upraveno podle Vošmika, 2008).

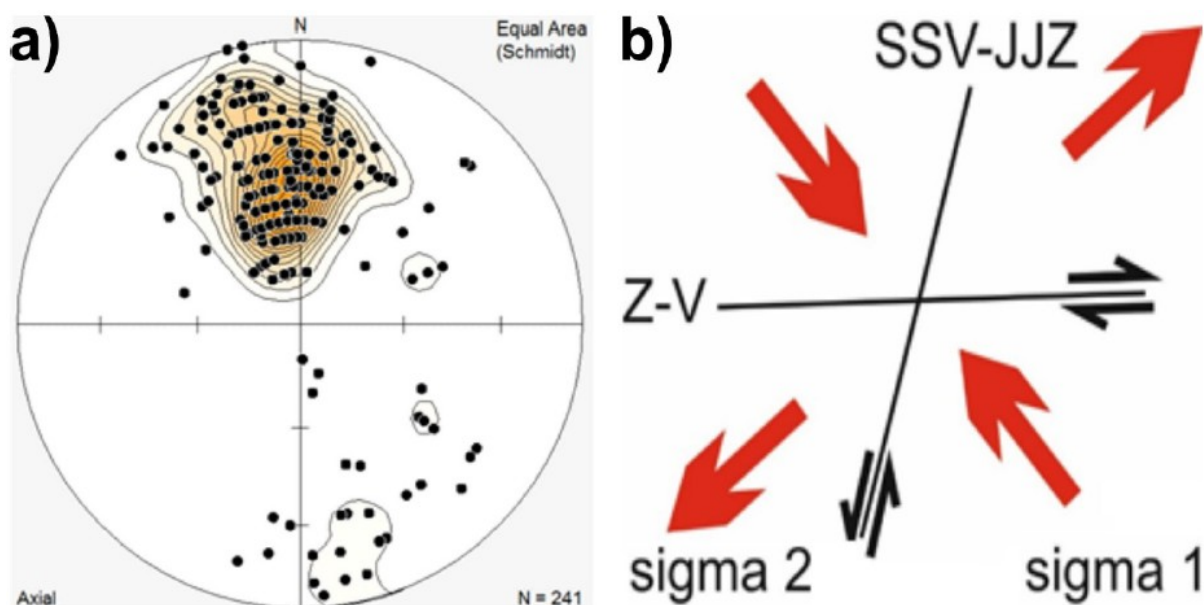


Obr. 19: Přehled hlavních tektonických zlomů v oblasti – směr Jih a Severovýchod. Úklon vrstev JJV směrem, střední hodnota náklonu 40 – 45° (ČGS, 2020).



Obr. 20: Předpokládaný mechanismus poruch na hlavním zlomovém systému (ČGS, 2020).





Obr. 18: a) 241 orientací vrstevnatosti s vyznačenými póly ploch, b) idealizovaná napjatost v zájmové oblasti podle analýzy z průzkumné štoly pod Stromovkou – ČGS 2020 (upraveno podle Vošmika, 2008).

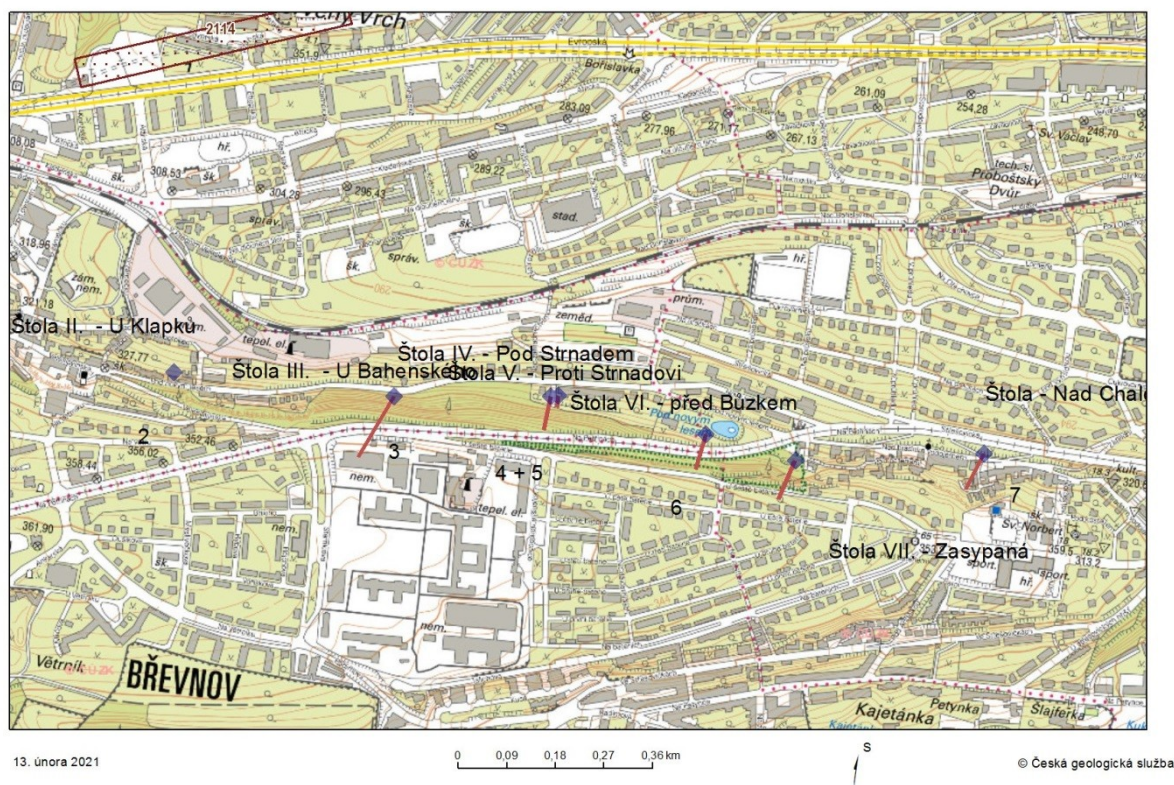
### **Hydrogeologie v zájmové oblasti a Královský vodovod**

Obecně je možné hydrogeologické poměry charakterizovat na 3 zvodních. Kvartérní zvodeň je vázána na štěrkopísky, kde mohou být čočky či lokální zavěšené polohy, ve spraších a diluviálních hlínách je nevýznamná, stejně jako v navážkách na svahu ve Střešovicích. V závislosti na intenzitě infiltrace srážkových vod se mohou tvořit dílčí zvodně.

Významná je zvodeň na bázi křídových korycanských pískovců, nad izolátorem, který představují perucké jílovce. Mocnost zvodně není sice velká – kolem 0,7 m (v infiltračním zázemí v oblasti „Na Baterích“ dosahuje až prvních metrů) – je nicméně poměrně vydatná, a již historicky byla voda jímána štolami nebo v četných prameništích.

Ordovická souvrství v neporušené podobě představují v podstatě izolátor a z vodárenského hlediska nemají větší význam. Mohou se pravděpodobně vyskytovat lokální místa nebo puklinové cesty, kudy může voda z nadložních křídových hornin nebo pokryvné kvartérní sedimenty do masivu pronikat. Ve zvýšené míře se toto týká tektonicky porušených oblastí. Jestliže je hornina v příporchových partiích či na bázi nadložních hornin rozvolněna a rozpukána drobnými puklinami, pak se v závislosti na vodním režimu může vytvořit až souvislá hladina podzemní vody.

Na následujícím Obrázku 21 je znalcem provedený zákres štol Královského vodovodu, a to na základě informací ze závěrečné zprávy ČGS. Patrné jsou portály a odhadovaný směr štol, s délkou dle citovaného podkladu.

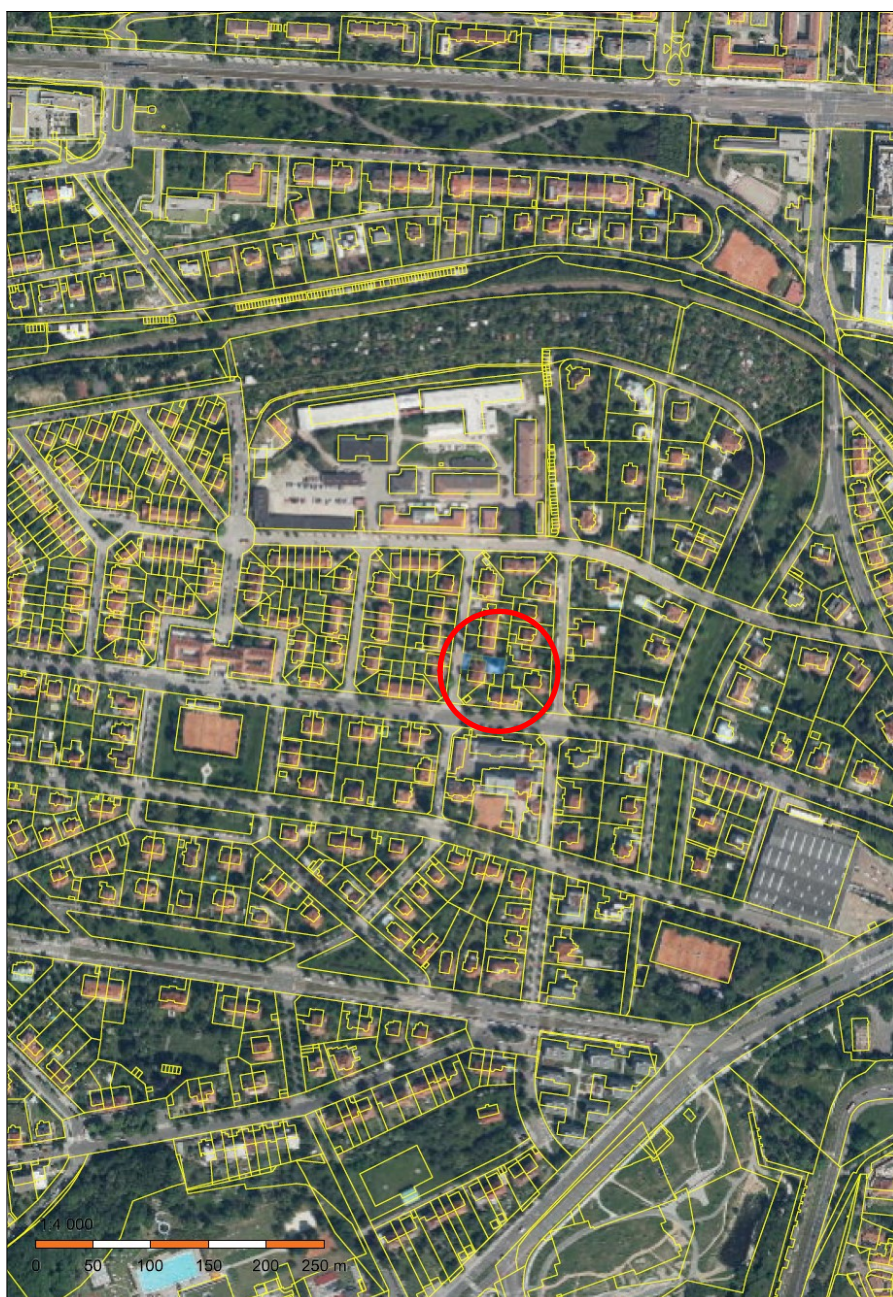


Obr. 21: Situace štol Královského vodovodu. Chybí Štola I. – Královka, ta je dále od tunelu v Liboci.

### **Tepelné čerpadlo**

Vrty pro tepelné čerpadlo jsou provedeny ve Střešovicích na p.p.č. 1138/1, jedná se o 4 vrty do hloubky 127 m. Umístění je patrné z následující situace:



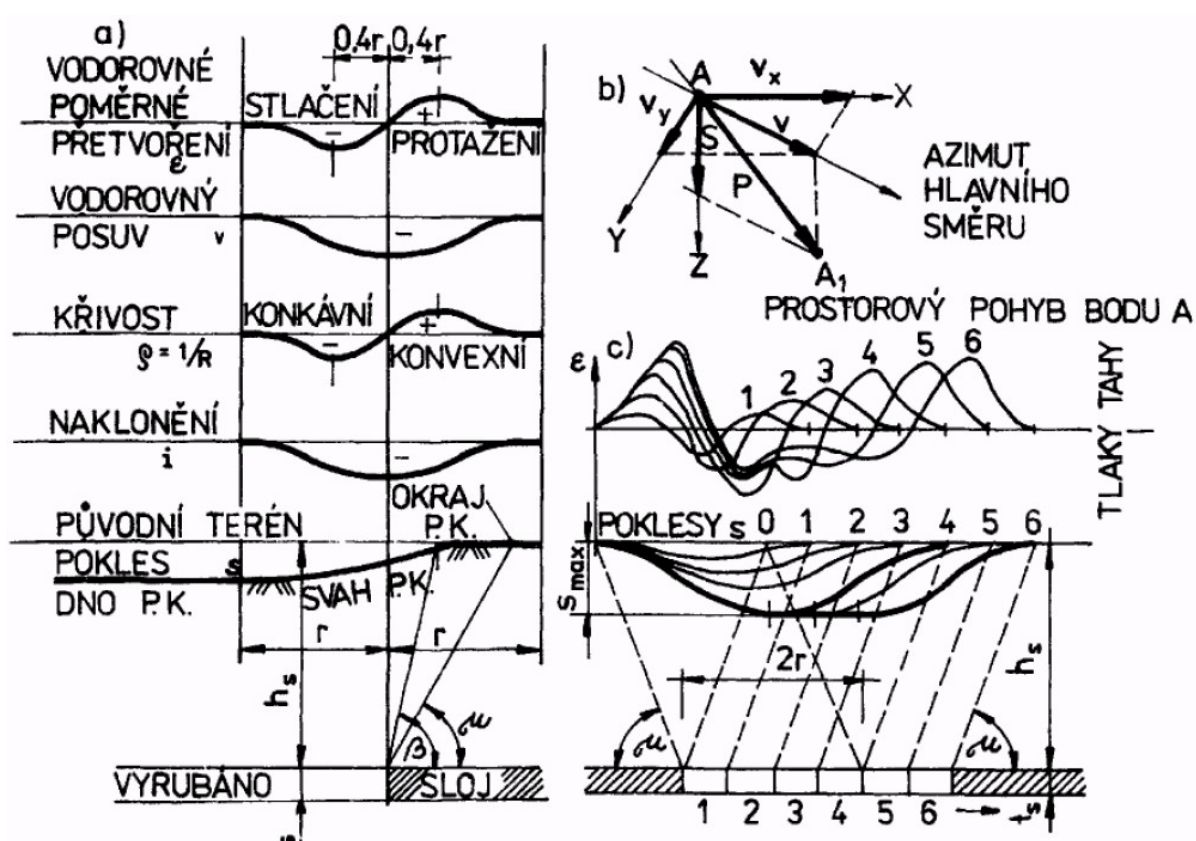


Obr. 22: Situace parcely p. č. 1138/1, kde se nalézají vrty pro tepelné čerpadlo (CUZK – Český úřad zeměměřičský a katastrální).

## Poklesy terénu při ražbě metodou TBM

Metoda ražby za pomoci tunelovacích strojů je velmi šetrná k okolí a projevuje se to rovněž na poklesech terénu. Bezprecedentní zkušenost v dané lokalitě pochází z ražby pražského metra – prodloužení trasy A Dejvice – Nemocnice Motol.

Teoretická poklesová kotlina má v příčném směru teoreticky tvar Gaussovy křivky normálního rozdělení pravděpodobnosti pro náhodné jevy. Pro liniovou stavbu v jiném směru než příčném není symetrická. Základní atributy poklesové kotliny jsou na následujícím Obrázku 23.



Obr. 23: Základní atributy poklesové kotliny (ČSN 73 0039).

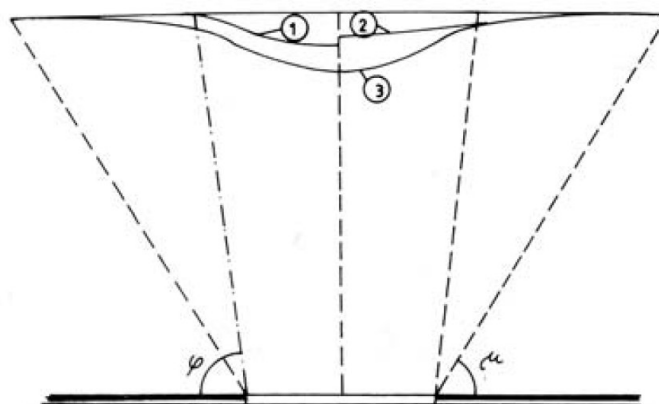
Obrázek dokumentuje klíčovou skutečnost: z hlediska dotčení objektu je relativně nejméně nebezpečná oblast středu poklesové kotliny, kde je sedání maximální, avšak zhruba rovnoměrné. V oblasti nerovnoměrných deformací je základní informací generelní sklon, tj. poměr  $s/v$ , kde  $v$  je vzdálenost okraje poklesové kotliny (určeného tzv. mezním úhlem) k ose tunelu,  $s$  je maximální hodnota sednutí ve středu poklesové kotliny. Důležitější indicií je však křivost poklesové kotliny, která mění znaménko v inflexním bodu. Pod



inflexním bodem, tj. blíže středu poklesové kotliny, jsou konstrukční prvky jdoucí pod nenulovým úhlem vůči poklesové kotlině (chápané v příčném směru vůči ose tunelu) namáhány v podstatě tlakem za ohybu. Nad inflexním bodem tahem za ohybu. Oblast blízko inflexního bodu je oblast maximálních nerovnoměrných deformací, avšak s menšími přídatnými namáháními vlivem křivosti poklesové kotliny. Pro odhad (výpočet) šíře a tvaru poklesové kotliny a velikosti napětíodeformačního impaktu tvaru poklesové kotliny na objekt je zapotřebí znalost následujících indicií:

- a) hodnota nakypření horniny,
- b) při pojetí poklesové kotliny coby věrné reprodukce Gaussovy křivky normálního rozdělení pravděpodobnosti,
- c) rozměry dotčených objektů,
- d) orientace objektu vůči ose poklesové kotliny,
- e) statická funkce klíčových nosných prvků objektu, materiálové složení konstrukčních prvků objektu,
- f) vzájemné uspořádání tunelových trub a jejich rozměry.

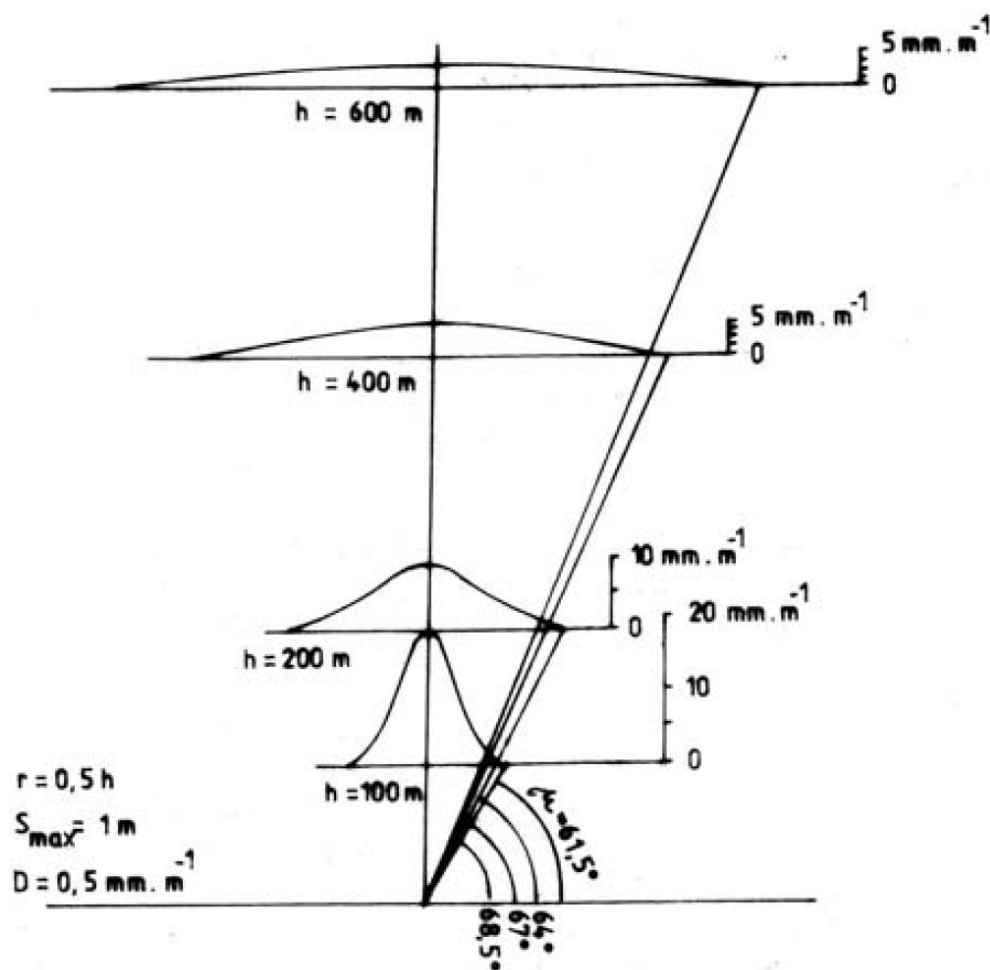
Výsledkem analýzy, která charakterizuje tvar poklesové kotliny, je tzv. mezní úhel a zálomový úhel. Význam těchto úhlů je popsán na následujících dvou Obrázcích – mezní úhel (někdy mezní úhel vlivu) je definován úhel mezi opěřím tunelu a místem maximálního dosahu poklesové kotliny. Stanovuje se velice obtížně (je zapotřebí nalézt místo, kde vliv na poklesy terénu je blízký nule, což s přihlédnutím k průběhu poklesové kotliny není jednoduché). Zálomový úhel je definován jako úhel mezi opěřím tunelu a místem na povrchu terénu s maximálních tahových přetvoření.



Obr. 24: Definice mezního úhlu  $\mu$  a zálomového úhlu  $\phi$  (Novák a Sedlák, 2004).

Hodnoty mezních a zálomových úhlů nezávisí pouze na typu horniny – pevnosti, stupni nakypření, tuhosti, režimu přetváření – ale rovněž na hloubce pod povrchem terénu a rozměrech vyrubaného prostoru.

Novák a Sedlák (2004) publikují odhady mezního úhlu podle geologických poměrů v Karvinském uhelném revíru (Obr. 25). Zde lze z hlediska hloubky ražby tunelů přihlídnout k hodnotě  $61,5^\circ$  pro hloubku 100 m, popřípadě je možné hrubě extrapolovat na hodnoty mělkého nadloží – viz dále posudek.



Obr. 25: Mezní úhel pro poklesovou kotlinu v Karvinském uhelném revíru, včetně nerovnoměrnosti posunů – špičatosti poklesové kotliny. Udávaná odhadovaná hodnota pro hloubku nadloží 100 m činí  $61,5^\circ$ , při mocnosti sloje 1 m (Novák a Sedlák, 2004).

## Metodika hodnocení geotechnických rizik a pravděpodobnosti výskytu negativních jevů

Existuje mnoho způsobů hodnocení rizik. Pokud se zůstane v kategorii číselných, potom zřejmě nejkomplexnější jsou hodnocení, kde se vyhodnocuje pravděpodobnost výskytu nežádoucího jevu a závažnost výskytu nežádoucího jevu, popřípadě škoda, která je výskytem jevu způsobena. Podle tohoto 2 rozměrného pojetí je výsledkem tabulka s bodováním míry rizika. Pro opodstatněné případy je možné zahrnout rovněž náročnost opatření pro eliminaci nežádoucího jevu. Tímto hodnocení získá 3. rozměr, který má spíše funkci redukce závažnosti – v každém případě je výsledkem bodování ve struktuře 3D útvaru.

Hodnocení pravděpodobnosti výskytu negativních jevů je možné provést přiřazením určité číselné třídy, která vyjadřuje procentuální šanci na výskyt daného jevu. Lze postupovat jako v případě hodnocení Univerzity Bochum (v souladu s metodikou dle ITA-AITES), jak je popsáno dále, kde je hodnocenému geotechnickému aspektu přiřazena -1, 0, +1 podle míry rizika. Hodnocení rizik dle metody ČGS je na 5-ti bodové stupnici 1 až 5 – popis opět dále v textu.

V Tabulce 9 je uvedeno hodnocení (odhad znalce při znalosti okrajových podmínek ve fázi DÚR) pravděpodobnosti výskytu negativního geotechnického aspektu, který způsobí závažnou komplikaci ražby (mající za následek přeneseně nadměrné náklady, velké časové prodlevy, nadměrné opotřebení řezných kotoučů, změnu technologie, dlouhodobý vliv na životní prostředí, apod.). Je zvolena škála 1 až 10, přičemž 1 je prakticky nulová pravděpodobnost výskytu negativního jevu, 10 značí téměř jistý negativní jev. V tomto smyslu je nutné dále zdůraznit subjektivitu hodnocení.

Znalec z důvodu neznalosti okrajových podmínek (cena variant, náročnost opatření, apod.) neprováděl přímo analýzu rizik. Samotná rizikovost nezáleží pouze na vlastnostech lokality, způsobu ražby a interakci stavba/okolní prostředí/zástavba, ale také na cenové proporcionalitě tunelových variant a na tom, jak se dané riziko projeví na škodách a navýšení ceny stavby. Celý mechanismus vede na 3D pojetí hodnocení míry rizika tak, jak je o tom pojednáno v prvním odstavci této podkapitoly.

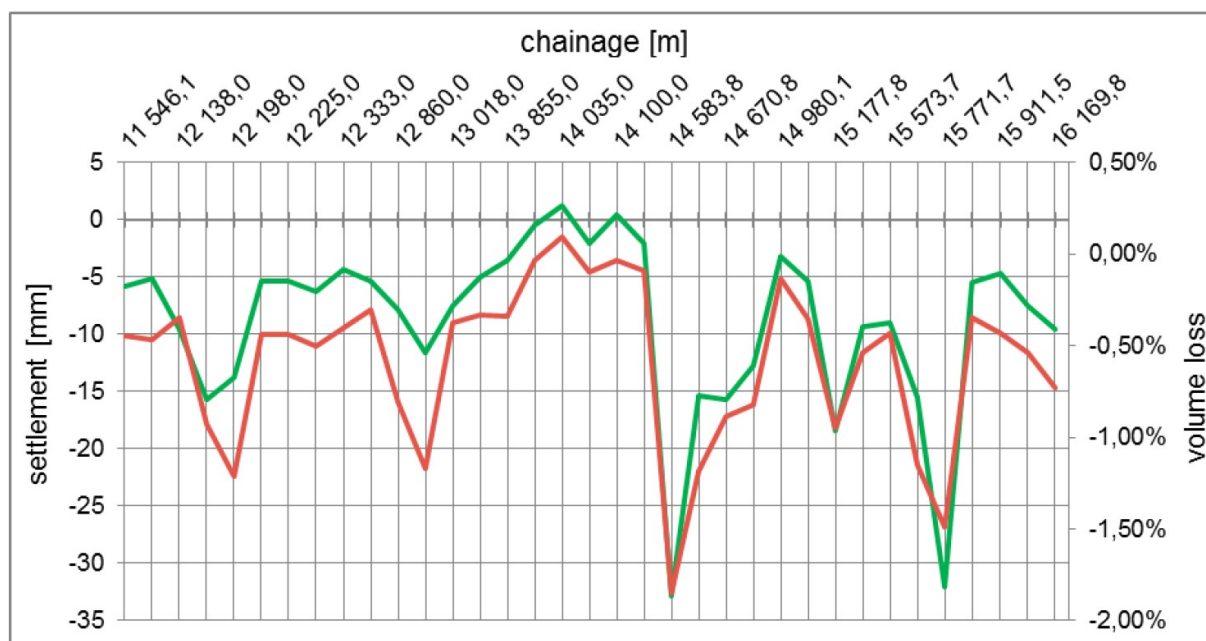
# Posudek

## Očekávaná poklesová kotlina pro porovnávané varianty JIH a STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín

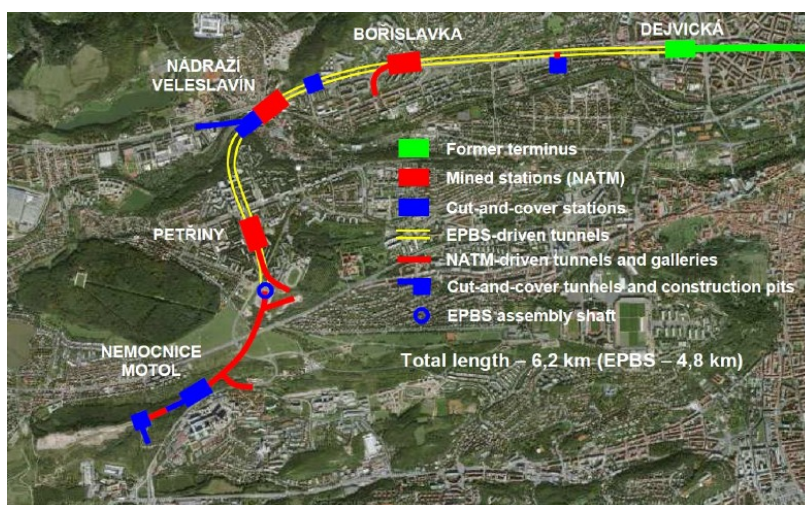
Obecně platí, že objekty jsou citlivější na nerovnoměrná sedání, zatímco sedání rovnoměrná jsou spíše limitována hodnotami indikujícími možnou nedostatečnou únosnost, zhutnění nebo ulehlost podloží, popřípadě jsou limitující ve smyslu návaznosti objektu na inženýrské sítě.

Rámcovou představu o řádových hodnotách maximálních sednutí, která lze očekávat na stavbě tunelu Praha-Dejvice – Praha Veleslavín, podávají výsledky geotechnického monitoringu ze staveb pražského metra. Metro linky A, označení úseku V. A, mezi stanicemi Dejvická a Petřiny (konečná stanice Motol) je přibližně 6,6 km dlouhá, 2 paralelní kruhové tunely byly raženy pomocí tunelovacích strojů - modifikace EPBM při průměru stroje 6 m (světlý profil tunelové trouby 5,3 m, ostění je betonové 6-ti segmentové, tloušťky 250 mm. Horninový pilíř mezi tunelovými troubami je 7 m široký. V úseku od stanice Petřiny do oblasti před stanicí Bořislavka byly tunely raženy při výšce nadloží přibližně 20 - 30 m, a to ve staropaleozoických letenských břidlicích, popřípadě křemencích. Maximální poklesy povrchu terénu zde oscilují mezi 2 a 17 mm, přičemž přijatá mezní hodnota sedání činila 10 mm.

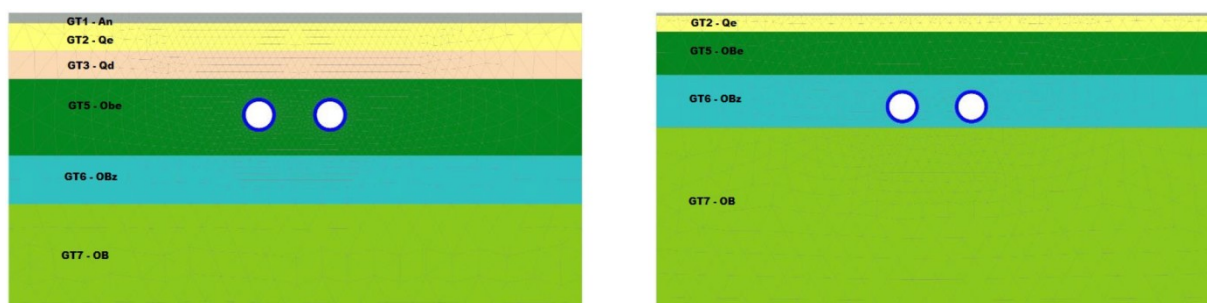
Při průchodu metra pod ulicí Evropská dosahuje výška nadloží nad korunou tunelu přibližně 12 až 16 m na úseku 1,8 km, tunely byly raženy v masivu navětralých ordovických břidlic. Maximální hloubka poklesové kotliny je zde velmi variabilní, pohybuje se mezi 3 až 33 mm. Maximální hodnoty je dosaženo v oblasti stanice Bořislavka, kde se nicméně nachází i přidružené podzemní struktury se vztahem k budovanému tunelu a navíc zde vedou tunely v rozložených břidlicích de facto charakteru zemin. Geometrie numerického modelu a porovnání naměřených a vypočítaných poklesů terénu jsou na následujících Obrázcích 26 až 28.



Obr. 26: Průběhy maximálních hodnot sedání při ražbě pražského metra V. A., úsek Dejvice – zelená; a „ztráta objemu“, nebo poměr plochy profilu poklesové kotliny a plochy výrubu – červeně (Hilar a Tuan, 2016).



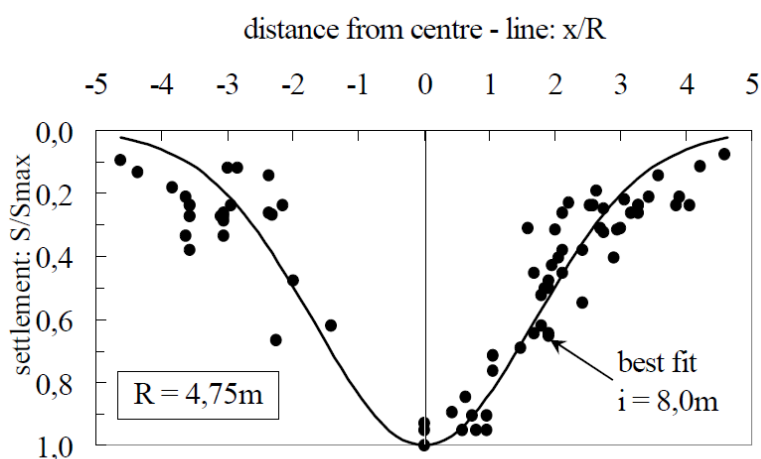
Obr. 27: Situace EPB-TBM mezi stanicemi Petřiny a Dejvícká, pražské metro úsek V. A (Hilar a Tuan, 2016).



Obr. 28: Modelový geologický profil pro staničení km 14,583 (u stanice Bořislavka) – vlevo; km 15,040 vpravo (Hilar a Tuan, 2016).

Další indicii lze v podmínkách břidlic českého masivu, byť stáří neoproterozoického, nalézt v geomonitoringu při ražbě pomocí TBM železničních tunelů Ejpovice pod masivem kopce Homolka, jakožto součást modernizace III. tranzitního koridoru, viz podklad. Dle geodetických měření povrchu terénu při ražbě ve zdravých grafitických jílovitých břidlicích s výskytem tektonických poruch se sedání pohybovalo v řádu prvních mm (Ebermann a Hořejší, 2016).

Zhruba podobné podmínky ražby lze najít v různých projektech ve světě. Na projektu metra v Athénách (Mihalis a Kavvadas, 1999) byla technologie TBM použita pro dvojici tunelů průměru 9,5 m. Ve svrchnokřídové směsi slabě metamorfovaných a nemetamorfovaných sedimentárních hornin – fylitů, pískovců, prachovců, břidlic při nadloží 15 – 20 m (z toho 2 – 6 m tvoří fluvialní sedimenty a navážky), činily poklesy do 20 mm. Tvar poklesové kotliny se zpětnou regresí pro obdržení vzdálenosti inflexního bodu poklesové křivky od osy tunelu „ $i$ “ je na následujícím Obrázku.



Obr. 29: Poklesová kotlina při ražbě TBM metra v Athénách (Mihalis a Kavvadas, 1999).

Z výstupu vyplývá hodnota  $i = 8$  m, přičemž šíře poklesové kotliny činí zhruba 25 – 30 m od osy tunelu. TBM nepůsobilo na čelbu přetlakem, tloušťka betonových segmentů činila 350 mm.

Na rozdíl od tunelů metra V. A, kde byla hloubka tunelu cca do 10 – 15 m, bude ražba u trasy varianty STŘED v maximální hloubce cca 40 m a u trasy varianty JIH v hloubce kolem 80 m. Poklesy budou proto i s přihlédnutím k technologii TBM budou většinou – na základě extrapolace z výše uvedených dat – v řádu prvních mm, v extrémních, neočekávaných případech pro variantu JIH do 10 mm. Pro variantu STŘED, především v oblasti v blízkosti svahu terénní elevace, se nicméně očekávají poklesy větší. V místech, kde

navíc trasa vede prakticky paralelně s tunelem a pravá tunelová trouba povede zřejmě v nezanedbatelném úseku několika prvních set metrů tektonickou poruchou považuje znalec za poměrně reálný extrém 15 - 20 mm.

Rozhodující z hlediska rizika je však sklon poklesové kotliny. Sklon 1 : 700 až 1 : 800 je pro budovy na trase Střed zcela bezpečný bez nebezpečí jakéhokoliv poškození od diferenciálních sedání. Je třeba si uvědomit, jaký reálný příčný sklon může poklesová kotlina trasy „A“ mít na povrchu v místě na ní se nalézajících stavebních objektů.

Bude-li hypoteticky, s ohledem na hloubku ražby, polovina efektivní šířky poklesové kotliny na jednu stranu od osy tunelu měřit cca 30 – 40 m, poté například při maximálním možném sednutí povrchu terénu stanovené Univerzitou Bochum 10 mm, činí průměrný sklon povrchu terénu v této části bude přibližně 1 : 3000 až 1 : 4000. Ve smyslu maximálních hodnot absolutních sednutí je příznivější varianta STŘED, protože ve skutečnosti budou objekty v oblasti vilové zástavby v ulici Štřešovická od osy poklesové kotliny vzdálené minimálně 20-30 m (sem spadá polovina šíře tramvajového kolejiště šíře silnice, chodníků a vilových zahrádek či předzahrádek). Tato skutečnost je však podružná, rozhodující je většinou deformace nerovnoměrná.

Míra rizika dotčení zástavby ražbou souvisí rovněž s počtem objektů spadajících do ochranných pásem tunelů (přestože platí, že pokud je poklesová kotlina zanedbatelná, je to rozhodující a na počtu objektů v ochranném pásmu již nemusí tolik záležet). Na následujícím Obrázku 30 jsou uvedeny počty domů spadající do ochranných pásem jednotlivých variant JIH a STŘED ražených tunelů Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín. Je zřejmé, že varianta STŘED je vedena v relativně řidší zástavbě.

Popis	nad tunelem 30 m (3x10m) (2x tubus+1x mezera)	ochranné pásmo 120m (2x pás 60m)	Omezení domů I		
<b>Metroprojekt</b> rozdělení nad a v pásmu neuvažuje (pás omezení zúžený na 90 m)					
varianta JIH	117		117		
varianta STŘED	94		94		
<b>Za občany</b> rozdělení uvažováno (pás omezení dle zákona celkem 150 m)					
	korekce neuvažována, půdory tunelu převzat od SŽSDC	počty domů bez korekce	korekce nepřesnosti 5 %	Omezení domů II	nárůst vůči JIH
varianta JIH	40	151	143	183	66
varianta STŘED	6	96	91	97	3
					69
			Rozdíl		
Varianta JIH podle projektanta		117	0		
Varianta JIH podle občanů po 5 % korekci		183	66		
Varianta STŘED podle projektanta		94	0		
Varianta STŘED podle občanů po 5 % korekci		97	3		
V důsledku zúžení pásma projektant nezapočítal domů			69		

$$183-117=66$$

$$97-94=3$$

korekce je už  
započítána

Obr. 30: Počty domů v ochranných pásmech tunelů JIH a STŘED.

Pokus znalce o porovnání hustoty zástavby v tunelových variantách JIH a STŘED je uveden v přílohové části tohoto posudku. Zhodnocení hustoty zástavby je subjektivní, avšak stupeň subjektivity je stejný pro obě varianty vedení tunelu (pro porovnání je zpracována i alternativní varianta).

## In-situ napětí v masivu v oblasti tektonických poruch variant tunelu JIH a STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín

Zásadní indicií, na které rovněž závisí bezproblémovost ražby, je napjatost v masivu za přítomnosti poruchových zón, v kombinaci s poměrnou tuhostí hornin v poruchové zóně a mimo ni. Napjatosti v masivu letenských břidlic se detailně věnoval Hudek (2016), za použití numerické zpětné analýzy měřených konvergencí z odlehčovací štoly. Výzkum byl proveden v roce 1971. Základem byly 4 maloprofilové vrtty vystrojené ohebnou pažnicí, provedené se stávajícího stavu štoly tak, že jejich úklon od osy štoly průměru 2 m činil 6 m a zároveň byly symetrické podle 2 stěn souřadnicových oktantů v poloprostoru před čelbou. Dno vrtu bylo osazeno světelným zdrojem s matnicí a zároveň byl do každého instalován nitkový kříž - ten byl velmi přesně zaměřen pro nulté měření, měřické zařízení bylo spolehlivě stabilizováno.

Následoval výrub štoly, přičemž pro adekvátní bezpečnost byla štola vybavena důlní výztuží, která však nebyla vůči obvodu štoly aktivována. Při průchodu čelbou byly naměřeny posuny v řádu desetin mm (max. 0,9 mm), z dnešního pohledu základní numerický model byl vybudován pro zpětnou analýzu, ze které vyšel součinitel bočního tlaku v klidu kolem

$$K_0=0,3$$

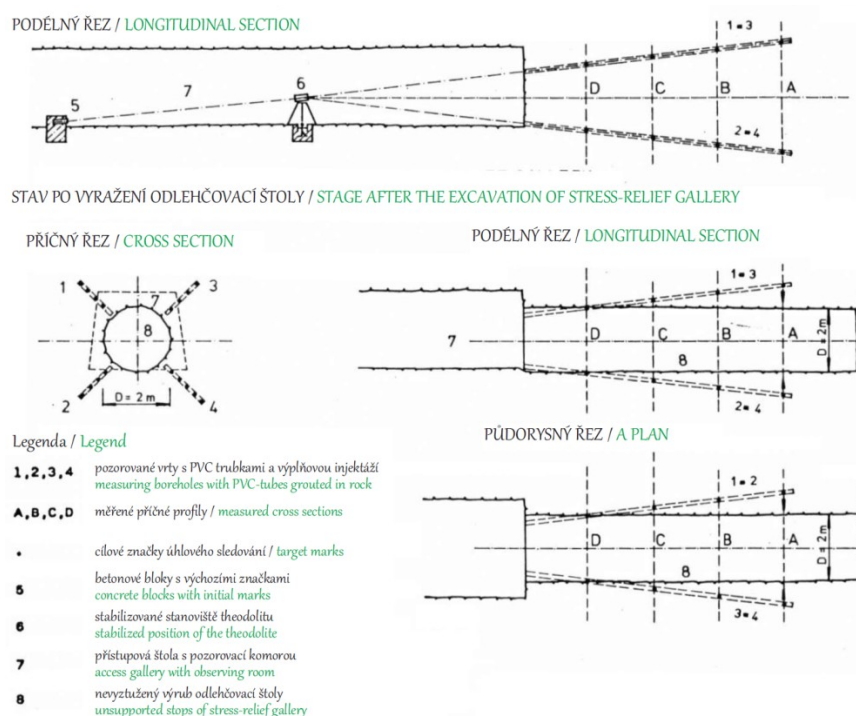
Toto číslo je jistě zatíženo chybami, avšak vypovídající informace je taková, že v masivu letenských břidlic dotčených tektonikou je reálná šance na interval součinitele bočního tlaku v klidu v odhadovaném rozmezí

$$K_0=0,2 \text{ až } 0,4$$

Znalec na základě tohoto rozmezí s přihlédnutím k povaze horniny hodnotí horninový masiv v dané hloubce jako s mírně zvýšeným bočním napětím coby pozůstatek geodynamických a geologických pochodů. Uvedený postup je relativně spolehlivý, byl uplatněn při ražbě průzkumných rozrážek tunelu Královo Pole na městském okruhu Brno (Pavlík, 2012), přičemž hodnoty konvergencí se využily ve zpětné analýze součinitele bočního tlaku v klidu překonsolidovaného brněnského jílu – Téglu (Rott et al., 2015). Zde vyšly hodnoty



součinitele bočního tlaku v klidu  $K_0 = 0,75$ . Princip terénní zkoušky (Hudek, 2016) je uveden na následujícím schématu:



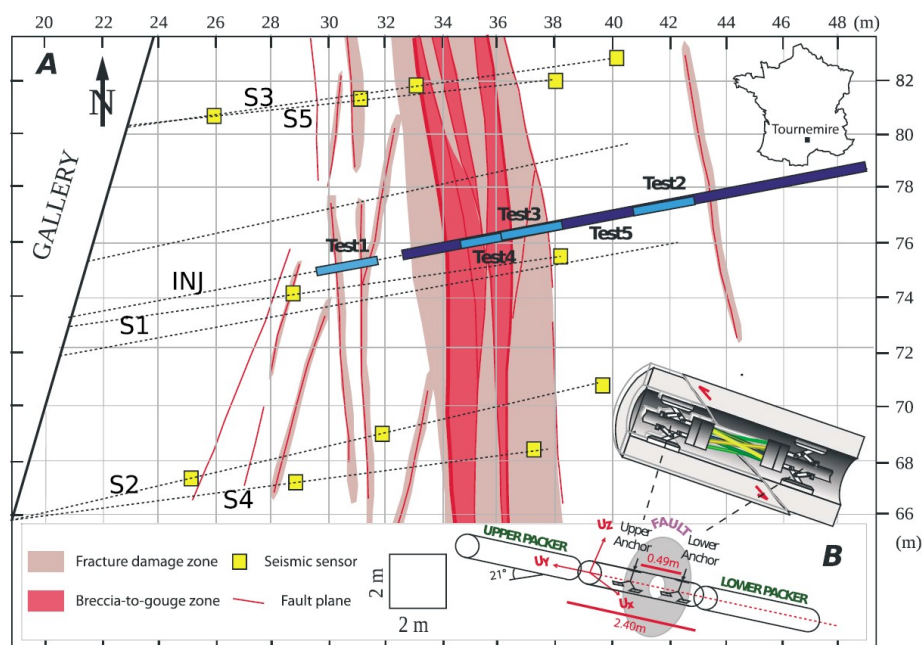
Obr. 31: Princip zkoušky s měřením konvergencí v nevystrojené odlehčovací štolě (Hudek, 2016).

Míra napjatosti v diskontinuitě ovlivňuje její tuhost, jestliže není chování masivu dle zásad lineární pružnosti. Pokud není fragmentovaná hornina břidlic v diskontinuitě rozložena na jíl, popřípadě pokud jemnozrnná frakce netvoří matrix výplně tektonické poruchy, je při působení tlaku v jednotkách MPa posun v řádu setin až desetin mm.

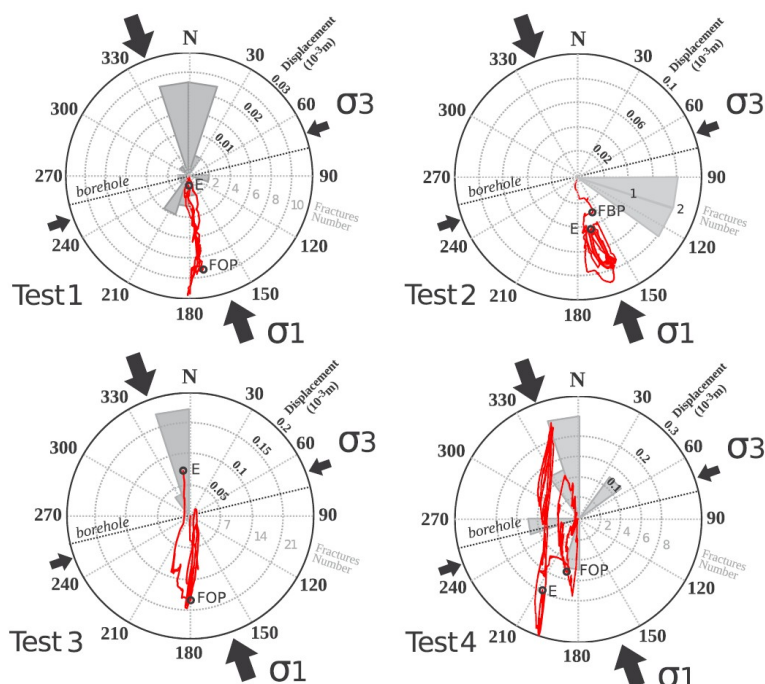
Příkladem je následující studie (DeBarros et al. 2016). V břidlicovém masivu v hloubce 250 m byla vyražena průzkumná štola budoucího tunelu, která byla vzdálena přibližně 8 m od tektonické zóny s různou povahou poruchy horniny. Pomocí indikace hydromechanického chování při injektáži v masivu ve 4 místech s měřením rozevřením vrtu pomocí zařízení SIMFIP (viz následující Obrázek 32) byl zjištěn posun 0,03 až 0,55 mm při tlaku zhruba 3,5 až 4,4 MPa.

Na Obrázku 33 jsou směry hlavních napětí, trajektorie posunů na diskontinuitě (červená), počet a rozložení prasklin pro 4 měřická místa (šedá), přičemž místo 2 je mimo tektonickou poruchu. Z porovnání místa 2 a 4 (v kritickém místě) vyplývá, že tuhost ve fragmentované hornině je nižší. Toto koresponduje s poklesem napjatosti na poruchové zóně: aby jinak celistvý masiv mohl fragmentovat, nemůže být ve stavu plastického tečení a při smyku hornina musí zvětšit svůj objem, čili musí překonat dilatanci. Do dosažení

vrcholové pevnosti tuhost roste, poté klesá po snížení smykových napětí, tj. snížení hlavních normálových napětí. Zde měření oproti zdravé hornině prokázalo nižší tuhost v místě 4 oproti místu 2, tj. pokles napjatosti (je zde předpoklad dosahu vlivu smyku až do místa 2).



Obr. 32: Situace testované oblasti v porušených břidlicích. Jedná se o test injektáže a hydrofrakturace v tektonické zóně břidlic – hloubka přibližně 250 m. Střížná sonda pro zjišťování posunu je zobrazena v detailu (DeBarros et al. 2016).



Obr. 33: výsledky testu – hodnoty a směry posunů – červená čára, počet a rozložení trhlin v masivu – šedá čára (DeBarros et al. 2016).

## **Presiometrické zkoušky**

O napjatosti v masivu břidlic lze s uvážením značné a nekonstantní nejistoty uvažovat z průběhu presiometrických zkoušek – ty byly stanoveny již v rámci předběžných geotechnických průzkumů pro zájmovou stavbu. Tato zkouška je jednou z terénních metod geotechnického průzkumu pro stanovení přetvárných a pevnostních charakteristik hornin. Provádějí se zatěžováním stěn maloprofilových vrtů, a to až do hloubky cca 100 m. Použitelné jsou prakticky ve všech druzích zemin a ve skalních horninách tříd R 6 až R 3, tj. s extrémně nízkou až střední pevností, u hornin s vysokou a velmi vysokou pevností R 2 a R 1 už zpravidla musí být nahrazeny dilatometrickými zkouškami (s výjimkou zón tektonicky porušených). Presiometrickou zkouškou se zjišťuje závislost deformace stěn vrtu na působícím radiálním tlaku. Tento se stupňovitě zvyšuje až po kapacitu přístroje nebo k dosažení mezního tlaku, při kterém nastane porušení horninového prostředí (vyvíjí se smyková plocha nad a pod presiometrickou sondou). Jádrem přístroje je pryžová buňka, která přiléhá na stěny vrtu a prostřednictvím které je vyvozován tlak kapalinou, přičemž se zjišťuje objem kapaliny coby projev radiální deformace vrtu.

Teoreticky dochází v počátečních fázích tlakování buňky k opětovnému uzavírání pórů, případně trhlin, při zpětné radiální deformaci vrtu, která nastala po odlehčení masivu. Tento proces je charakterizován nelineárním nárůstem tuhosti až do meze, od které je tuhost (tj. poměr tlak/objem kapaliny) konstantní. Daná tlaková mez indikuje oblast napětí, která souvisí s původní napjatostí, je označována jako „ $p_0$ “.

Tuto úvahu však nelze použít pro veškerá prostředí. Příkladem, kde uvedený přístup nemusí fungovat, jsou např. fragmentované horniny s jílovou výplní, tj. horniny v poruchových zónách. Navíc nutno uvážit, že vliv tlakové buňky působící do boků maloprofilového vrtu má poměrně krátký dosah. Přesto rozdíly napětí na mezi nelinearity pro jinak srovnatelné okrajové podmínky (zvodnění, výška nadloží, povaha litologického celku apod.) mohou indikovat skok v napjatosti poblíž tektonických zón.

Tabulka 1: Tlak na mezi linearity pro ordovický masiv z geotechnického průzkumu.

Označení vrtu	Položka	Hloubka [m]	Stav horniny	Hrubě odhadovaný tlak na mezi linearity $p_0$ [MPa]
HPJ-04	1	10,7	B-PP / W1 / T	~1,5
	2	20,7	B / W1 / sT / R5	~2,0
	3	26,7	B / W1 / R3-R2	~1,8
	4	33,3	B / W1 / R3-R2	~1,8
	5	41,7	B / W1 / R3-R2	~2,4
	6	45,7	B / W1 / R3-R2	~3,0
	7	34,2	B-JP / R5	~2,0

PJ-07	8	44,7	B-JP / W1 / R3-R2	~3,6
	9	54,7	B-JP / W1 / R3-R2	~0,6 – 1,2 (0,9)
	10	59,7	B-JP / W1 / sT / R4-R3	~1,8
	11	64,7	B-JP / W1 / sT / R4-R3	~1,8
	12	69,7	B-JP / W1 / sT / R4-R3	~1,2 – 1,8 (1,5)
	13	74,7	B-JP / W1 / sT / R4-R3	~2,4
	14	79,7	B-JP / W1 / sT / R4-R3	~0,6 – 1,2 (0,9)
	15	84,7	B-JP / W1 / sT / R4-R3	~2,4
	16	89,7	B-JP / W1 / sT / R3-R2	~3,0
PJ-09	17	6,2	B-JP / W3 / T / R5-R6	~0,8
	18	10,2	B-JP / W1 / T / R5-R6	~0,8
	19	14,2	B-JP / W3 / T / R5-R4	~1,6
	20	18,2	B-JP / W1 / T / R5-R4	~1,0
	21	22,1	B / W3 / sT / R4	~2,2
	22	22,7	B / W3 / sT / R4	~2,4
	23	27,7	B / W1 / sT / R4	~2,0 – 2,4

V uvedené tabulce je souhrn hodnot  $p_0$  pro masiv břidlic v zájmové oblasti, a to z vrtů HPJ-04, PJ-07, PJ-09. Údaje jen nutné brát s přesností alespoň +/- 0,3 MPa, protože odečet hodnot je hrubý, pouze na základě přibližného rozboru křivosti závislostí tlak/objem kapaliny.

Za zmínku stojí především porovnání položek 21 a 22, kde při přechodu z tektonicky porušených břidlic do slabě tektonicky porušených břidlic, hodnota tlaku  $p_0$  náhle vzroste, a to na přibližně 4 m hloubky. Náhlé změny mezního tlaku  $p_0$  v oblasti položek 9 a 14 jsou rovněž k zamyšlení, dle znalce korespondují s rozptylem pevnosti (a tuhosti) pro břidlice stejného stupně zvětrání tak, jak vyplývá z podkladu ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA – ČGS. Znalec je si vědom nejistot vstupujících do v podstatě subjektivního odhadu hodnoty  $p_0$ .

Další pokles napjatosti je mezi položkou 8 a 10, kde břidlice bez tektoniky na 10 m přecházejí do oblasti slabě tektonicky porušených. Lze tedy vyvodit, že na materiálových rozhraních s tektonickými prokluzy provázenými oslabením nebo fragmentací horniny dochází k významnému poklesu bočního tlaku. To je ostatně v souladu s předpokládaným mechanismem – poruchové zóny jsou místa, kde se kumulovaná energie uvolní a dojde ke změnám povahy masivu, smykovým posunům a snížení napětí.

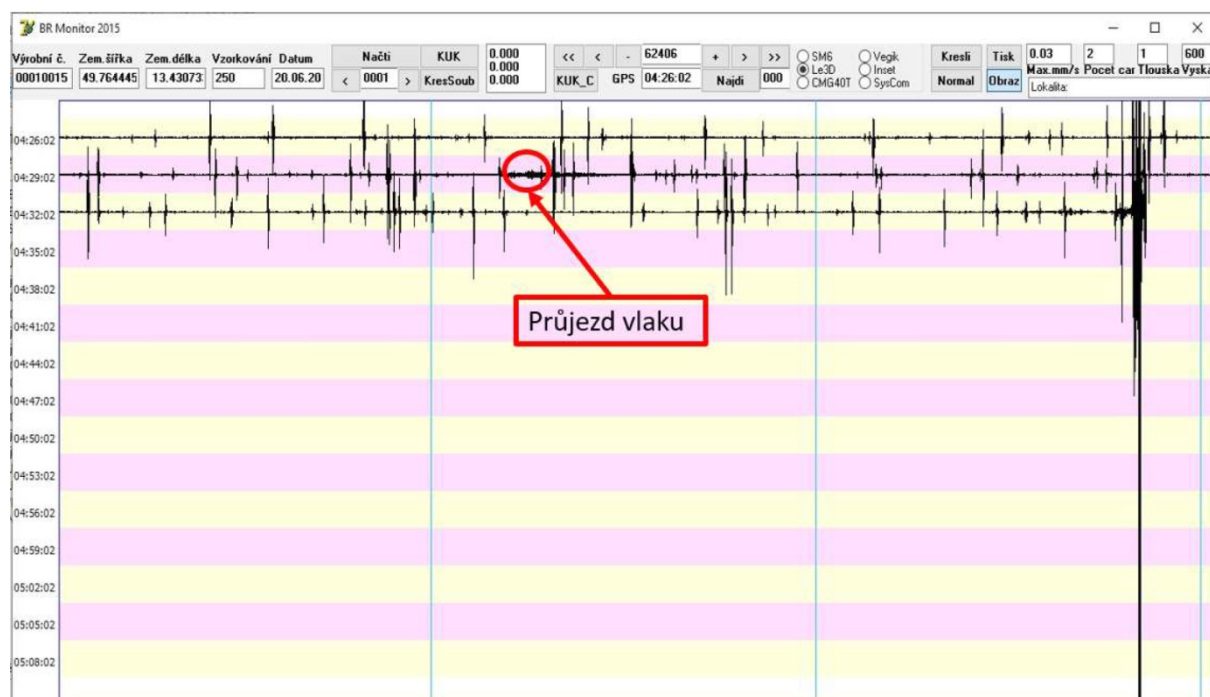
## Vliv technické seismicity při ražbě a provozu tunelové varianty STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín na okolní občanskou zástavbu a infrastrukturu

Ve smyslu zhodnocení vlivu technické seismicity - vibrací byl zpracován posudek od firmy ARENAL. Pro ražené varianty jsou tunely z hlediska dopadu vibrací na zástavbu prakticky bezproblémové.

Z posudku společnosti ARENAL, s.r.o., vyplývá, že na srovnatelné lokalitě Ejpovického tunelu s nadloží 40 – 80 m jsou amplitudy rychlosti kmitání na povrchu 0,005 mm/s na frekvencích 40 – 60 Hz. Útlum prostředí přitom činil 0,107 mm/s, z původní rychlosti 0,112 m/s v prostoru kolejiště.

Dle posudku tyto vibrace nemohou způsobit poruchy stavebních objektů, přičemž pro porovnání je zde Tabulka mezních rychlostí odezvy stavebních konstrukcí – nejpřísnější kritérium je pro Třídou objektu CC3 (dle EN 1991-1-7) významné objekty, Třída odolnosti A: staré, chatrné nebo historické budovy. Minimální mezní hodnota rychlosti činí 0,2 mm/s. Limity vibrací a jejich vliv na obyvatele během stavby se na zahraničních tunelových projektech běžně používá norma BS 5228-2:2009, která uvádí jako práh lidského vnímání vibrace v rozmezí 0,14 až 0,3 mm/s.

Z hlediska hygienických požadavků obyvatel je nutné řešit i vliv vibrací na hladinu hluku – toto se provádí přepočtem na zrychlení při dané frekvenci: pro 45 Hz činí amplituda zrychlení 0,138 mm/s<sup>2</sup>. Opět britská norma uvádí jako práh lidského vnímání ekvivalentní zrychlení 10 až 20 mm/s<sup>2</sup>. Naměřené hodnoty pro průjezd vlaku jsou mnohem nižší, než vibrace od projíždějících vozidel. Příkladem je výstup rychlostí cca 450 m od osy Ejpovického tunelu s vyznačeným průjezdem vlaku na Obrázku 34. Hodnoty jsou v porovnání s automobilovou dopravou zanedbatelné. Z výše uvedeného vyplývá, že tunely s největší pravděpodobností nebudou mít na povrchovou zástavbu a obyvatele z hlediska hygienických požadavků na hluk a vibrace žádný vliv.

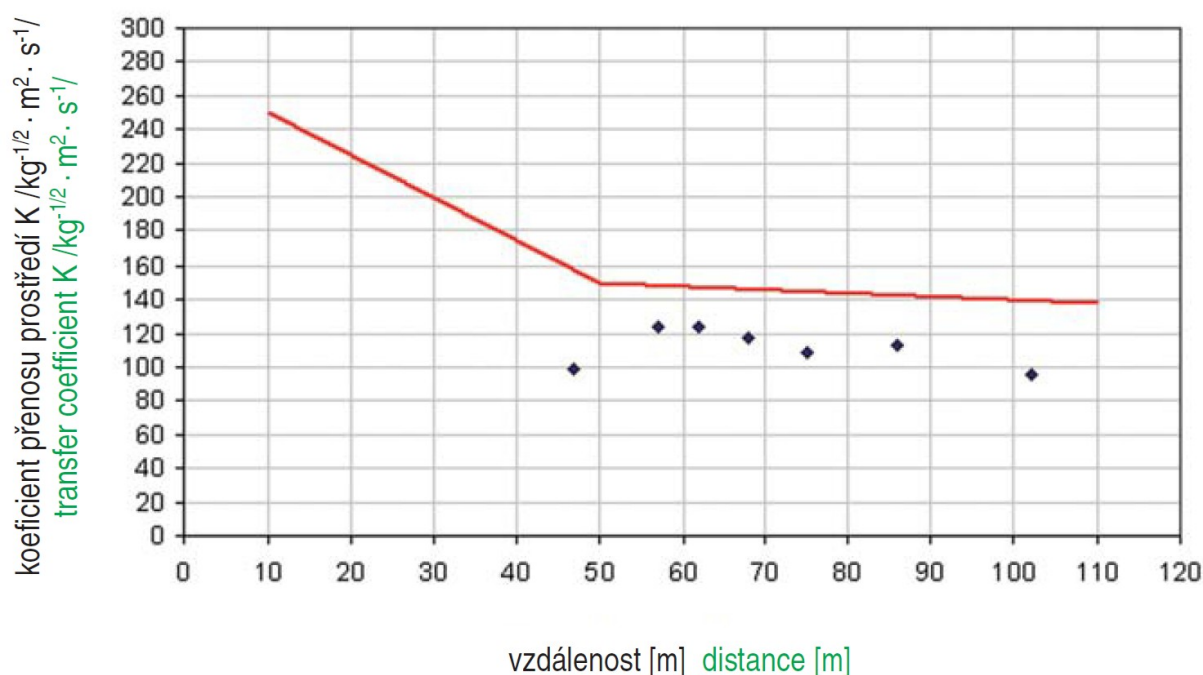


Obr. 34: Výstup z měření seismických rychlostí cca 450 m od osy Ejpovického tunelu s vyznačeným průjezdem vlaku a porovnáním s projíždějícími automobily.



Klíčové pro přenos dynamických podnětů v masivu, zemním či horninovém, jsou 2 základní charakteristiky, které spolu souvisí - logaritmický dekrement útlumu a koeficient přenosu  $K$ .

Pro odstřely v masivu ordovických břidlic byl koeficient přenosu měřen in-situ, v rámci výzkumného úkolu Vysoké školy báňské v Ostravě na stavbě tunelu Slivenec (Vojtasík et al., 2017), který je součástí velkého pražského okruhu. V oblasti jílovitých a jílovitopísčitých břidlic střídajících se s křemenci, místy prachovci (kosovské souvrství) činila výška nadloží 50 až 57 m. Hustota diskontinuit je velká (vzdálenosti 60 až 200 mm). Seismometry byly umístěny v počvě ve vzdálenosti 45 až 102 m (7 měření) od čelby a vlastní měření byla porovnána s ČSN 73 0040. Naměřené hodnoty se pohybují v intervalu  $K = 95$  až 125  $\text{kg}^{1/2}\text{m}^2\text{s}^{-1}$ , je nevýrazná tendence k poklesu se vzdáleností od zdroje vibrací, a hodnoty jsou pod normou ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů seismicitou a jejich odezva (viz Obrázek 35). Břidlice pražského ordoviku (zdravé) jsou tedy z hlediska šíření technické seismicity příznivější, než citovaná norma.



Obr. 35: Porovnání koeficientů přenosu prostředí  $K$  pro tunel Slivenec naměřený a vypočtený dle ČSN 73 0040 (červená čára) (Vojtasík et al., 2017).

## Hlavní limity dosavadního numerického modelování ražby tunelové variant STŘED a JIH železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín ve vztahu ke vstupním parametrům

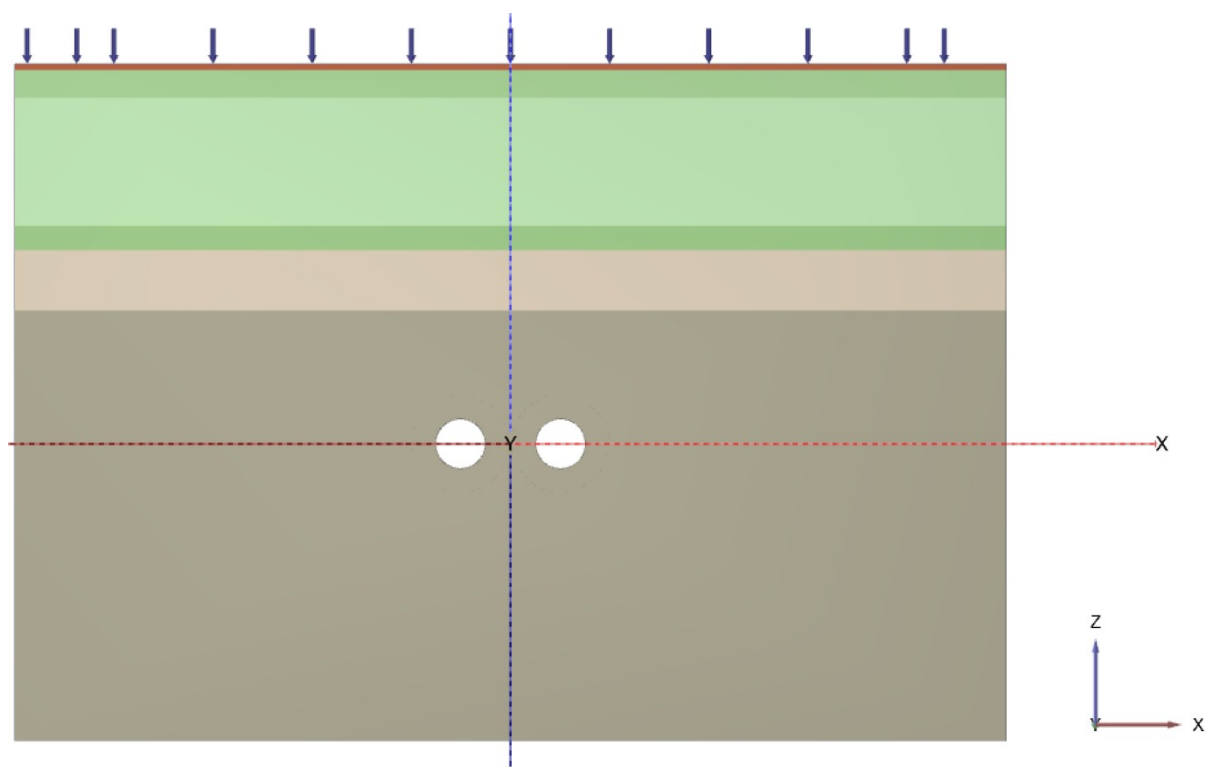
Z hlediska případného numerického modelování stojí za zmínku především pevnosti v prostém tlaku letenských břidlic, tedy v prostředí klíčovém z pohledu vedení trasy.

U popisu typu GT10, podtypu LtnJ (černé jílovité břidlice) a Podgeotypu LtnP (letenské souvrství - střídání drob a písčitých břidlic), na 64 a 65 jsou velmi velké rozptyly v udávaných hodnotách pro materiál se stejným stupněm zvětrání. Konkrétně se jedná GT10 – podtyp LtnJ (černé jílovité břidlice letenského souvrství), kde pevnosti v prostém tlaku se u zdravých vzorků pohybují v intervalu 1,6 - 102,4 MPa, u vzorků W2 navětralých 2 - 34 MPa, vzorky W3 mírně zvětralé v intervalu 0,6 - 26 MPa.

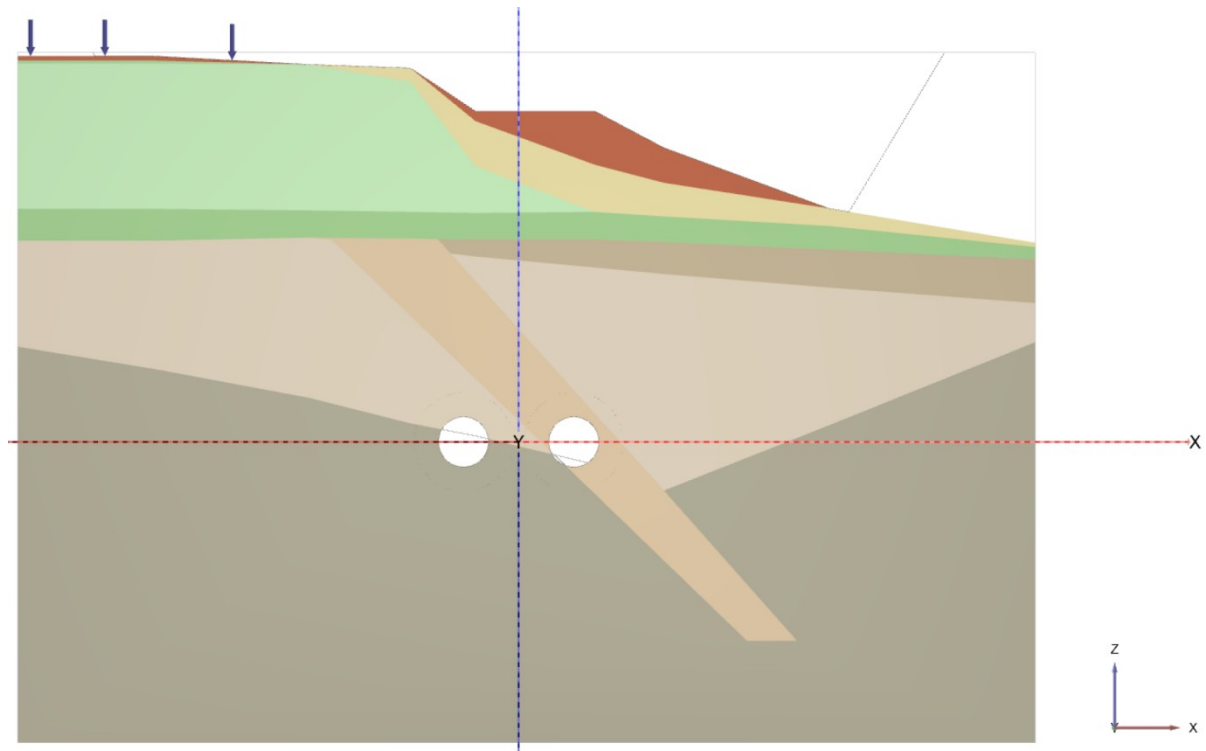
Obdobný rozpor je u GT10 - podgeotypu LtnP (letenské souvrství - střídání drob a písčitých břidlic) – vzorky stupně zvětrání W1 spadaly ve smyslu pevnosti v prostém tlaku do intervalu 0,6 - 28,3 MPa, u drob se jednalo o interval 41 - 107 MPa. Tato rozpětí mohou být částečně zapříčiněna mikrostrukturními odlišnostmi, popřípadě mírně jiným chemickým složením a mají určité důsledky:

- a) není dost dobře možné odhadnout objemy hornin v různých třídách těžitelnosti, neboť i hornina se stupněm alterace W1 může být teoreticky zaříděna jako hornina tříd R5 až R2 (příklad letenských břidlic),
- b) uvedená skutečnost v dané fázi DÚR značně nepřímo limituje výstižnost numerických modelů, protože vysoké rozptyly pevnosti implikují rovněž rozptyly modulů přetvárnosti horniny.

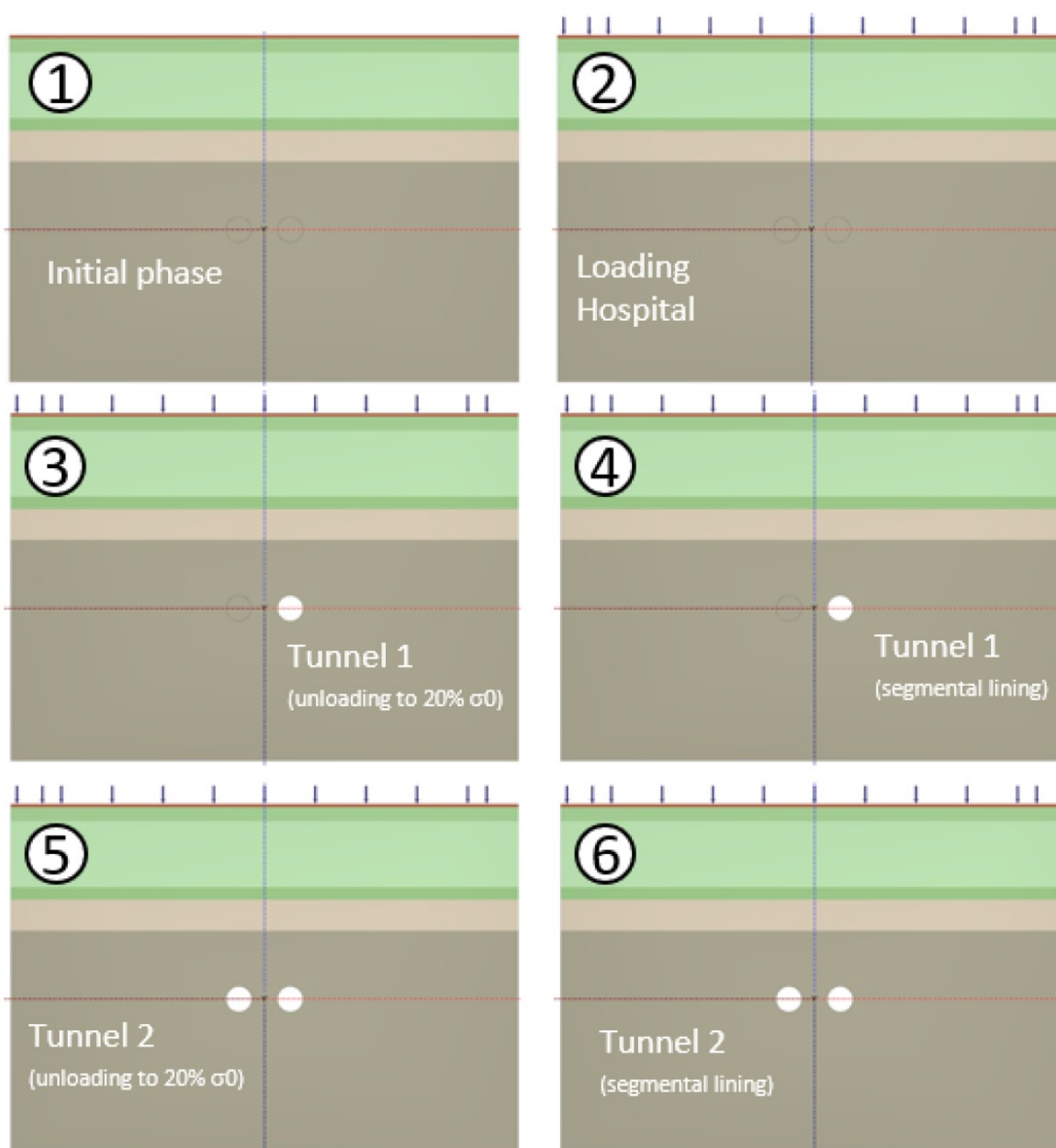
Na následujících obrázcích jsou výstupy z numerického modelu Univerzity Bochum, a to postupně geotechnický model, jednotlivé fáze modelování a výstupy poklesů, pro obě tunelové varianty JIH a STŘED v místě Ústřední vojenské nemocnice – staničení km 6,820. Zde je nutno předeslat kapitolu rozbor klíčových podkladů, kde je zdůrazněna absence materiálového rozhraní (ne-li dílčí poruchové zóny) v expertíze Univerzity Bochum pro variantu JIH.



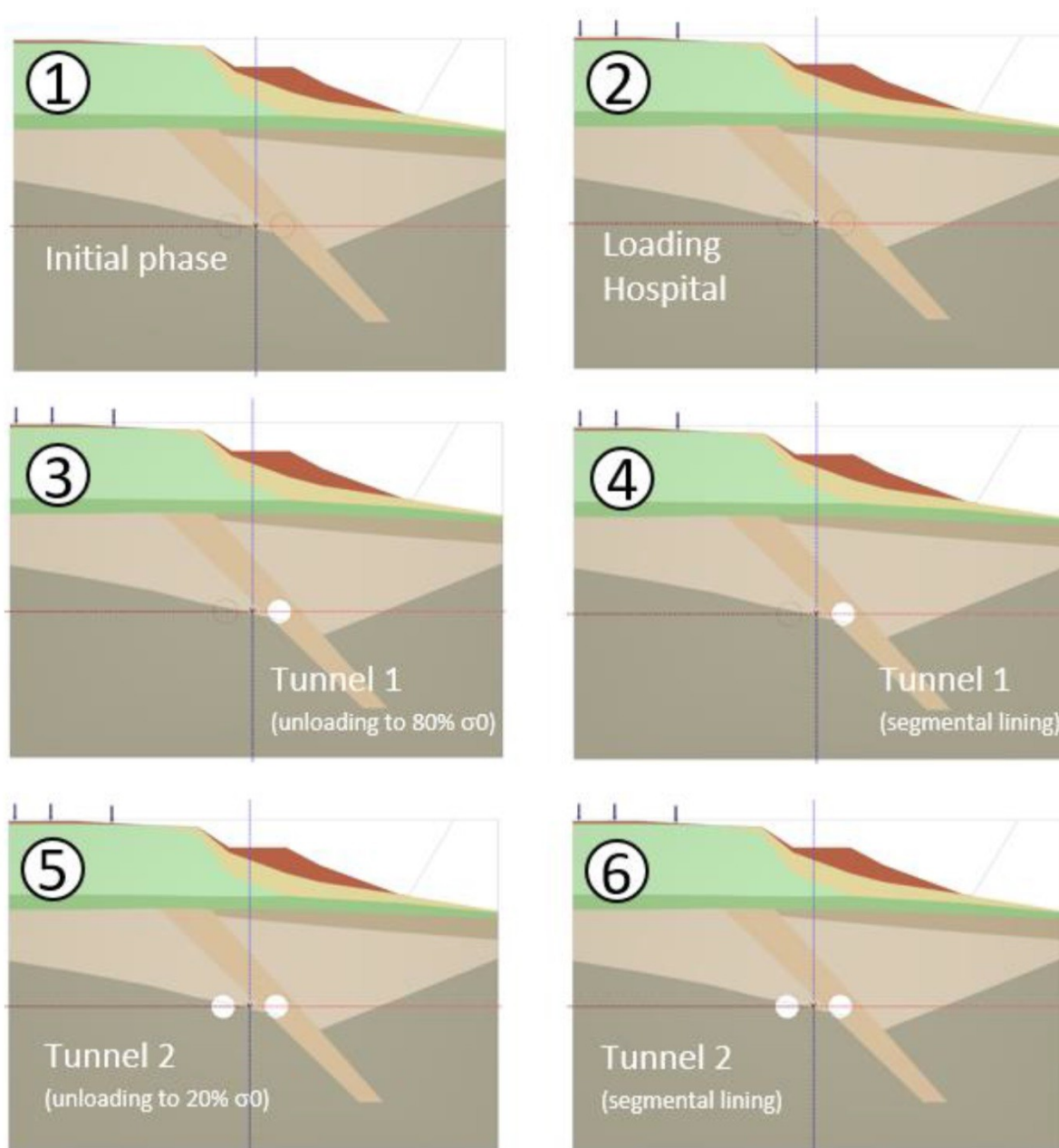
Obr. 36: Geotechnický model varianty JIH, v km 6,820 – pod Ústřední vojenskou nemocnicí.



Obr. 37: Geotechnický model varianty STŘED, v km 6,820 – pod Ústřední vojenskou nemocnicí.

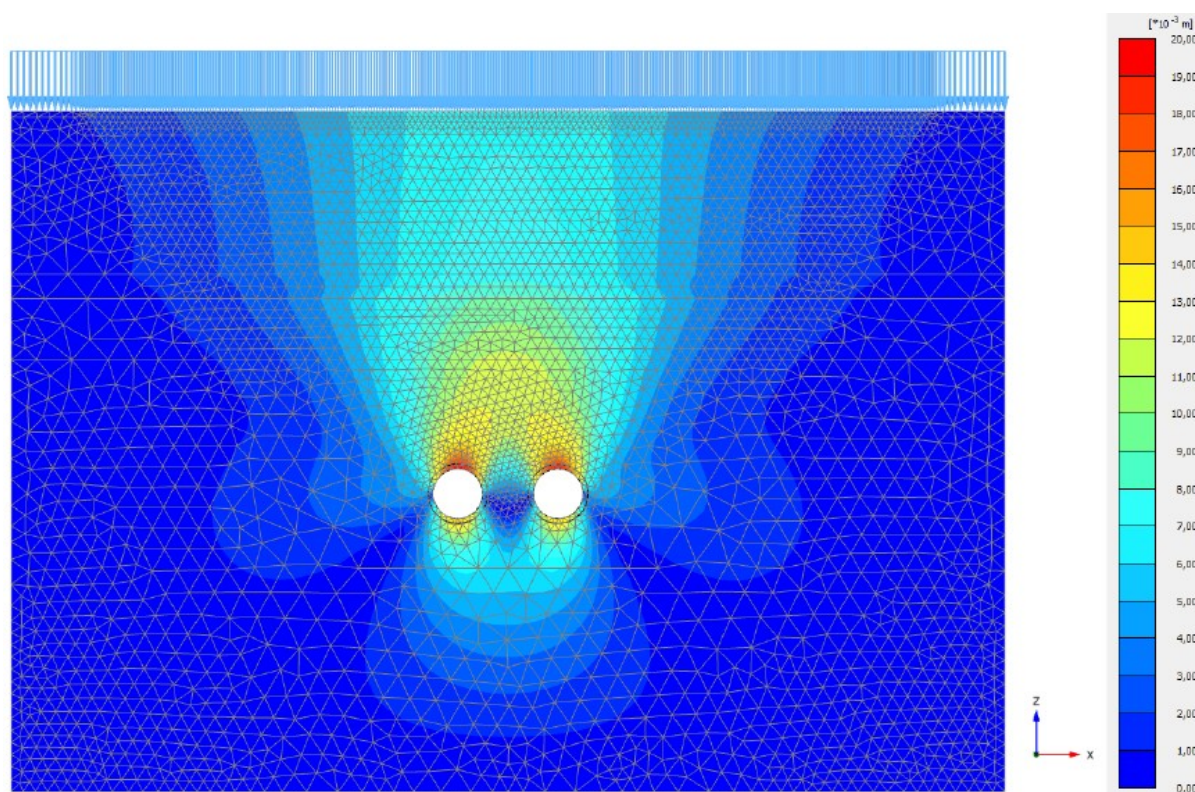


Obr. 38: fázování ražby pro variantu JIH – km 6,820.

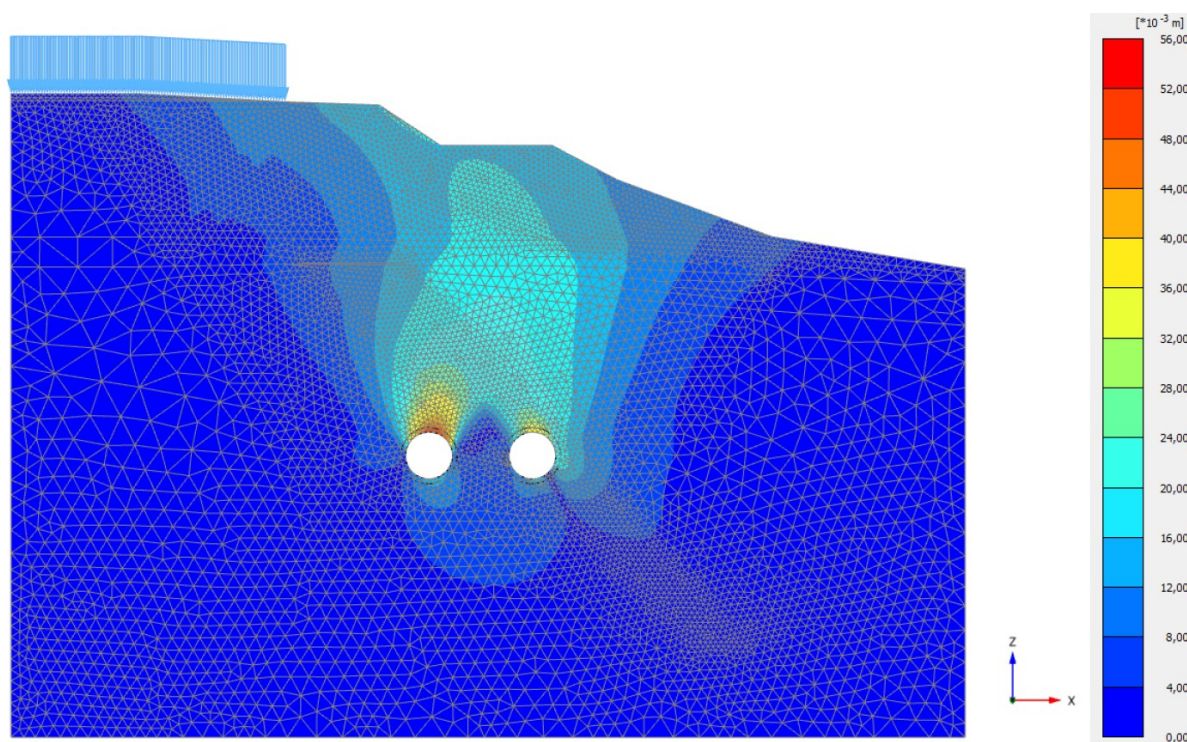


Obr. 39: Fázování ražby pro variantu STŘED – km 6,820.





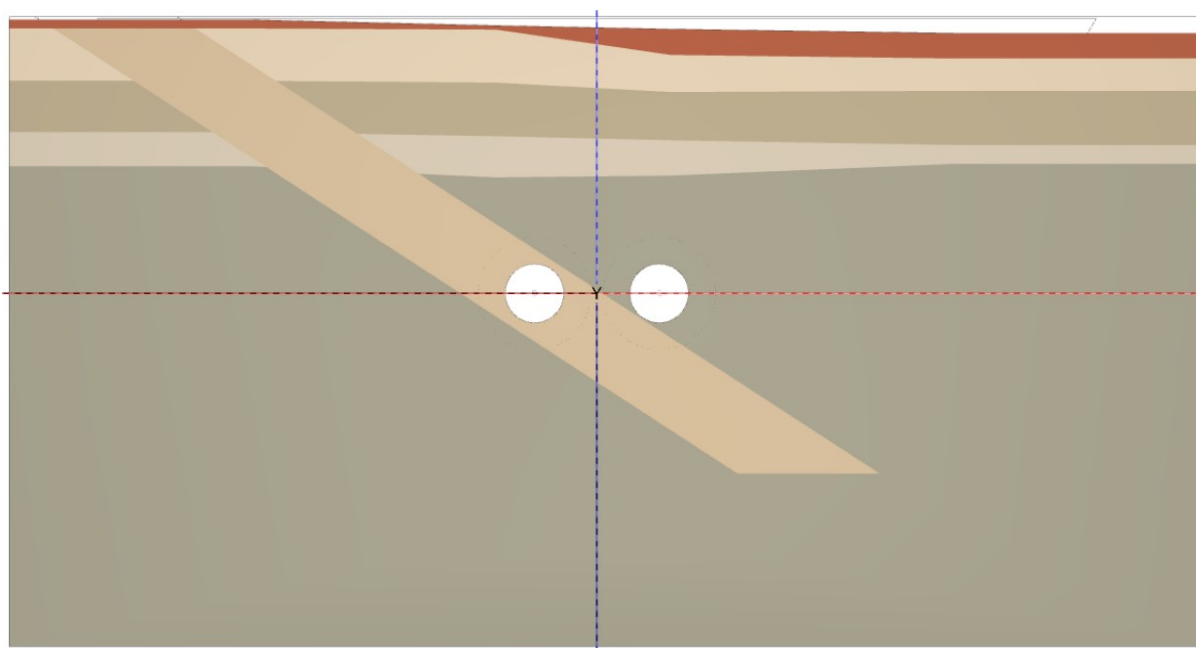
Obr. 40: Výstupy numerického modelu pro variantu JIH – km 6,820.



Obr. 41: Výstupy numerického modelu pro variantu STŘED – km 6,820.

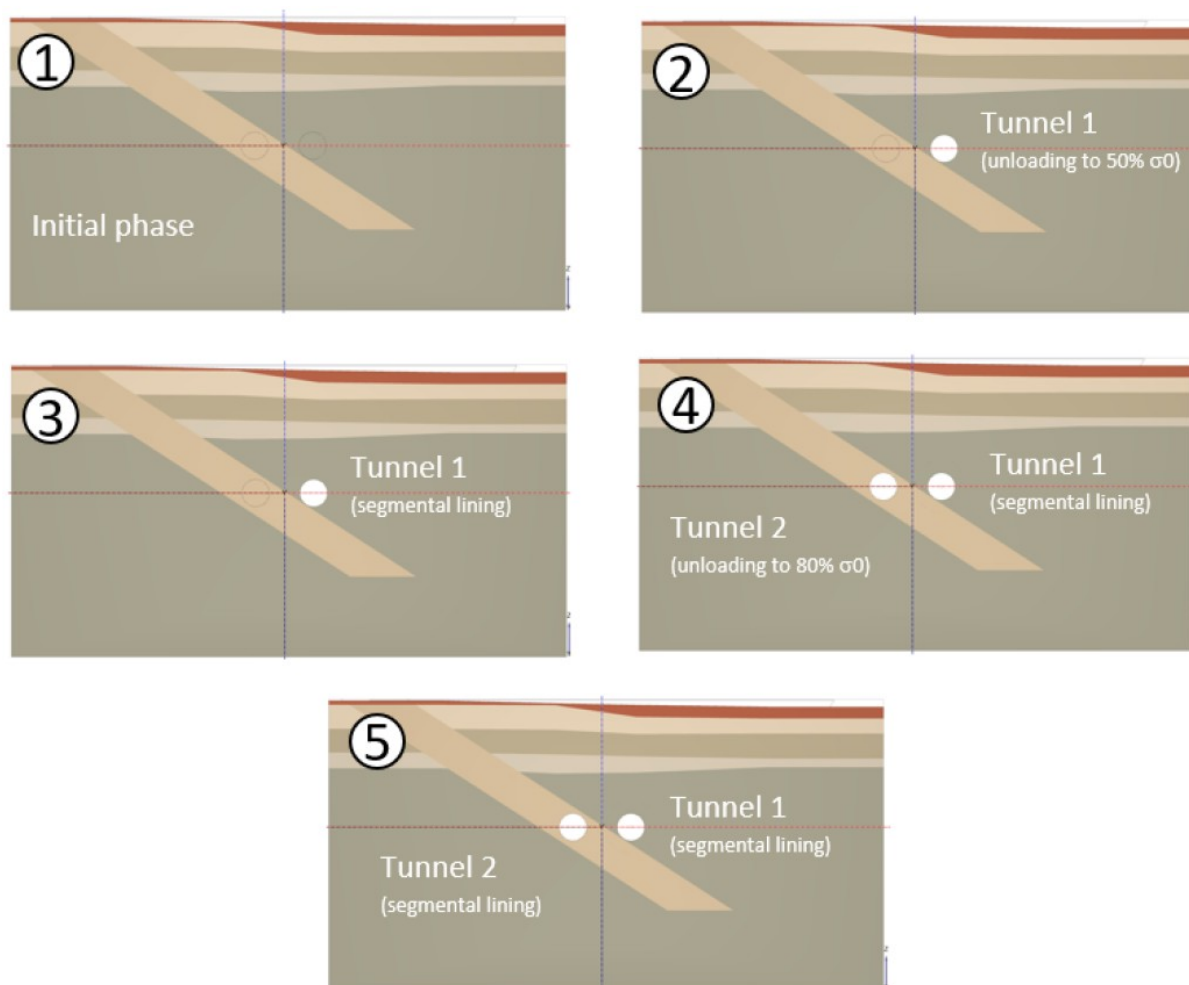
Výstupy z geotechnického modelu dokumentují hloubku poklesové kotliny v případě varianty JIH v řádu 7 – 10 mm, pro variantu STŘED v řádu 12 – 15 mm. Zároveň je však z výstupů geometrie potvrzeno, že varianta JIH nezohledňuje materiálové rozhraní tak, jak je v místě varianty JIH uváděno v podkladu ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA – ČGS.

Z hlediska namáhání tunelu je významný výstup celkových deformací ve staničení km 4,793. Zde jedna z tunelových trub prochází pravděpodobně tektonickou poruchou dle interpretace v numerickém modelu (střížná zóna vede až k povrchu, tedy se dle modelové interpretace nejedná o materiálové rozhraní v rámci antiklinálního ohybu). Gradient posunů u tunelové roury je značný, v porovnání s km 6,820. To značí značnou křivost deformační čáry ostění a proto rovněž značné namáhání strukturního prvku. V rámci dalších průzkumů bude nutné analýzy zpřesnit především ve smyslu hodnot fyzikálně-mechanických vlastností, například i s využitím zkušeností z TBM ražby tunelů úseku V. A pražského metra.

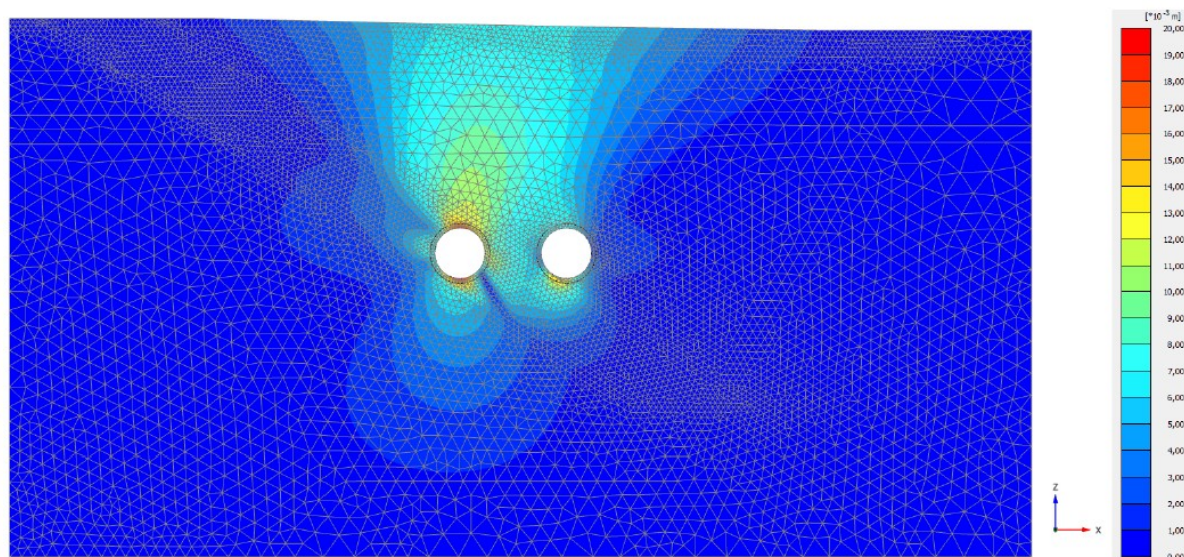


Obr. 42: Geotechnický model pro numerickou analýzu v km 4,793.





Obr. 43: Modelový postup ražby v km 4,793.



Obr. 44: Výstup celkových posunů s poklesovou kotlinou a poměrně značným gradientem posunů u v pohledu levé trouby na pravém spodním kvadrantu.

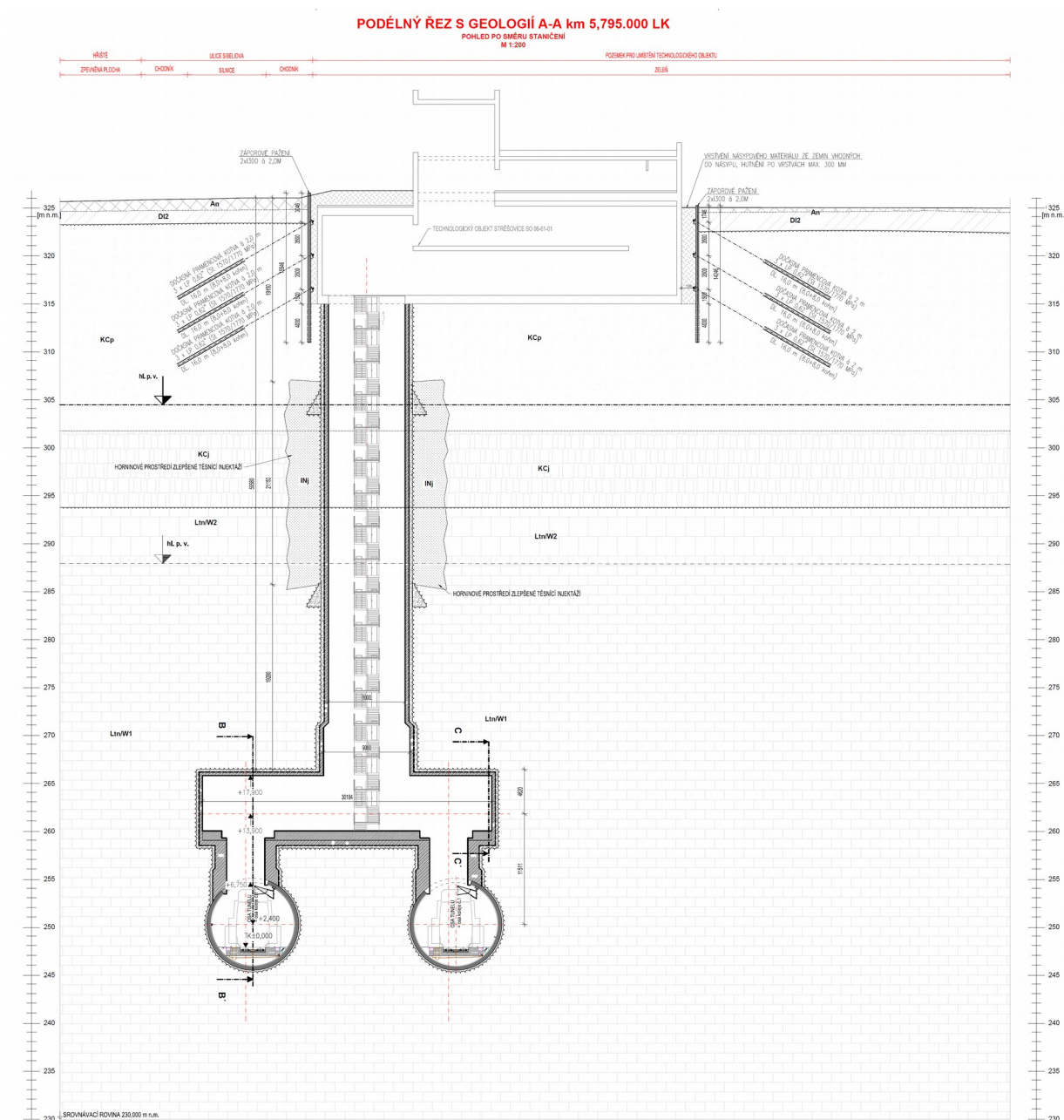
## Zhodnocení vlivu větrací šachty na hydrogeologii tunelu JIH železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín

Citlivým místem z hlediska možného závažného propojení křídové a ordovické zvodně je větrací šachta, která pro variantu JIH prochází vodonosným křídovým souvrstvím. Následující řez šachtou, kde jsou zachyceny geologické podmínky, je na Obrázku 45. Na bázi korycanských pískovců je zvodeň dosahující mocnosti v prvních metrech, přičemž izolátorová vrstva je tvořena peruckými jílovci. Tyto jílovce dle geologického popisu vůbec nemusí být homogenní a zcela nepropustné, jak by se pro celistvou jemnozrnnou hmotu očekávalo. Jílovec může obsahovat centimetrové vrstvičky prachovců a jemnozrnných pískovců, zuhelnatělé kořínky rostlin při proplástky uhelných jílovců. Prouhelnělá místa v blízkosti pískovcových vložek jsou preferenčními cestami pro proudění vody a pokud jsou jílovce místy nebo hrozí jejich porušení ražbou, poté injektáž pouze v těsné blízkosti prostupu nemusí být dostačující.

Vážná situace by nastala, pokud by těsnící injektáž nebyla realizována s úspěchem a pokud by se v bezprostřední blízkosti šachty nacházela poruchová zóna s fragmentovanou horninou. V takovém případě bude docházet k infiltraci vody níže a jejímu negativnímu působení na tunel. Ať již z jakýchkoli důvodů, ne vždy se podaří prostor v kritických místech s úspěchem utěsnit.

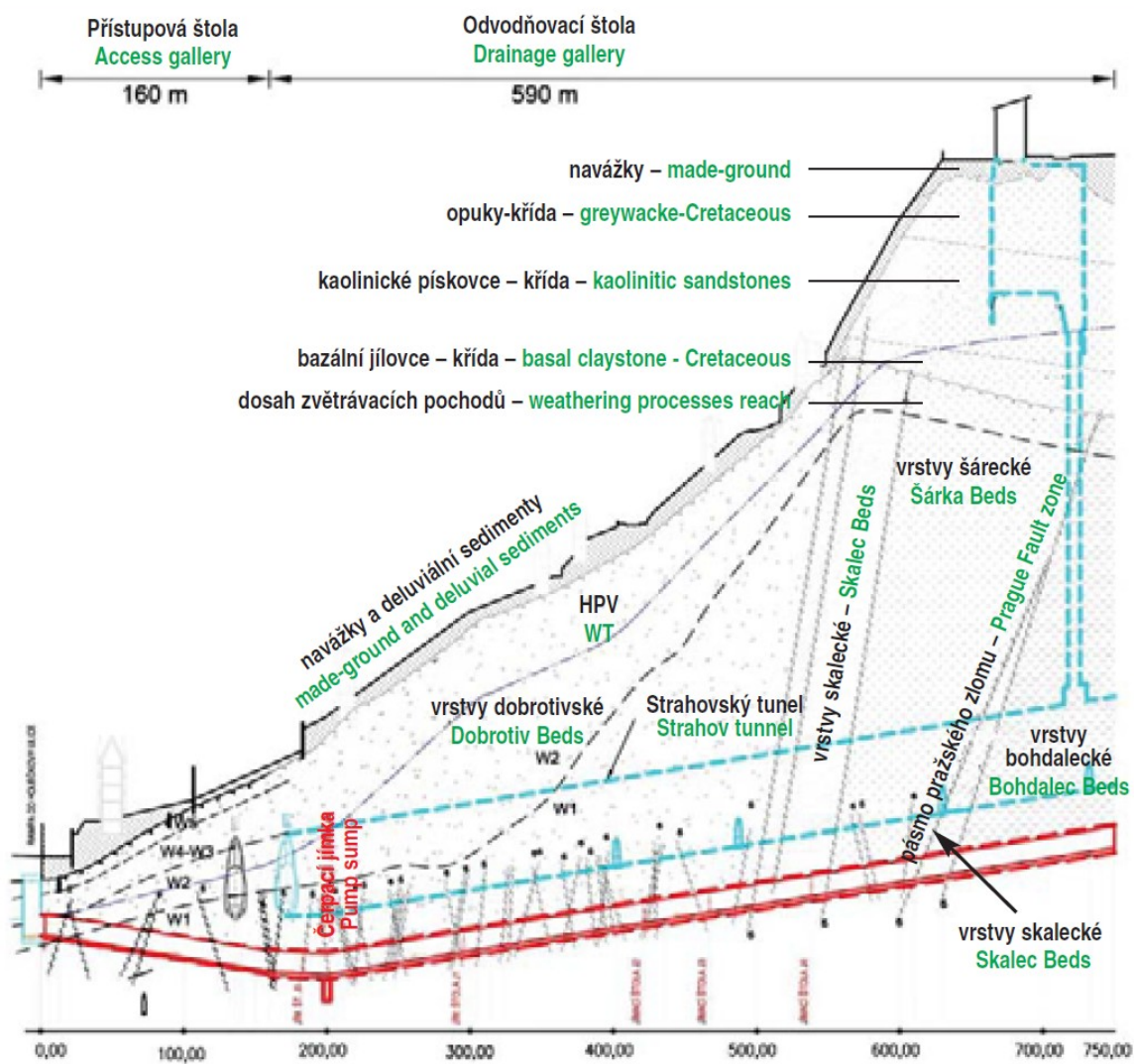
Obdobný případ je patrný z lokality Strahovského tunelu (tunelů). V bezprostředním okolí tunelových trub se totiž vytvořila zvodně v ordovických vrstvách, s úrovní hladiny nad tunelovými tubusy. Stejně jako u ražené varianty JIH existuje zvodeň v křídovém souvrství pískovců, přičemž izolační vrstvou od paleozoických hornin vrstvou je vrstva jílovce. Křídové pískovce jsou prostředím s průlinovo-puklinovou propustností, podložní břidlice vykazují propustnost puklinovou. Za normálních okolností je voda jímána u okraje křídové zvodně, popřípadě se přirozeně přelévá do diluviálních sedimentů (tato skutečnost v kombinaci se špatnou funkcí a zanedbáním jímacích objektů přispěla v 60. letech k sesutí tělesa lanové dráhy na Petřín). V prostoru Strahovských tunelů však voda před vybudováním odvodňovací štoly infiltrovala přímo do ordovických hornin. Dle Krcha et al., 2011 při ražbě Strahovských tunelů, respektive při hloubení šachet u technologického centra na Strahově, došlo pravděpodobně i přes provedené injektáže k propojení těchto dvou zvodní. Na průsaky do interiéru Strahovských tunelů (nejen v oblasti Strahova, ale i v dalších úsecích) reagoval v 90. letech 20. stol. doplňující hydrogeologický průzkum s pokusy eliminovat přítoky

podzemní vody do již hotových tunelů pomocí odlehčovacích vrtů. Účinnost těchto opatření však nebyla dostačující. Proto byla navržena koncepce odvodnění horninového prostředí v okolí Strahovských tunelů pomocí výstavby odvodňovací štolý.



Obr. 45: Projektové řešení odvodňovací štolý včetně geologie.





Obr. 46: Podélný řez Strahovským tunelem.

## Komentář a vzájemné souvislosti 4 podkladů ve smyslu geologie a zhodnocení rizik při porovnání variant tunelu JIH a STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín

### **Podklad 1 - TECHNICKÁ ZPRÁVA - METROPROJEKT (součást [1]) - datováno 11/2019**

Technická zpráva přináší základní informace o technologii a některé projektové informace - tyto jsou uvedeny v nálezů posudku. Komentář: Za zmínku stojí především podkapitola 5.3 Způsob a provádění stavby a 5.5 Analýza rizik výstavby.

V Tabulce 4 v podkapitole 5.5 Analýza rizik (Tabulka 4 viz níže) hodnotí předpokládaný průběh ražby. Pro staničení pro variantu JIH jsou uvedeny tektonické poruchové zóny, a to ve staničeních km 5,080 a km 6,675 v letenských, respektive dobrotivských břidlicích. Prvně uvedenému staničení odpovídá přibližně geologický profil 1 (společnost SUDOP, a.s., datování 6/2019, coby součást podkladu 4 - KLARIFIKACE METROPROJEKT, viz níže), který je proveden v místě km cca 5,030 varianty JIH, což je prakticky v nejbližším sousedství. Tím prakticky není možné, aby porucha při geodynamických pochodech vymizela na úseku 50 m v celé šíři příčného řezu. Přesto na uvedeném řezu porucha chybí.

Je vhodné doplnit, že v komentované Tabulce na Obrázku 47 jsou vyhodnocena kritéria vhodnosti stroje EPB-TBM pro jednotlivé úseky a volené módy činnosti (uzavřený, polouzavřený, otevřený).

Průřez			Přepokládaný mód ražby	Kritéria posouzení vhodnosti stroje EPB											
Staničení - kolej č. 1 (km)	Číslo	Hlavní geotyp - čelba		Obsah jemnozrnných částic	Propustnost masivu	Konzistence	Index relativního ztuhnutí	Tlak na čelbě	Bobtnání masivu	Pevnost horniny v prostém tlaku	RQD	RMR	Přítok vody v rámci 10 m tunelu	CAI	
(ca km 4+110)	1a	Fluviální písky	Uzavřený	o	o	o	+	+	+	+	+	+	o	+	
	1b	Eolické sedimenty	Uzavřený	+	+	+		+	+	+	+	+	o	+	
km 4+194	2a	Eolické a deluviální sedimenty	Uzavřený	+	+	+		+	+	+	+	+	o	+	
km 4+194	2b	Eolické sedimenty	Uzavřený	+	+	+		+	+	+	+	+	o	+	
km 4+194	2c	Břidlice Let W5	Uzavřený	+	+			+	+	+	+	+	o	+	
km 4+236	2-1	Břidlice Let W5	Uzavřený	+	+			+	+	+	+	+	o	+	
km 4+283	3a	Břidlice Let W4- 3	Uzavřený	?	+			o	+	o	+	o	o	+	
km 4+283	3b	Břidlice Let W5- 4/3	Uzavřený	?	+			o	+	o	o	o	o	+	
km 4+303	4	Břidlice Let W4- 3	Uzavřený	?	+			o	+	o	o	o	o	+	
km 4+600	6	Břidlice Let W1	Otevřený		+			+	+	+	+	+	+	+/o	
km 5+080	7	Břidlice Let W1 porucha	Uzavřený	?	o			o	+	o	+	o	o	+	
km 5+080	7a	Břidlice Let W1- tekt porucha	Uzavřený	?	+			o	+	o	+	o	o	+	
km 6+675	8	Břidlice Dbr W1- tekt porucha	Uzavřený	?		+	o	+	o	+	o	o	+		
km 6+900	9	Břidlice Dbr W1	Otevřený		+		+	+	o	+	+	+	+		
km 7+132	10	Břidlice Dbr W1	Polouzavřený		+		o	+	o	o	o	+	+		
km 7+240	11	Břidlice Dbr W1	Polouzavřený		+		+	+	o	o	o	o	+		
km 7+262	12	Břidlice Dbr W1- tekt porucha	Uzavřený	?	+		o	+	o	+	o	o	+		

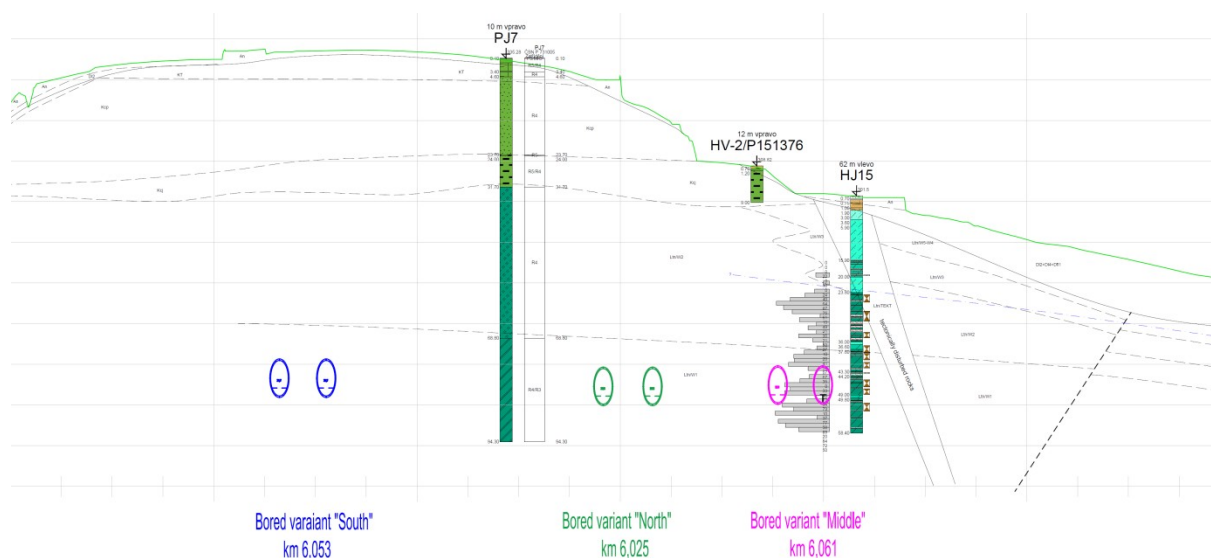
Obr. 47: Posouzení vhodnosti stroje EPB-TBM. Zvýrazněno staničení, kde je pro variantu JIH zobrazena tektonická porucha [1].

Průřez		Mód ražby	Rizika pro ražbu a stabilitu výrubu	Pravdě- podobnost	Primární dopad	Klasifikace rizika	Opatření pro snížení rizika	Reziduální pravdě- podobnost	Reziduální dopad	Klasifikace zbylého rizika
Staničení - kolej č. 1 (km)	Hlavní geotyp čelba									
(ca km 4+110)	Fluviální písky	U	Learning curve zhotovitele, fluktuace podpůrného tlaku na čelbě zvýšené sedání	Pravděpod- obný děj	Značný	Nežádoucí	Možnost instalace systému vstřiku bentonitu do pracovní komory k automatickému vyrovnávání tlaku	Občasný děj	Značný	Akceptova- telné
	Eolické sedimenty	U	zvýšená lepkovitost zeminy	Pravděpod- obný děj	Vážný	Nežádoucí	Použitím vhodné chemie pro snížení přilnavosti je toto riziko možné částečně snížit	Občasný děj	Značný	Akceptova- telné
km 4+194	Eolické a deluviální sedimenty	U	zalepování, vysoké sedání povrchu	Občasný děj	Značný	Akceptova- telné				
km 4+194	Eolické a deluviální sedimenty	U	Nenadálý pokles podpůrného tlaku, který by mohl vyústit v deformaci již postaveného sousedního tubusu	Pravděpod- obný děj	Katastrofa Iní	Nepřípustné	Provedení injektovaného pilíře mezi tubusy při malé osové vzdálenosti tunelů	Pravděpod- obný děj	Nevýznam- ný	Akceptova- telné
km 4+194	Eolické sedimenty	U	zalepování, vyšší sedání povrchu	Občasný děj	Značný	Akceptova- telné				
km 4+194	Břidlice Let W5	U	zalepování, vyšší sedání povrchu	Občasný děj	Značný	Akceptova- telné				
km 4+236	Břidlice Let W5	U	poškození produktovodů	Nepravděp- odobný děj	Těžký	Nežádoucí	Důsledná kontrola nastavení stroje pomocí systému sledování ražby a geotechnický monitoring konstrukcí. Umístění extensometrů v blízkosti produktovodů	Zanedbatel- ná četnost	Těžký	Akceptova- telné
km 4+283	Břidlice Let W5-4/3	U	Riziko poškození rampy z podzemních stěn v ulici Svatovítská	Občasný děj	Katastrofa Iní	Nepřípustné	Provedení zajištění ražby metodou pipe roofing	Zanedbatel- ná četnost	Katastrofál- ní	Akceptova- telné
km 4+303	Břidlice Let W4-3	U	Riziko poškození budov na povrchu při vysokém sedání	Nepravděp- odobný děj	Vážný	Akceptova- telné				
km 4+600	Břidlice Let W1	O	Zvýšené přítoky podzemní vody	Občasný děj	Nevýzna- mný	Akceptova- telné				
km 5+080	Břidlice Let W1-tek- porucha	U	Riziko nemožnosti vytvoření podpůrné kaše při vyžadovaném uzavřeném módu	Občasný děj	Vážný	Nežádoucí	Rozsáhlé použití chemie v pracovní komoře stroje pro překonání poruchy	Nepravděp- odobný děj	Vážný	Akceptova- telné
		U	Riziko vysokého hydrostatického tlaku.	Občasný děj	Značný	Akceptova- telné				
km 6+675	Břidlice Dbr W1-tek- porucha	U	Riziko vysokého hydrostatického tlaku.	Občasný děj	Značný	Akceptova- telné				
km 6+900	Břidlice Dbr W1	O	Riziko výskytu abrazivních skalečných křemenců	Pravděpod- obný děj	Nevýzna- mný	Akceptova- telné				
km 7+240	Břidlice Dbr W1	P	Vyšší sedání povrchu (až 30 mm)	Občasný děj	Značný	Akceptova- telné				
km 7+262	Břidlice Dbr W1-tek- porucha	U	Vyšší sedání povrchu, poškození budov	Občasný děj	Vážný	Nežádoucí	Důsledná kontrola nastavení stroje pomocí systému sledování ražby a geotechnický monitoring konstrukcí. Umístění extensometrů v blízkosti produktovodů	Nepravděp- odobný děj	Vážný	Akceptova- telné

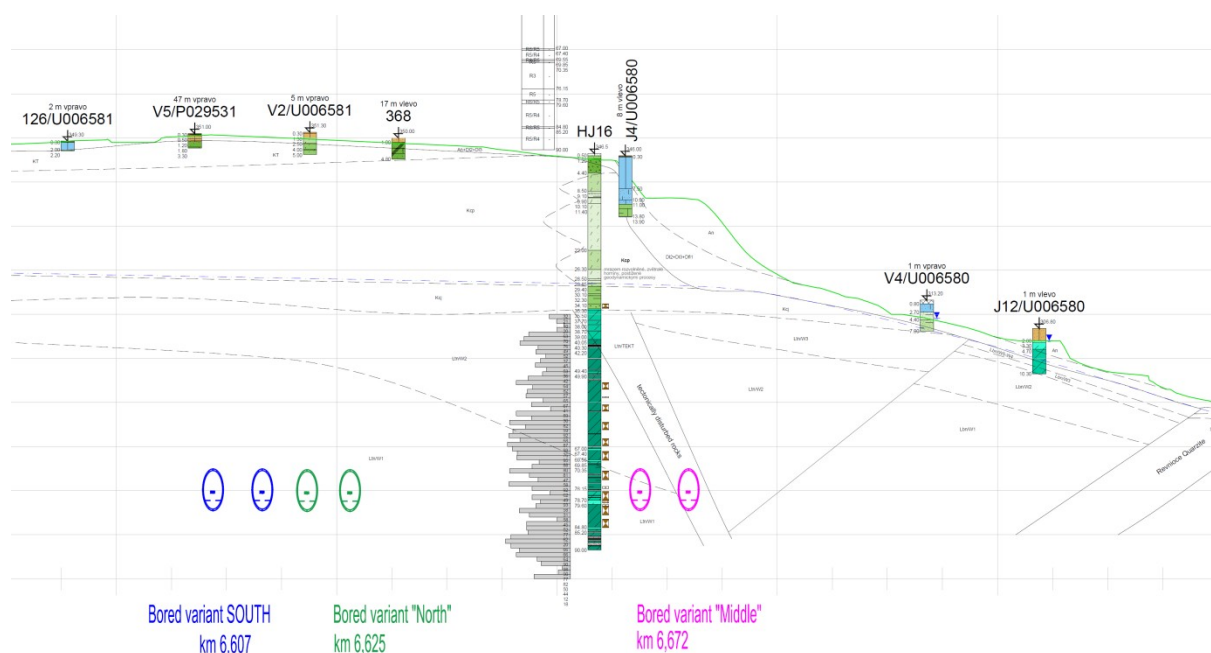
Obr. 48: Tabulka rizikové analýzy pro ražbu strojem EPB-TBM pro tunelovou variantu JIH [1].

## Podklad 2 - KLARIFIKACE METROPROJEKT - (podklad [4]) - datováno 5/2020

Před vlastním komentářem jsou nejprve uvedeny geologické řezy, které byly dostupné Univerzitě Bochum. Jsou vypracovány společností SUDOP, a.s. (datováno 6/2019). Geologický profil 2 (viz situace tunelových variant – kapitola Nález) je ve staničení km 6,053 pro variantu JIH a 6,061 pro variantu STŘED a vede v místě minimálního nadloží pro variantu STŘED, které zde činí přibližně 36 m. Geologický profil 3 je ve staničení km staničení km 6,607 pro variantu JIH a 6,672 pro variantu STŘED a vede v těsném sousedství Ústřední vojenské nemocnice (ÚVN), tj. relativně blízko hlavních zlomů v zájmové oblasti a zřejmě v místě maximálního nadloží, které činí přibližně 75 m (nad korunou tunelové varianty JIH). Popsané profily jsou na Obrázcích 49 a 50.



Obr. 49: Geologický (geotechnický) profil 2 – dle situace v kapitole Nález. Staničení km 6,053 pro variantu JIH a 6,061 pro variantu STŘED.



Obr. 50: Geologický (geotechnický) profil 3 – dle situace v kapitole Nález. Staničení km 6,607 pro variantu JIH a 6,672 pro variantu STŘED.

KLARIFIKACE-METROPROJEKT obsahuje podklady pro posouzení variant ražených tunelů. **Jádrum posudku jsou odpovědi na otázky expertů.** Zde lze zdůraznit **odpověď na otázku 2**, která se týká bobtnání zemín. Dle odpovědi nejsou jílové břidlice náchylné k bobtnání, a to z již vybudovaných stěžejních liniových staveb - tunelu Blanka a pražského metra hloubky až 50 m. *Komentář znalce: Při zkouškách bobtnání jsou výsledky vždy odvislé*



*částečně od počáteční vlhkosti.* V porovnání výsledků zkoušek s bobtnavými materiály nicméně výsledky potvrzují, že rámcová míra bobtnavosti je relativně nízká. Toto je příznivé pro obě varianty vedení raženého tunelu v případě, kdy ražbou dojde k pohybu podzemních vod a ražbou (byť dočasně) odlehčené partie nebo tektonickými pochody nakypřená a popraskané poruchové partie započne dotovat voda. Zásadní je toto pro variantu STŘED, protože - jak pojednáno dále - prochází v nezanedbatelné části paralelně s poruchou.

Dílič **odpověď na otázku 3** je klíčová pro celé vedení díla v jakékoli variantě: zlomy s očekávanou povahou nepředstavují podle zkušenosti s ražbou metra V. A při technologii EPB-TBM problém pro postup stroje. Komentář: Pro obě varianty JIH a STŘED je toto klíčové stanovisko, které je nutné alespoň formálně ověřit. Součástí následujících statí je rešerše zjišťování napjatosti v oblasti tektonických poruch v břidlicích a ideová numerická analýza napjatosti v místě terénní elevace. Klíčová partie pro variantu STŘED je především v místě, kde tektonická porucha a tunel je nejbližší patě svahu.

Z **odpovědi na otázku 4** vyplývá, že pravděpodobnost zastižení zcela neznámých tektonických zón o tloušťce několika desítek metrů je velmi nízká. Z posledního odstavce odpovědi na otázku vyplývá mimo jiné, že v oblasti svahu mezi mezi Střešovicemi a Dejvicemi nejsou žádné indikace zastižení podélných trhlin nebo zlomů vzhledem k orientaci varianty STŘED. Komentář: Jak se později ukázalo (viz popis podkladu 2 - ZPRÁVA ČGS), přes nízkou pravděpodobnost byly další tektonické zóny zastiženy. Zároveň již z řezu v komentovaném podkladu vyplývá, že v oblasti svahu se poruchové zóny vyskytují a dokonce jsou v blízké oblasti varianty STŘED.

V podobném duchu je **odpověď na otázku 11** - neuvažuje se existence zlomových zón paralelních s žádnou z tunelových variant. Je nutné doplnit, že pro variantu STŘED je uveden předpoklad doplňujících vrtů. Jsou přiložené geologické řezy (zpracovatel společnost SUDOP, a.s., datování 6/2019), ve kterých se v místě průchodu varianty JIH nevyskytují žádné poruchové zóny, naopak, v místě terénní elevace svahu a blízkosti varianty STŘED se tyto zóny nachází.

Tabulka 4 v podkapitole 5.5 Analýza rizik předpokládá riziko při ražbě v poruchových zónách v uvedených staničních km 5,080 a km 6,675 jako většinou akceptovatelné. Přes rozpor popisovaný v předchozím odstavci (tj. nesoulad geologického podkladu a informací z Tabulky 2), Tabulka 4 nezvýhodňuje variantu JIH. Důvodem je skutečnost, že podklad ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA - ČGS zahrnuje řezy, které indikují oproti podkladu KLARIFIKACE-METROPROJEKT poruchy i pro tuto variantu. Paradoxně, pokud by v podkladu ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA-ČGS nebyly tektonické poruchy u varianty JIH indikovány,

zvýhodňovala by Tabulka 4 samoúčelně variantu STŘED, přičemž Tabulka 4 je v podkladu, který apriori počítá s variantou jih.

### Podklad 3 - POSUDEK BOCHUM – (podklad [6]) – 9/2020

Účelem posudku Univerzity Bochum bylo vyhodnocení rizik pro tunelové varianty vedení železniční trati Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín a numerické modelování těchto variant (HLOUBENÁ, SEVER, STŘED, JIH) pro stanovení tvaru hloubek a tvarů poklesových kotlin v různých staničeních.

Pro rizikovou analýzu bylo použito celkem 30 kritérií rozlišených do 6 skupin: a) pracnost a nároky na podrobný průzkum, b) návrhová rizika (komplexnost a náročnost projektu), c) stavební pracnost, d) geologická rizika, e) rizika tunelování, f) vliv stavby na okolí, velikost rizika byla pro každé z 30 kritérií hodnoceno třemi body, jako nízké, střední a vysoké. Výsledky hodnocení jsou uvedeny na následujícím Obrázku 51.

Riziko (+ = nízké, o = střední, - = vysoké)	HLOUBENÁ	SEVER	STŘED	JIH
Pracnost průzkumu a návrhu				
Dodatečné vrtné sondy	+	-	-	-
Dodatečné laboratorní testy	o	-	-	-
Dodatečná posouzení sedání	-	o	o	o
Návrhová rizika				
Ražba pod tunelem Blanka	+	+	-	-
Ochrana budov	-	-	o	o
Ochrana teplárny	-	o	o	o
Utěsnění zvodní	+	-	-	-
Návrh šachet	+	-	-	-
Návrh hloubených tunelů	-	o	+	+
Stavební pracnost				
Pomocná opatření při NRTM	-	+	+	+
Pomocná opatření při HLOUBENÉ variantě	-	+	+	+
Pomocná opatření při stavbě šachet	+	o	o	o
Pomocná opatření pro EPB	+	o	o	o
Prostor pro staveniště	o	o	o	o
Nutné trhací práce?	-	+	+	+
Geologická rizika				
Nedostatečná stabilita masivu	-	+	+	+

Obr. 51: Výsledky hodnocení rizik dle Univerzity Bochum.

Riziko (+ = nízké, 0 = střední, - = vysoké)	HLOUBENÁ	SEVER	STŘED	JIH
Vliv hladiny podzemní vody	+	0	0	0
Tunelování souběžně s patou svahu	+	0	-	0
Odchylka parametrů masivu od předpokládaných parametrů	-	0	0	0
Rizika tunelování				
Rozsah tunelování v zeminách	-	0	+	+
Rizika TBM	+	-	-	-
Rizika NRTM	-	+	+	+
Rizika hloubených tunelů	-	0	+	+
Vliv na okolí				
Sedání	-	0	+	+
Propojení zvodní	+	0	0	0
Vibrace ze stavební činnosti	-	0	+	+
Hluk ze stavební činnosti	-	0	+	+
Znečištění podzemních vod	0	+	+	+
Portálové prostory (rušení obyvatel v sousedství)	-	-	0	0
Odvod podzemních vod tunelem	+	+	+	+
Shrnutí				
<b>Celkové skóre, nevážené</b>	<b>-5</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>7</b>

Obr. 51 (2. část): Výsledky hodnocení rizik dle Univerzity Bochum.

Nízké riziko bylo v tabulce označeno: + (+1 bod), střední riziko bylo v tabulce označeno: 0 (0 bodů), vysoké riziko bylo v tabulce označeno: - (-1 bod). Výstup hodnocení rizikové analýzy Univerzity Bochum na základě zvolené metodiky je následující:

- Varianty STŘED a JIH tvoří obě trasy hlubokých tunelů převážně v tvrdé hornině.
- Zlomová pásma se očekávají ve všech variantách vedení trasy. Jejich přesný rozsah a orientace nejsou známy a proto nebyly v posouzení rizik konkrétně uvažovány.
- Varianta STŘED ale vede souběžně s patou svahu střešovické plošiny, kde se předpokládá jedno zlomové pásmo. Tím je mírně zvýhodněna varianta JIH.
- Počet traťových oblouků na trase je menší u varianty JIH než u varianty STŘED, t. tato varianta umožní plynulejší provoz trati. (Poznámka znalce: bod d) nebyl předmětem rizikové analýzy a je nevhodné tento aspekt, který nespadá do kategorie geotechnických podrobovat rizikové analýze).

Logika bodového hodnocení rizik Univerzity Bochum vede na definici tří tříd rizik (což je v souladu s doporučeným hodnocením ITA AITES) a sice: nízké riziko +10 až +30 bodů, střední riziko +10 až -10 bodů, vysoké riziko -10 až -30 bodů.

Varianty STŘED a JIH tak spadají do střední třídy rizika, definované rozsahem +10 až -10 bodů s téměř shodným hodnocením 6 (varianta STŘED) a 7 (Varianta JIH). Ve smyslu hodnocení rizikové analýzy je třeba konstatovat, že z celkem 30 hodnocených kritérií, je u celých 29 kritérií hodnocení trasy obou variant JIH i STŘED zcela identické. Rozdíl jeden bod je pouze u jediného kritéria a to „Ražba souběžně s patou svahu“. U varianty JIH je toto riziko označeno za nízké, hodnotou (+1), zatímco u varianty Střed jako střední riziko, hodnotou „0“.

Zde je třeba dále uvést, že Univerzita Bochum neměla k vypracování posudku kompletní podklady. Model ČGS ještě nebyl k dispozici a právě tento podklad zpřesňuje průběhy poruchových zón a materiálových rozhraní – Univerzita Bochum zlomová pásma očekává u obou ražených variant trasy, ale jejich přesný rozsah a orientace nebyly známy. Proto se tímto expertíza nezabývala – z toho nepřímo vyplývá, že v případě dostupnosti podkladu ČGS by zpřesnění počtu, průběhu a orientace poruchových zón mohlo přispět především u varianty JIH ke změně hodnocení.

Střední riziko jako výsledné hodnocení rizika pro obě varianty STŘED a JIH je u ražeb tunelů zcela obvyklé a v podstatě většinové. Z technického hlediska je zvladatelné obvyklými projektovými a technologickými prostředky a obecně pro ražbu tunelu nepředstavuje žádnou překážku.

Mírně horší hodnocení varianty STŘED o pouhý jeden bod, je založeno na předpokladu, že varianta STŘED prochází v blízkosti ÚVN poruchovým pásmem, zatímco varianta JIH nikoliv. Toto však bylo vyvráceno v podkladu ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA – ČGS, kde byly dokumentovány tektonické poruchy i pro variantu JIH, a to mimo jiné pod areálem Ústřední vojenské nemocnice. Tyto informace Univerzita Bochum neměla pro svůj posudek k dispozici.

Z podrobnějšího porovnání příčného řezu u HJ16 a řezu „km 6\_820 under hospital.pdf“ pro variantu JIH lze usoudit, že došlo k „odfiltrování“ schématu příčného řezu HJ16 (staničení varianty JIH v km 6,650) a jeho posunu západně na km 6,820. Rozdíl činí 170 metrů. K tomuto obrázku je přiložen obrázek "JIH-Střed staničení úseků", kde je vidět podle informací zprávy GTP varianty JIH první tektonická část od km 6,685 do km 6,720 jdoucí pod Ústřední vojenskou nemocnicí. Příčný řez HJ16 je veden ulicí U Vojenské nemocnice. Tedy jeho posunutím pod UVN a označením názvu obrázku kilometrů "6,820" došlo k absenci tektonických zlomů v tomto řezu v místě pod UVN a zůstal zlom jen v části pro variantu STŘED. V podélném profilu přitom tektonická porucha zaznamenána je, nicméně k interpretaci této skutečnosti v expertíze Univerzity Bochum nedošlo a proto se u varianty STŘED předpokládalo o 1 zlom více.

Další porovnání je provedeno pro obrázek 6\_km 5\_600 Saint Norbert church, tj. pro místo kostela Norbertov ve staničení varianty JIH cca km 5,600. Tento řez nelze porovnat s žádným z příčných profilů. Nejbližší příčný řez oblastí se nalézají na linii HJ16-PJ7 a je na staničení 6000 trasy jih (cca 400 m západně od kostela). Východně se nachází příčný řez přes zástavbu Ořechovky na staničení trasy jih cca 5000 (tedy cca 550 m východně od kostela Norbertov). To je již dle názoru znalce pro dané porovnání značná vzdálenost, vzhledem k poklesu terénní elevace od západu k východu.

Alternativním porovnáním podélného řezu pro variantu JIH, informací z vrtu PJ7 a z příčného řezu oblastí lze vyvodit: na výkresu pro numerický řez pod kostelem km 5,600 má litologický celek Kcp mocnost cca 6 m (v rámci šikmého úseku s nadmořskou výškou 308 – 314 m. n. m.) na podélném profilu varianty JIH má tento celek mocnost přibližně cca 9 m, třída pevnosti dle vrtu PJ7 činí R5, R6, na příčném řezu oblastí je uvedena třída R4. Litologický celek Kcj pod Kcp vykazuje cca mocnost 17 m (v rámci šikmého úseku s nadmořskou výškou 291-308 m.n.m.) na podélném profilu varianty JIH je tato mocnost cca 5 m, třída pevnosti Kcj dle vrtu PJ7 je R5, na příčném řezu oblastí R5/R4.

Uvedená skutečnost se projevila i v případě numerického modelování, které je rozebráno v samostatné podkapitole. Výsledné parametry s hloubkami a rámcovými-generelními sklony poklesových kotlin na následujícím Obrázku. Ten již není zcela aktuální, alespoň pro variantu JIH v prostoru Ústřední vojenské nemocnice.

			našeho posouzení, viz poznámky v textu.
Tramvajové depo Střešovice	STŘED, JIH	$S < 10 \text{ mm}$ $\eta < 1/800$	Středně mocné horninové nadloží, zanedbatelný vliv na povrch terénu
Kostel Sv. Norberta	JIH	$S < 10 \text{ mm}$ $\eta < 1/800$	Vysoké horninové nadloží, zanedbatelný vliv na povrch terénu
Evangelický kostel ve Střešovicích	JIH	$S < 10 \text{ mm}$ $\eta < 1/800$	Vysoké horninové nadloží, zanedbatelný vliv na povrch terénu
Teplárna Veleslavín	Všechny varianty	$S > 10 \text{ mm}$	Analýza fáze 1 poukazuje na nutnost provedení druhé fáze posouzení
Památkově chráněné budovy v oblasti Proboštského Dvora	HLOUBENÁ	$S > 10 \text{ mm}$	Sensitivní budovy s vysokým rizikem sedání v přímém sousedství opěrných zdí tunelu, nutné provedení fáze 2 posouzení
Buštěhradská ulice	SEVER	$S > 10 \text{ mm}$	Analýza fáze 1 poukazuje na nutnost provedení druhé fáze posouzení
Ulice Pod Hradbami, první budova v pásmu vlivu tunelu (km 4+285)	STŘED, JIH	$S > 10 \text{ mm}$ při vyšší ztrátě objemu	Analýza fáze 1 poukazuje na nutnost provedení druhé fáze posouzení
Ulice Pod Hradbami, první soukromý objekt (km 4+335)	STŘED, JIH	$S < 5 \text{ mm}$ $\eta < 1/800$	

Obr. 52: Výsledné parametry poklesových kotlin.



Objekt/budova	Ovlivněný variantou	Odhadované sedání ve volném terénu	Poznámka
Fyzikální ústav Akademie věd ČR	SEVER	$S < 10 \text{ mm}$ $\eta < 1/800$	Poznámka: vibrace z provozu tunelu nejsou do naší zprávy zahrnuty.
Vojenská fakultní nemocnice Praha	SEVER, STŘED, JIH	$S < 12 \text{ mm}$ $\eta < 1/800$	Vysoké horninové nadloží, zanedbatelný vliv na povrch terénu
Vodojem Bruska	HLOUBENÁ, SEVER	$S > 10 \text{ mm}$	Analýza fáze 1 poukazuje na nutnost provedení druhé fáze posouzení
Silniční tunel Blanka	STŘED, JIH	-	Poznámka: Není součástí

Obr. 52 (2. část): Výsledné parametry poklesových kotlin.

#### Podklad 4 - ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA-ČGS – (podklad [9]) – datováno 11/2020

Uvedený podklad představuje stěžejní a klíčový geologický podklad. Jde v podstatě o průzkum předběžný (orientační) pro fázi DÚR, který představuje defacto archivní rešerši doplněnou o 2 takticky umístěné vrty a dokumentaci odkryvů, přičemž detailnost a komplexita odpovídají náročnosti a významu projektu, pro který byl dokument zpracován.

Účelem bylo zhodnocení navržených variant trasy železničního propojení stanic Praha Dejvice a Praha-Veleslavín ve vztahu ke geologické stavbě zájmového území, a to mimo jiné na základě vytvořeného koncepčního 3D geologického modelu.

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA-ČGS zahrnuje vypracování 3 klíčových tabulek ve smyslu hodnocení očekávaného zastižení hornin v určité kubatuře na daném úseku tunelu (Tabulka 10 a 11 ve zprávě) a vyhodnocení rizik výskytu geologických fenoménů (Tabulka 12 ve zprávě). Tabulka 10 poukazuje na procentuální zastoupení jednotlivých litologických typů na úseku délky tunelové varianty, Tabulka 11 je defacto analogická, avšak litologické typy jsou vztaženy na předpokládaný objem rubaniny.

Pro nestranné posouzení vhodnosti variant je nutné především ověřit věrohodnost Tabulky 11. Je otázná, zdali například u objemu rubaniny v řevnických křemencích, tj. v relativně pevných horninách, je při dané úrovni znalosti podloží bez podobného průzkumu možné uvádět dané podíly s přesností na desetinu procenta (varianta STŘED 2,7% - 6490 m<sup>3</sup>, varianta JIH 1,5% - 3700 m<sup>3</sup>). Naopak, u objemu ražby v písčitých břidlicích letenských není i s uvážením nepřesnosti např. plus/mínus 2% pochyb, že výhodnější je varianta JIH (3700 m<sup>3</sup>, 1,5% celkového objemu rubaniny). U objemu rubaniny z prostoru tektonických zón jsou údaje nejednoznačné ze zřejmých důvodů složité interpretace tektonických poruch, avšak rámcové předpoklady jsou v daném smyslu shodné pro obě varianty. Popsané Tabulky 10 a 11 ve zprávě ČGS jsou zkompileovány do Tabulky 2 níže, a to pro ordovické

horniny (příportálový kvartér je v úseku stejné délky, stejně jako úsek ve skaleckých křemencích délky 50 m) a pouze pro 2 zájmové varianty STŘED a JIH.

Tabulka 2: Kompilace tabulky 10 a 11 ve zprávě ČGS.

Hornina	Značka	STŘED – délky úseků, kubatury, procenta z délky trasy v ordoviku (3182 m, 225 600 m <sup>3</sup> )				JIH – délky úseků, kubatury, procenta z délky trasy v ordoviku (3256 m, 231 280 m <sup>3</sup> )			
		Délka m	%	Kubatura m <sup>3</sup>	%	Délka m	%	Kubatura m <sup>3</sup>	%
Letenské břidlice (jíl)	<b>O-LT-(BP+D)</b> – GT10 (LtnP)	544	17,1	41 890	18,6	248	7,6	19 080	8,2
Letenské břidlice (písek)	<b>O-LT-BJ(č)</b> – GT10 (LtnJ)	1792	56,3	137 890	61,1	2315	71,1	178 080	77,0
Libeňské břidlice	<b>O-LN-BJ(č)</b> – GT11 (Ln)	265	8,3	20 350	9,0	172	5,3	13 240	5,7
Řevnické křemence	<b>O-LN-řK</b> – GT12 (LnR)	84	2,6	6 490	2,9	48	1,5	3 700	1,6
Dobrotivské břidlice	<b>O-D-BJ(č)</b> – GT13 (Od)	497	15,6	18 980	8,4	473	14,5	17 180	7,4
<b>Suma</b>		<b>3182</b>	<b>100</b>	<b>225 600</b>	<b>100</b>	<b>3256</b>	<b>100</b>	<b>231 280</b>	<b>100</b>

V Tabulce 2 jsou uvedeny celkové délky tunelu v ordovických horninách, celková kubatura ražby v ordovických horninách a procentuální zastoupení. Je takto připravena pro zhodnocení celkové náročnosti ražby vzhledem k délkám úseku v horninách určité pevnosti.

Tabulka 12 ze zprávy ČGS je zobrazena níže jako Tabulka 3, již s alternativním hodnocením znalce, které je uvedeno ve stati pod Tabulkou. **Obsahuje pravděpodobnosti daných geologických fenoménů v míře nežádoucího jevu.** Předně je nutné předeslat, že znalec si je vědom subjektivity hodnocení rizik při použití bodového systému, byť provedené odhady pocházejí od renomovaných expertů. Z toho výsledné rozdíly v řádu jednotek bodů nelze považovat za dogmatickou indicii vhodnosti tunelových variant. Toto stanovisko je podpořeno skutečností, že geologických fenoménů ovlivňujících jednotlivé varianty nového spojení stanic Praha-Dejvice a Praha-Veleslavín je v Tabulce 12 poměrně dost, celkem 18.

Tabulka 3: Hodnocení pravděpodobnosti výskytu negativního jevu, „geologického fenoménu“.

Hodnocený fenomén	Varianta STŘED	Varianta JIH
1. Agresivní podzemní voda	4 (4)	4 (4)
2. Nadměrné přítoky podzemní vody do tunelu	3 (3)	3 (3)
3. Dlouhodobé snížení hladiny podzemní vody drenážní funkcí tunelu	2 (2)	2 (2)
4. Přítomnost podmačených území nad dílem	2 (2)	2 (2)
5. Propojení vodních horizontů tunelem	2 (2)	2 (2)
6. Propojení vodních horizontů větrací šachtou	1 (1)	3 (2)
7. Rozložené horniny v poruchách	2 (2)	2 (2)

8. Rychlý a opakovaný střídavý výskyt měkkých a tvrdých hornin	3 (3)	3 (2)
9. Neočekávaný výskyt podzemních prostor nad tunelem	1 (1)	1 (1)
10. Poklesy povrchu terénu při ražbě podzemního díla	2 (3)	2 (2)
11. Nebezpečí kontaktu s neočekávanou tektonickou poruchou	4 (4)	4 (4)
12. Nízká mocnost únosné horniny nad tunelem	2 (2)	2 (2)
13. Nepříznivá orientace či poruch vůči orientaci tunelu	4 (3)	3 (3)
14. Výplň diskontinuit bude mít výrazně nižší smykovou pevnost	4 (3)	4 (3)
15. Délka trasy tunelu v nesoudržných kvarterních zeminách	2 (2)	2 (2)
16. Výskyt vysoce abrazivních (těžko rozpojitelých) hornin	3 (3)	2 (2)
17. Rychlejší průběh geodynamických procesů	1 (1)	1 (1)
18. Poškození ŽP v důsledku nehod nebo stavební činnosti	2 (2)	3 (2)
Součet	44 (43)	45 (41)
Údaje v závorce spadají do hodnocení v rámci zprávy ČGS.		

V některých případech se jedná o fenomény spíše inženýrskogeologické, některé lze jednoznačně hodnotit jako geotechnické. Dle názoru znalce jsou čistě geologické fenomény v položkách 1, 4, 7, 8 (9), 11, 12, 13, 14 (16), 17 - jsou to fenomény, které nejsou spolumlivňovány povahou stavby, technologií nebo okolní již vybudovanou infrastrukturou.

Dále je nutné poukázat, že některé položky jsou prakticky totožné, popřípadě je mezi nimi poměrně malý rozdíl nebo obsahují alespoň 1 společný dílčí aspekt - týká se to položek 7 a 14, dále pak položek 8 a 16. Úzce spolu navíc mohou za určitých podmínek souviset položky 3 a 5, respektive 6. Pravděpodobnost zastižení geologického fenoménu – nežádoucího jevu je definována na 5-ti bodové škále:

1 - vznik nebo projev nežádoucího geologického jevu (Pozn. znalce - zřejmě "fenoménu") je považován za nemožný, ale nelze je zcela vyloučit,

2 - vznik nebo projev nežádoucího geologického jevu (Pozn. znalce - zřejmě "fenoménu") je málo pravděpodobný,

3 - uskutečnění nebo neuskutečnění nežádoucího geologického jevu (Pozn. znalce - zřejmě "fenoménu") 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,

Pokud se převede text definic jednotlivých bodů škály na pravděpodobnost výskytu geologického jevu v procentech, poté hodnocení 1 bod implikuje pravděpodobnost minimální, znalec pro další úvahy interpretuje tuto pravděpodobnost hodnotou běžně používanou pro vyjádření prakticky nulové šance: vznik nebo projev jevu na 99,9% nebo 99% nenastane.

Hodnocení 2 body operuje s termínem malá pravděpodobnost - intuitivně lze interpretovat v řádu jednotek až prvních desítek procent, tedy odhadem 2 až 15 procent.

Hodnocení 3 body je jednoznačně v interpretaci 50/50. Mezi hodnocením 2 a 3 body je proto nespojitost, pokud 49% nebude považováno za malou pravděpodobnost.

Hodnocení 4 a 5 body jsou nejisté z hlediska pravděpodobnosti výskytu nežádoucího jevu *alespoň jednou*, tj. *jednou nebo vícekrát*. Lze nicméně předpokládat, že tato pravděpodobnost bude velká, intuitivně s přihlédnutím k určité symetrii přijaté interpretace znalec pracovní uvažuje 85 až 98% pro hodnocení 4 body.

Problém s hodnocením 5 bodů je totožný jako u hodnocení 4 body. Pokud je téměř jisté, vznik nastane *mnohokrát*, nejen *vícekrát*, potom pouze "vícekrát" je s ještě větší pravděpodobností, a znalec považuje pro třídu 5 pravděpodobnost vzniku nežádoucího geologického jevu *alespoň jednou*, tj. *jednou nebo vícekrát* za 100%. To v podstatě znamená, že takto lze hodnotit daný geologický fenomén jako s jistotou prokázaný pro danou variantu tunelu.

### **Hodnocení jednotlivých položek v Tabulce 3 týkající se rizika výskytu geologických fenoménů**

Znalec v aktuálním odstavci hodnotí jednotlivé položky čistě geologických fenoménů z Tabulky 12 s uvážením skutečnosti, že není soudním znalcem v oboru geologie.

**Položka 1. "Agresivní podzemní voda"** čistě geologickou a *pravděpodobnost výskytu tohoto geologického fenoménu v míře nežádoucího jevu* je odhadnuta s přihlédnutím k výše uvedeným úvahám dle názoru znalce naprosto správně. Agresivita vody je velmi závažnou skutečností a i v masivu ordoviku minimálně v oblastech porušených, fragmenotvaných hornin dojde (byť k dočasné a třeba jen z hlediska objemu přítoků nezávažné) interakci s podzemní vodou.

**Položka 2. "Nadměrné přítoky podzemní vody do tunelu"** je položka spíše na pomezí fenoménu geologického s inženýrskogeologického, protože již závisí na stavbě samotné (technologie, opatření proti přítokům). Znalec se na základě výskytu tektonických zón přiklání rovněž k *pravděpodobnosti výskytu tohoto geologického fenoménu v míře nežádoucího jevu* 3 pro obě varianty. Nutno doplnit podle podkladu ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA - ČGS, že jsou dokumentovány výtoky vody z prádelny ÚVN do vodovodní štol pod svahem, přítoky vody (interpretace znalce) s velkou pravděpodobností souvisí s tektonickými poruchami v místě ÚVN - tyto poruchy korespondují s mocnou křídovou zvodní na bázi pískovců. Výtoky souvisí s vodovodní štolou označenou III. - U Bahenského. Jedná se o 2-patrovou štolu, kde horní patro délky 133 m zasahuje pod severozápadní cíp ÚVN (více viz Nález).

**Položka 3 „Dlouhodobé snížení hladiny podzemní vody drenážní funkcí tunelu“.** Jestliže se nezahrne do této položky vliv větrací šachty, která jednoznačně pro variantu JIH protne horizonty křídové a ordovické (případně i zvodně kvartérní), potom je Položka 3 odhadnuta z hlediska *pravděpodobnosti výskytu tohoto geologického fenoménu v míře nežádoucího jevu* dle názoru znalce výstižně, Hodnocení 2 lze interpretovat jako průměr mezi 1 a 3, pokud v tomto ohledu panuje nejistota. V opačném případě, tj. pokud se vliv větrací šachty do Položky 3 zahrne, je z názoru nutný přechod na hodnotu 3 pro variantu JIH.

Pro tuto variantu JIH navíc větrací šachta dle podélného řezu 4-4' z podkladu "ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA - ČGS" protíná materiálová rozhraní ordoviku, spojené s výskytem tektonických zón, kde lze očekávat zvýšené přítoky v propustnější fragmentované hornině při propojení vodních horizontů nebo pouze vytvořením preferenčních cest pro přítok do tunelu po již vytvořené komunikační trase mezi svrchním horizontem v ordoviku.

**Položka 4. "Přítomnost podmáčených území nad dílem"** je čistě geologickou záležitostí a dle znalce je zhodnocena výstižně.

**Položka 5 "Propojení vodních horizontů tunelem"** je podobná položce 3 a je to položka inženýrskogeologická až geotechnická. Hodnocení znalce je proto totožné, tj. pokud se do tunelu počítá i větrací šachta (tj. tunel je chápán jako kompletní stavba včetně dílčích příslušenství), pro variantu JIH je výstižnější přechod do *pravděpodobnosti výskytu tohoto geologického fenoménu v míře nežádoucího jevu* hodnotou 3, dle přijaté interpretace hodnocení.

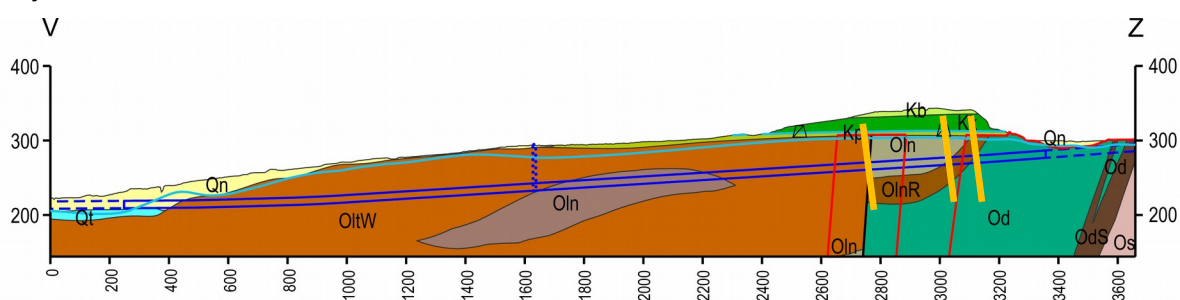
**Položku 6 "Propojení vodních horizontů větrací šachtou"** je z logiky plynoucí z popisu Položek 3 a 5 nutné hodnotit *pravděpodobnost výskytu tohoto geologického fenoménu*



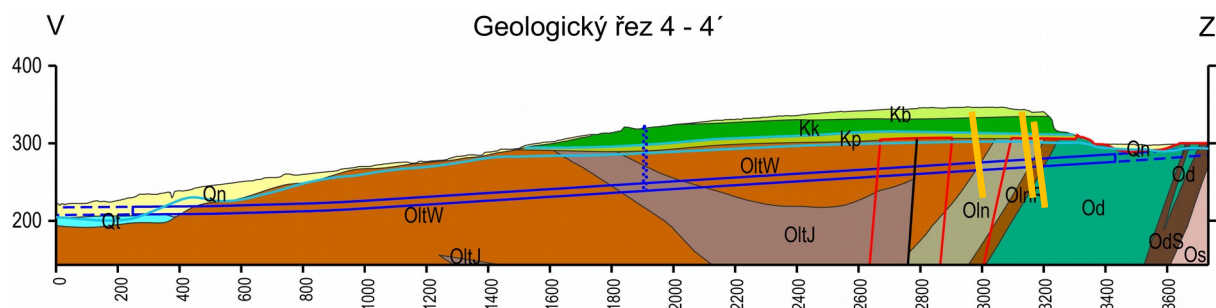
v míře nežádoucího jevu hodnotou 3 pro tunel JIH a to i přesto, že existují způsoby, jak provést daný průnik větrací šachty zvodněmi s co nejmenším rizikem.

**Položka 7 "Rozložená hornina v poruchách"** je geologickým fenoménem a dle názoru znalce je hodnocena výstižně.

**Položka 8 "Rychlý a opakovaný střídavý výskyt měkkých a tvrdých hornin"** je geologickým fenoménem a dle znalce by měly být hodnoty *pravděpodobnosti výskytu tohoto geologického fenoménu v míře nežádoucího jevu* posunuty zřejmě o +1 pro variantu JIH, respektive variantu STŘED. Teoreticky by však mělo být hodnocení pro obě tunelové varianty stejné – důvodem je porovnání podélných řezů (dílčí schémata S1 a S2): za zlomem se varianta JIH dostává do libeňských břidlic na délku 172 m a dále přechází do řevnických křemenců v délce 48 m; varianta STŘED má ekvivalentní úseky délek 265 m a 84 m. Z tohoto je dokonce vidět, že teoreticky by se dalo uvažovat o zrcadlovém obrazu rozdílu +1 bod mezi oběma variantami. Avšak z důvodu určitých poměrových nejistot (prozkoumanost v rámci DÚR) v délce těchto úzkých partií nicméně znalec hodnotí obě varianty stejně, i pro průběh varianty STŘED paralelně s materiálovým rozhraním možná dotčeným tektonickými jevy.



S1: Podélný řez pro variantu STŘED s vyznačením klíčových úseků pro položku 8.



S2: Podélný řez pro variantu JIH s vyznačením klíčových úseků pro položku 8.

**Položka 9 "Neočekávaný výskyt podzemních prostor pod a nad tunelem"** je dle názoru znalce hodnocena výstižně, s ohledem na podrobnou rešerši stok, vodovodních štol a pramenů a jejich jímacích objektů.

**Položka 10 "Poklesy povrchu terénu při ražbě podzemního díla"** se s největší pravděpodobností vyskytnou pro obě varianty JIH i STŘED. Pokud by za nežádoucí jev bylo považováno jakékoli sednutí, potom hodnocení nižší než 5, natož hodnocení rozdílné pro obě varianty proto vzhledem k Položce 10 i definici jednotlivých bodování by nedávalo zcela dobrý smysl. Poklesy terénu s přihlédnutím k šetrné technologii ražby budou sice relativně nižší, než u alternativních způsobů ražby, nicméně se budou vyskytovat prakticky po celou dobu ražby (tedy jednalo by se principiálně o *pravděpodobnost výskytu tohoto geologického fenoménu v míře nežádoucího jevu* hodnocenou 5 pro všechny, nejen obě varianty JIH a STŘED). A to i přesto, že je za výjimečně dobrých podmínek možné dosáhnout poklesů minimálních až téměř nulových či neměřitelných. Uvažuje se však primárně, že vypočtené a z intuice bezproblémové hloubky a průběhy poklesových kotlin nejsou nežádoucím jevem. Otázkou je rozdíl v poklesových kotlinách pro obě tunelové varianty. Z předchozích statí vyplývá, že hrubou extrapolací hodnot z poklesových kotlin pro obdobné podmínky lze počítat bez opatření a výšky nadloží kolem 40 m (varianta STŘED) s hodnotou poklesů ve středu maximálně 15, výjimečně 20 mm) a nerovnoměrné poklesy si zaslouží ověření své bezproblémovosti. Poklesové kotliny jejich charakteristiky jsou součástí podrobného pojednání v kapitole Nález, konkrétní rozbor pro dané okrajové podmínky obou ražených tunelových variant ve statí Posudek. Poklesy terénu mohou být zvýšeny případnými poklesy po zvýšení efektivních napětí v kvartérních sedimentech, pokud tyto sedimenty budou stavbou odvodněny. O tomto fenoménu je více popsáno v samostatné podkapitole. Zatím v dané fázi průzkumů (ve fázi DÚR) nejsou výmluvnější náznaky, že průběh poklesových kotlin tunelové varianty STŘED. Proto vzhledem k výše uvedenému znalec hodnotí tuto položku jako 2 pro obě tunelové varianty.

**Položka 11 "Nebezpečí kontaktu s neočekávanou tektonickou poruchou"** je fenoménem geologickým a dle názoru znalce je tato položka hodnocena výstižně, možná stojí za zvážení *pravděpodobnost výskytu tohoto geologického fenoménu v míře nežádoucího jevu* 3, pokud se v podstatě jedná o kontakt "náhodný". Nicméně je nutné respektovat stav prozkoumanosti, která je pro danou úroveň dokumentace poměrně značná, a lze tak provádět alespoň rámcové předpoklady o výskytu dalších, před podrobným průzkumem dosud nezmapovaných poruch.

**Položka 12 "Nízká mocnost únosné horniny nad tunelem"** je fenoménem geologickým a dle znalce je hodnocena výstižně. Zařazení porovnávaných variant do hodnocení *pravděpodobnost výskytu tohoto geologického fenoménu v míře nežádoucího jevu 2* s uvažováním HLOUBENÉ varianty (hodnota 4) a varianty SEVER (hodnota 3) respektuje rámcové a průměrné výšky nadloží z geologických řezů.

**Položka 13 "Nepříznivá orientace diskontinuit či poruch vůči orientaci tunelu"** je hodnocena výstižně, avšak vzhledem (1) k umístění tunelu STŘED poblíž svahu, (2) výšce nadloží a (3) průběhu varianty tunelu STŘED prakticky paralelně s poruchou a místy prakticky uvnitř ní znalec připouští zvýšení hodnocení *pravděpodobnost výskytu tohoto geologického fenoménu v míře nežádoucího jevu* na 4.

**Položka 14. "Výplň diskontinuit bude mít výrazně nižší smykovou pevnost"** je v podstatě příbuzná položce 7. Znalec soudí nepřímo na základě textu podkladu ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA - ČGS, že pokud lze ve většině tektonických poruch předpokládat fragmentovanou horninu nebo větší hustotu diskontinuit s vyhlazenými plochami, potom relevantní je hodnocení *pravděpodobnost výskytu tohoto geologického fenoménu v míře nežádoucího jevu 4* pro obě varianty.

**Položka 15 "Délka trasy v nesoudržných kvartérních zeminách"** jakožto fenomén, u kterého by mělo být hodnocena pravděpodobnost výskytu, nedává kvůli koncepci položky dobrý smysl, protože varianty jsou v příportálových úsecích, kde lze tyto zeminy očekávat, jsou prakticky totožné. Nabízí se logičtější formulace "Přítomnost nesoudržných zemin v trase tunelu". Původní znění "Délka trasy v nesoudržných kvartérních zeminách" lépe koresponduje se zatříděním podle závažnosti geologického fenoménu (např. hodnocení 1 - geotechnický aspekt zcela nezávažný pro náročnost ražby, hodnocení 2 - geotechnický aspekt mírně závažný, apod.). Pokud se přijme tato interpretace, potom hodnocení *pravděpodobnost výskytu tohoto geologického fenoménu v míře nežádoucího jevu 2* je zřejmě výstižná.

**Položka 16: „Výskyt vysoce abrazivních (těžko rozpojitelých) hornin“** by se dle znalce z logiky hodnocení rizik a podle Tabulky 11 (podíl ražby v křemencích je pro obě varianty minimální, s rozdílem 1,2%) nabízelo k uvažování zvýšení pro tento geologický fenomén na hodnotu 3 pro obě varianty. Avšak z důvodu složité stavby v příportálových úsecích u Veleslavína je ve zpracovávaném posudku přijato zatřídění dle Tabulky 12.

**Položka 17 "Rychlejší průběh geodynamických procesů"** je čistě geologickým fenoménem, který je dle znalce zařazen výstižně, při interpretaci coby riziko zrychlení těchto geodynamických procesů.

**Položka 18 "Poškození životního prostředí v důsledku nehod nebo stavební činnosti"** není geologickým fenoménem, dokonce ani fenoménem geotechnickým. Jestliže by došlo k dotčení kvartérních zvodní a křídového kolektoru a jejich propojení, včetně dotčení zvodní v ordovických horninách ražbou větrací šachty pro variantu JIH, potom poškození životního prostředí z důvodu hrozby většího sucha pro souvislejší vegetační pokryv předpokládá pro daný stav prozkoumanosti hodnocení *pravděpodobnosti výskytu tohoto geologického fenoménu v míře nežádoucího jevu* 3 pro variantu JIH.

**Z Tabulky 7 vyplývá, že porovnávací hodnocení rizik výskytu geologických fenoménů vychází prakticky shodně pro obě varianty (rozdíl 1 bod, 44 bodů pro variantu STŘED, 45 bodů pro JIH). Pokud se přijme filozofie, že každé hodnocení je subjektivní a rovněž nejistoty v posuzovaných aspektech obou variant, potom jednoznačná výhodnost jedné varianty před druhou není prokázána. Z rozmezí minima 18-ti a maxima 90-ti bodů přijatého bodování 18 fenoménů vyplývá, že tunelové varianty jsou zhruba ve středním riziku, a jsou v rámci dané prozkoumanosti ve fázi DÚR s uvažováním nejistot zatím zcela srovnatelné a rovnocenné.**

**Rozdíl hodnocení geologických fenoménů pro položku 8 není zcela výstižný a mírně uměle zvýhodňuje variantu JIH a zároveň se u Položek 3 a 5 neuvažuje vliv větrací šachty, pro kterou je z hlediska ovlivnění vodních horizontů samostatná položka JIH. V současné době nicméně není zcela jisté, jak náročné by bylo utěsnění průchodu větrací šachty při výběru varianty JIH.**

Ve smyslu přidružených inženýrskogeologických a geotechnických aspektů je pro obě tunelové varianty nutné alespoň okrajově řešit:

- a) Vedení tunelu v nesoudržných horninách v příportálových úsecích
- b) Vedení tunelu v bezprostřední blízkosti relativně vysokých komínů v elektrárně Veleslavín a v areálu ÚVN
- c) Umístění větrací šachty obou variant vzhledem k zastižené geologii
- d) Ovlivnění blízkých tunelových staveb ražbou vybrané varianty tunelu železničního spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín
- e) Vedení tunelu případně v blízkosti historických (v současnosti využívaných) vodovodních štol
- f) Vedení tunelu v blízkosti tepelných čerpadel

## Vyhodnocení tunelových variant tunelu JIH a STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín z hlediska ražby v horninách určité pevnosti

Pokud dojde k výskytu tvrdých abrazivních hornin v oblasti tunelu, potom opotřebení nástrojů bude rychlejší a postup ražby pomalejší. Pokud nicméně bude tvrdá hornina kolem tunelu v nezanedbatelném úseku a nadloží této horniny nad korunou tunelu bude dostatečné, tlaky na tunelové ostění, konvergence i poklesy terénu budou menší. Platí zároveň i inverze tohoto tvrzení. Na následujících řádcích je proto provedena jednoduchá analýza obou tunelových variant – vážená bilance úseků ražby v hornině dané pevnosti.

Z hlediska pevnosti hornin v tlaku lze s určitým koeficientem korelace podle typu horniny vztáhnout pevnost v prostém tlaku a abrazivitu. Nyní zjednodušeně předpokládáme, že četnost tříd pevnosti hornin s ohledem na přítomnost poruch a relativně rychlých přechodů mezi litologickými celky je vyrovnaná (rovněž při nejistotě plynoucí z rozptylů pevností i v rámci vzorků horniny se stejným stupněm zvětrání). Potom dle Tabulky 8 podkladu ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA – ČGS lze převzít následující intervaly pevnosti v prostém tlaku a třídy horniny:

Tabulka 4: Průměrné pevnosti hornin s přihlédnutím ke značnému rozptylu.

Geotyp	Interval pevnosti v tlaku [MPa]	Třída pevnosti
<b>O-LT-(BP+D)</b> – GT10 (LtnP) <b>O-LT-BJ(č)</b> – GT10 (LtnJ)	6 – 23 (průměr 14,5)	R5/R4 (průměr R4)
<b>O-LN-BJ(č)</b> – GT11 (Ln)	4 – 9 (6,5)	R5
<b>O-D-BJ(č)</b> – GT13 (Od)	3,5 – 7 (5,3)	R5/R4 (R5)
<b>O-LN-řK</b> – GT12 (LnR)	17,5 – 57,5 (37,5)	R4/R2 (R3)
Poslední položka zahrnuje i zkoušky skaleckých křemenců, tyto jsou nicméně u portálu a minoritní, navíc stejné mocnosti.		

Znalec předpokládá, že výsledky nebyly ovlivněny rychlostí zkoušek, respektive že případný vliv rychlosti zatěžování je shodný pro všechny třídy horniny. Toto zvláště pro horniny třídy R6 až R5 v porovnání s testy hornin vyšších pevnostních tříd nemusí platit.

Dále se přijala úvaha, že hodnoty respektují zhruba normální rozdělení pravděpodobnosti výskytu a výsledky pevnosti jsou víceméně rovnoměrně rozděleny a jejich počet je dostatečný. Potom s přihlédnutím k Tabulce 2 se provede součet součinů délek úseků  $d_i$  a průměrné pevnosti pro každou z tunelových variant  $R_i$ . Obecně lze pro výsledný součet psát:

$$S = \sum_{i=1}^5 R_i d_i$$



Pro variantu STŘED a JIH lze postupně psát

$$S_{STŘED} = 544 \text{ m} * 14,5 \text{ MPa} + 1792 \text{ m} * 14,5 \text{ MPa} + 265 \text{ m} * 6,5 \text{ MPa} + 84 \text{ m} * 5,3 \text{ MPa} + 497 \text{ m} * 37,5 \text{ MPa} = 54677 \text{ MN}$$

$$S_{JIH} = 248 \text{ m} * 14,5 \text{ MPa} + 2315 \text{ m} * 14,5 \text{ MPa} + 172 \text{ m} * 6,5 \text{ MPa} + 48 \text{ m} * 5,3 \text{ MPa} + 473 \text{ m} * 37,5 \text{ MPa} = 56273 \text{ MN}$$

Uvedené hodnoty dokládají, že varianta JIH je náročnější z hlediska celkové pracnosti ražby a tím i nepřímo míry/množství opotřebení řezných nástrojů.

## Hodnocení geotechnických rizik – rizik výskytu geotechnického jevu u variant tunelu JIH a STŘED železničního tunelového spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín

Pro zhodnocení pravděpodobnosti (rizika) výskytu geotechnického jevu je nejprve nutný jejich výčet, přičemž některé geotechnické jevy jsou shodné s těmi, které jsou v Tabulce 3 prezentovány jako geologické: pro ražené varianty metodou TBM v daném horninovém prostředí jsou relevantní následující, dále uvedené v Tabulce 5:

- a) Nadměrné přítoky podzemní vody do výrubu,
- b) Změna hydrostatických poměrů a hladiny podzemní vody drenážní funkcí tunelu,
- c) Nadměrné hydrostatické tlaky působící na razicí stroj nebo tunelové ostění,
- d) Anizotropie a nesymetrie horizontálních napětí,
- e) Rychlá změna orientace napjatosti v masivu v blízkosti tektonických poruch,
- f) Rychlá změna velikosti napjatosti v masivu v blízkosti horninových rozhraní s výrazně odlišnou litologií,
- g) Výskyt vysoce abrazivních, těžko rozpojitelých hornin
- h) Poklesy povrchu terénu bezprostředně po ražbě
- i) Poklesy povrchu terénu ve střednědobém či dlouhodobém horizontu (vlivem dotvarování hornin)
- j) Vedení tunelu v nesoudržných zeminách nebo horninách v příportálových úsecích
- k) Interakce větrací šachty a podzemní vody ve smyslu propojení zvodní
- l) Interakce tunelu a relativně vysokých komínů v areálu elektrárny Veleslavín a Ústřední vojenské nemocnice

- m) Dotčení stávajících podzemních staveb novostavbou raženého tunelu železničního spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín
- n) Dotčení vrtů pro tepelná čerpadla ražbou tunelu
- o) Dotčení vodovodních štol ražbou tunelu
- p) Přenos citelných vibrací podloží až k povrchové zástavbě při železničním provozu

V následující Tabulce 5 je uvedeno hodnocení (odhad znalce při znalosti okrajových podmínek ve fázi DÚR) pravděpodobnosti výskytu negativního geotechnického aspektu, který způsobí závažnou komplikaci ražby (mající za následek přeneseně nadměrné náklady, velké časové prodlevy, nadměrné opotřebení řezných kotoučů, změnu technologie, dlouhodobý vliv na životní prostředí, apod.). Je zvolena škála 1 až 10, přičemž 1 je prakticky nulová pravděpodobnost výskytu negativního jevu, 10 značí téměř jistý negativní jev. Znalec z důvodu neznalosti okrajových podmínek (cena variant, náročnost opatření, apod.) neprováděl přímo analýzu rizik.

Tabulka 5: Hodnocení pravděpodobnosti výskytu negativního geotechnického aspektu.

Hodnocený geotechnický aspekt	Varianta STŘED	Varianta JIH
1. Nadměrné přítoky podzemní vody do výrubu	2	6
2. Změna hydrostatických poměrů a hladiny podzemní vody drenážní funkcí tunelu	3	3
3. Nadměrné hydrostatické tlaky působící na razicí stroj nebo tunelové ostění	3	3
4. Anizotropie a nesymetrie horizontálních napětí	5	3
5. Rychlá změna orientace napjatosti v masivu v blízkosti tektonických poruch	4	4
6. Rychlá změna velikosti napjatosti v masivu v blízkosti horninových rozhraní s výrazně odlišnou litologií	5	4
7. Výskyt vysoce abrazivních, těžko rozpojitelých hornin	8	8
8. Poklesy povrchu terénu bezprostředně po ražbě	3	2
9. Poklesy povrchu terénu ve střednědobém či dlouhodobém horizontu (vlivem dotvarování hornin)	1	1
10. Vedení tunelu v nesoudržných zeminách nebo horninách v příportálových úsecích	3	3
11. Interakce větrací šachty a podzemní vody ve smyslu propojení zvodní	2	5
12. Závažná interakce tunelu a relativně vysokých komínů v areálu elektrárny Veleslavín a Ústřední vojenské nemocnice.	2	2
13. Dotčení stávajících podzemních staveb novostavbou raženého tunelu železničního	4	4

spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín		
14. Dotčení vrtů pro tepelná čerpadla ražbou tunelu	1	1
15. Dotčení vodovodních štol ražbou tunelu	2	1
16. Přenos citelných vibrací podloží až k povrchové zástavbě při železničním provozu	1	1
Součet	49	51

## Závěrečné hodnocení

Z provedených šetření vyplývá, že varianty jsou v daném stupni prozkoumanosti a dané fázi projektu DÚR rovnocenné a srovnatelné. Znalec konstatuje, že všechna hodnocení jsou zatížena velkou mírou subjektivity a nejistot, a že bodové rozdíly nepovažuje možné použít jako argument pro upřednostnění té či oné varianty. Pro přehlednost je uvedena Tabulka 6 se souhrnem všech hodnocení.

Další průzkum musí být částečně zaměřen na aspekty s větší mírou nejistot. Z geotechnického hlediska se to týká především (1) in-situ napjatosti v neporušeném masivu a v tektonicky porušených horninách, (2) stanovení pevnosti horninového masivu jako celku, především v tektonických oblastech (použití kritéria např. Hoek-Brown), (4) stanovení obálky pevnosti hornin.

V přílohové části tohoto posudku je přibližný a hrubý rozbor jednotlivých variant ve smyslu dotčení území o různé zastavěnosti, včetně alternativního vedení trasy pro porovnání.

Tabulka 6: souhrn provedených hodnocení

	STŘED	JIH
Hodnocení dle Univerzity Bochum	6	7
Reinterpretace hodnocení Univerzity Bochum znalcem	7	7
Hodnocení znalcem uváděných geotechnických kritérií	49	51
Hodnocení geologických fenoménů dle České geologické služby	43	41
Reinterpretace hodnocení dle České geologické služby	44	45

# Odpověď na znalecké otázky

Úkolem znalce bylo splnit cíl posudku zodpovězením následujících znaleckých otázek:

1) Byla metodika expertízy provedená Univerzitou Bochum pro zadaný účel realizována podle dostupných technických znalostí a postupů?

---

2) Byly při expertíze Univerzity Bochum použita všechna zásadní hodnotící kritéria, která by jednoznačně umožnila kvalifikovaným způsobem porovnávat jednotlivé trasy tunelu a jednoznačně identifikovat optimální trasu tunelu v předmětném území?

---

3) Byly vstupy pro expertízu Univerzity Bochum, z hlediska zadaných cílů a očekávaných výstupů, s ohledem na typ a kvalitu (spolehlivost) podkladů, pro zadaný cíl dostatečné? Pokud nikoliv, tak proč?

---

4) Zahrnovaly tyto vstupy všechny důležité faktory, které jsou v daném území nezbytné pro hodnocení optimálního výběru trasy? Pokud nikoliv, které významné faktory chyběly a proč?

---

5) Jaký je kvalitativní rozdíl mezi informacemi o geologickém prostředí v potenciálních trasách tunelů, které Univerzita Bochum dostala jako podklad pro svou expertízu a v modelu ČGS, (který byl zpracován dodatečně a Univerzita Bochum ho neměla pro svou expertízu k dispozici)?

---

6) Jaký význam pro celkové hodnocení závěrečné hodnocení expertízy Univerzity Bochum měla skutečnost, že výsledky tohoto geologického modelu ČGS pro ni nemohly být použity?

---

7) Je možné na základě rizikové analýzy s kvalitativním i podklady, která Univerzita Bochum měla k jejímu provedení k dispozici, jednoznačně dávat preference trase JIH, nebo trase STŘED?

---

8) Jaké riziko představují v územním řízení vrty pro tepelná čerpadla trase tunelu?

---

9) Jaké riziko představují při ražbách tunelů vertikální průnik izolátorem mezi dvěma horizonty podzemní vody?

---

10) Jaké riziko představuje při ražbách tunelů, možnost náklonu vysokého objektu (komína) v oblasti ÚVN při jeho podchodu tunelovou troubou?

---

11) Jaké jsou další případné zdroje rizik ve variantách tunelové trasy JIH a STŘED?

---

12) Jaké je porovnání vlivu tunelových variant JIH a STŘED na nadzemní zástavbu, poklesy terénu, životní prostředí a hygienické podmínky?

---

13) Jsou výsledky expertizy Univerzity Bochum u veřejnosti a u orgánů veřejné správy prezentovány SŽDC věrohodně s cílem upřednostnit jednu z rozpracovaných tras, nebo jsou prezentovány tendenčně s cílem upřednostnit trasu JIH?

---

#### **OTÁZKA:**

1) Byla metodika expertízy provedená Univerzitou Bochum pro zadaný účel realizována podle dostupných technických znalostí a postupů?

#### **ODPOVĚĎ:**

**Metodika expertizy Univerzity Bochum byla provedena pod vedením světově uznávaných expertů v tunelářském oboru, kteří jsou svým intenzivním odborným působením seznamováni s nejnovějšími technickými znalostmi a postupy. Metodika zhodnocení rizik se řídí doporučeními světové tunelářské asociace ITA-AITES.**

---

#### **OTÁZKA:**

2) Byly při expertíze Univerzity Bochum použity všechny zásadní hodnotící kritéria, která by jednoznačně umožnila kvalifikovaným způsobem porovnávat jednotlivé trasy tunelu a jednoznačně identifikovat optimální trasu tunelu v předmětném území?

#### **ODPOVĚĎ:**

**Pokud jde o výčet hodnotících kritérií použitých v rizikových analýzách, potom byla použita všechna klíčová hodnotící kritéria, která se váží k projektované stavby ražené pomocí EPB-TBM. Tato kritéria umožní kvalifikovaným způsobem porovnávat jednotlivé trasy tunelu, avšak jednoznačná identifikace optimální trasy v předmětném území není možná, alespoň pro daný stupeň prozkoumanosti území. Důvodem je relativně málo průzkumných děl v bezprostřední blízkosti porovnávaných tunelových**



variant, které vedou z hlediska geneze ve stejném horninovém prostředí, avšak s různou mírou vlivu geologických, inženýrskogeologických a geotechnických fenoménů. S tím souvisí vysoká míra nejistot týkající se místních rozdílností v geotechnických aspektech ražby – tunelové varianty JIH a STŘED probíhají v podstatném úseku své trasy při rozdílných výškách nadloží, v rozdílných vzdálenostech od líce skalního masivu a v rozdílných vzdálenostech od dílčích tektonických prokluzů nebo materiálových rozhraní. Toto v podstatě potvrzuje výsledek hodnocení rizika Univerzity Bochum, kdy rozdíl v hodnocení pro obě varianty činí 1 bod.

---

#### **OTÁZKA:**

3) Byly vstupy pro expertízu Bochum, z hlediska zadaných cílů a očekávaných výstupů, s ohledem na typ a kvalitu (spolehlivost) podkladů, pro zadaný cíl dostatečné? Pokud nikoliv, tak proč?

#### **ODPOVĚĎ:**

Vstupy pro expertízu Univerzity Bochum nebyly z hlediska zadaných cílů a očekávaných výstupů dostatečné. Především nebyl k dispozici klíčový dokument – **ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA – ČGS ČGS 3D** prostorový geologický model území, který byl dokončen až po odevzdání znaleckého posouzení Univerzity Bochum (viz podklad [4]), kde je uvedeno zpřesnění ve smyslu:

a) tektoniky v dané oblasti, konkrétně lokalizace hlavních zlomových struktur a materiálových rozhraní s tektonickými prokluzy v brachysynklinálním ohybu masivu, dále též předpoklad orientace posunů na těchto strukturách,

b) vedení vodovodních štol a historických i současných jímacích objektů podzemní vody, včetně popisu pramenního systému, zpřesnění hydrogeologických poměrů,

c) pojednání o vybudovaných tepelných čerpadlech, respektive vrtech vyhloubených pro tyto účely,

d) délky úseků obou variant trasy v jednotlivých litologických formacích,

**Dále jsou v podkladu ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA – ČGS vyhodnoceny pravděpodobnosti výskytu geologických fenoménů – negativních jevů významně ovlivňujících průběh ražby.**

---

**OTÁZKA:**

4) Zahrnovaly tyto vstupy všechny důležité faktory, které jsou v daném území nezbytné pro hodnocení optimálního výběru trasy? Pokud nikoliv, které významné faktory chyběly a proč?

**ODPOVĚĎ:**

Odpověď přímo navazuje na odpověď na Otázku 3. Vstupy pro expertízu Univerzity Bochum nebyly dostatečné, protože nebyla v podkladech dostatečně zdůrazněna informace především o tektonické struktuře masivu, zejména pro tunelovou variantu JIH.

---

**OTÁZKA:**

5) Jaký je kvalitativní rozdíl mezi informacemi o geologickém prostředí v potenciálních trasách tunelů, které Univerzita Bochum dostala jako podklad pro svou expertízu a v modelu ČGS, (který byl zpracován dodatečně a Univerzita Bochum ho neměla pro svou expertízu k dispozici)?

**ODPOVĚĎ:**

Model ČGS je založen na 3D zpracování rozsáhlé rešerše skoro 500 průzkumných děl a archivních geologických profilů a odkryvů, které jsou navíc doplněny o 2 poměrně hluboké vrty HJ15 a HJ16. Zabývá se podrobně nejen skladbou a tektonickým porušením masivu, ale rovněž historickými i současnými podzemními objekty – vodovodními štolami, tepelnými čerpadly. Tento rozsah je možné hodnotit vzhledem ke složitosti pražského paleozoika/mezozoika jako bezprecedentní i obecně, nejen coby podklad v rámci DÚR pro porovnávání tunelové varianty JIH a STŘED.

---

**OTÁZKA:**

6) Jaký význam pro celkové hodnocení závěrečné hodnocení expertízy Univerzity Bochum měla skutečnost, že výsledky tohoto geologického modelu ČGS pro ni nemohly být použity?

**ODPOVĚĎ:**

**Znalec nemůže předjímat, jak by Univerzita Bochum hodnotila z hlediska rizika obě varianty, pokud by měla k dispozici podklad ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA – ČGS.**

Na základě řezu 6-6' je patrné, že větrací šachta na trase JIH prochází významnou, i když nepřilíš mocnou křídovou zvodní. Navíc se v místě vedení šachty nachází materiálové rozhraní (v geologickém příčném řezu, který Univerzita Bochum použila pro numerickou analýzu, tato skutečnost nebyla), kde mohou existovat preferenční cesty pro proudění vody v tektonických prokluzech s výskytem fragmentované horniny nebo horniny s velkou hustotou diskontinuit. Uvedené riziko se vztahuje rovněž na vedení varianty JIH v poruchové zóně pod a obecně v blízkosti Ústřední vojenské nemocnice. Zde se nalézají tektonické pásma a dokonce styk dvou tektonických pásem, které již dnes ovlivňuje vodní režim v daném okolí. Tyto poruchové zóny byly již dotčeny ražbou tunelu pražského metra v úseku V. A. Přestože existují způsoby, jak tyto geotechnické problémy efektivně řešit, není možné se s dostatečnou jistotou předeslat, jak se bude masiv chovat sice v podobné oblasti, avšak v jiném konkrétním místě, při jiné orientaci tunelu vůči poruše a za přítomnosti křídové zvodně. Problematicnost vodního režimu v prostoru Ústřední vojenské nemocnice je potvrzena rovněž výrony vody v prádelně nemocničního objektu.

Propojení křídové a ordovické zvodně by proto mělo být hodnoceno pro variantu JIH symbolem – (1), pokud neexistuje v daném hodnocení mírnější přechod mezi rizikem středním a vysokým.

---

**OTÁZKA:**

7) Je s ohledem na kvalitu geologických vstupů a geotechnických parametrů možné považovat výsledky matematického modelování sedání v zadaných profilech trasy JIH a STŘED za spolehlivé a hodnověrné z hlediska posuzování geotechnických rizik obou variant?

**ODPOVĚĎ:**

**Geologické podklady na trase JIH nelze pokládat za zcela hodnověrné z důvodu absence materiálového rozhraní pod objektem Ústřední vojenské nemocnice.**

---

**OTÁZKA:**

8) Je možné na základě provedené rizikové analýzy a podkladů kvalitativní povahy, které Univerzita Bochum měla k jejímu provedení k dispozici, jednoznačně dávat preference trase JIH, nebo trase STŘED?

**ODPOVĚĎ:**

Z odpovědí na výše položené znalecké otázky vyplývá, že nelze v daném stádiu prozkoumanosti území v místě vedení tunelů ještě před podrobným inženýrskogeologickým průzkumem jednoznačně dávat preference té či oné variantě.

Z dalších informací o tunelových variantách JIH a STŘED vyplývá, že souhrnně, tj. se zohledněním všech posuzovaných kritérií, geologických, inženýrskogeologických a geotechnických fenoménů vyplývá, že obě varianty jsou z celkově ve smyslu citovaných fenoménů rovnocenné a srovnatelné, spadají do stejné úrovně rizika. Toto stanovisko mimo jiné vyplývá z:

- a) bodování, které provedla Univerzita Bochum,
- b) bodování, které provedla Česká geologická služba,
- c) bodování znalcem uvedených geotechnických kritérií,
- d) znalcem provedené bodování „geologických fenoménů“, tj. pravděpodobnosti výskytu negativního jevu tak, jak je v Tabulce 12 definuje Česká geologická služba,
- e) znalcem reinterpretované posouzení rizik dle Tabulky 4 v posudku Univerzity Bochum.

Tabulka se souhrnným bodováním je uvedena výše.

---

**OTÁZKA:**

9) Jaké riziko představují v územním řízení vrtů pro tepelná čerpadla v trase tunelu?

**ODPOVĚĎ:**

Pokud se otázka týká pouze 4 vrtů pro tepelná čerpadla hloubky 127 m ve Střešovicích, parcela p. č. 1138/1 potom tunelové varianty JIH a STŘED jsou půdorysně vzdáleny nejméně 250 m od daných vrtů a funkci tepelných čerpadel neovlivní.

---

**OTÁZKA:**

10) Jaké riziko představují při ražbách tunelů vertikální průnik izolátorem mezi dvěma horizonty podzemní vody?

**ODPOVĚĎ:**

Pro porovnávání tunelové varianty STŘED a JIH připadají teoreticky v úvahu 3 zvodně – horizonty podzemní vody: 1) v kvartérním pokryvu, 2) na bázi křídových korycanských pískovců nad izolátorem peruckých jílovců, 3) v ordovických břidlicích a drobách, prakticky v oblastech poruch horniny daných tektonikou (zlomy, popřípadě namáháním na rozhraní litologických celků v brachysynklinálním ohybu). Relativně nejrizikovější stav nastane pro variantu JIH, jestliže se spojí významná zvodně křídová s tektonickou poruchou vyplněnou rozpukanou horninou. To může představovat významný zdroj přítoků do raženého tunelu, jestliže tento bude veden v bezprostřední blízkosti takové poruchy.

Nicméně lze v geotechnické praxi nalézt stavby, které ovlivnily výše popsaným způsobem vodní horizonty a v blízkosti šachty navíc probíhá materiálové rozhraní s možnou fragmentací hornin, proto pro danou fázi prozkoumanosti v rámci zpracování DÚR hodnotím dané riziko pro variantu JIH oproti variantě STŘED jako nezanedbatelné.

---

**OTÁZKA:**

11) Jaké riziko představuje při ražbách tunelů, možnost náklonu vysokého objektu (komína) v oblasti ÚVN při jeho podchodu tunelovou troubou?

**ODPOVĚĎ:**

Hlavním rizikem je zde nerovnoměrné sednutí povrchu terénu. Vzhledem k mocnosti nadloží a zastižené geologii se předpokládá hloubka poklesové kotliny v řádu jednotek mm, v extrémním případě do 10 mm. S přihlédnutím ke skutečnosti, že rozsah poklesové kotliny je v desítkách metrů, nerovnoměrné sedání bude zanedbatelné a posun komínu ve vrcholu při výšce kolem 60 m v řádu centimetrů. Riziko je proto relativně malé, avšak pro jeho další eliminaci bude muset být komín geodeticky sledován.

---



**OTÁZKA:**

11) Jaké jsou další případné zdroje rizik ve variantách tunelové trasy JIH a STŘED?

**ODPOVĚĎ:**

Pro obě varianty JIH a STŘED je potenciálním zdrojem rizik průchod tunelu tektonickým zlomem, popřípadě rozvolněnými zónami s tektonickými prokluzy na materiálových rozhraních, a to ve smyslu náhlé změny orientace napjatosti v těchto zónách. V prostředí břidlic, tektonicky dotčeném je stanovení konkrétní insitu napjatosti v měřítku odpovídající velikosti tunelové trouby velmi složité a při uvážení reologických jevů v hornině až nemožné.

Dalším potenciálním rizikem po počátek úseku je vedení trasy v relativně značné blízkosti tunelového komplexu BLANKA. Bez ohledu na výběr varianty (již neaktuální varianta HLOUBENÁ a SEVER má společný portál dále od komplexu) bude muset být provedena v následujících fázích průzkumu analýza interakce stávající i nové tunelové stavby, společně s návrhem případných opatření.

---

**OTÁZKA:**

12) Jaké je porovnání vlivu tunelových variant JIH a STŘED z hlediska nadzemní i podzemní zástavby a díla, poklesů terénu, životního prostředí, hygienických podmínek, apod.?

**ODPOVĚĎ:**

Jestliže se přijme předpoklad, že větrací šachtou bude dlouhodobě a katastrofálním způsobem ovlivněna křídová zvodeň, pro kterou existuje značné množství pramenišť nebo výronů, potom teoreticky může být životní prostředí dotčeno snížením hladiny podzemní vody v prostoru svahů pod rozhraním vodonosných korycanských pískovců a peruckých jílovců.

Poklesy terénu budou s velkou pravděpodobností bezproblémové pro obě varianty ve smyslu dotčení nadzemních objektů. Varianta STŘED nicméně z důvodu nižšího nadloží bude vykazovat hloubku poklesové kotliny větší. Nicméně výpočty sedání povrchu terénu pro variantu JIH ve staničení km 6,820 jsou dotčeny absencí materiálového rozhraní s možnými tektonickými vlivy (oproti 3D geologickému modelu závěrečné zprávě ČGS).

**Z hlediska vibrací nebudou mít tunely pro obě varianty JIH a STŘED vliv na okolní zástavbu, jak plyne z provedených šetření a z posudků vypracovaných pro tyto účely.**

**Obě varianty JIH a STŘED mohou být bez ohledu na vzdálenost tunelových trub od svahů ovlivněny z hlediska namáhání tunelu, tunelovacího stroje a v podstatě průběhu ražby změnami orientace hlavních napětí na tektonicky dotčených materiálových rozhraních. Numerická analýza provedená v km 4,793 podává určitou indicii o relativně velkém gradientu posunů tunelové trouby při jejím průchodu ukloněnou rozdílnou litologickou formací.**

---

**OTÁZKA:**

13) Jsou výsledky expertízy Bochum u veřejnosti a u orgánů veřejné správy prezentovány SŽDC věrohodně s cílem upřednostnit jednu z rozpracovaných tras, nebo jsou prezentovány tendenčně s cílem upřednostnit trasu JIH?

**ODPOVĚĎ:**

**Výsledky expertízy Univerzity Bochum nejsou prezentovány věrohodně, protože bodování jednotlivých aspektů ražby je subjektivní a oba objekty jsou z hlediska bodového systému pro hodnocení rizik srovnatelné a rovnocenné. Navíc je výsledek bodování a závěrečné stanovisko Univerzity Bochum částečně opřeno o podklady, v nichž chybí klíčový dokument od České geologické služby.**

---

# Znalecká doložka

Prohlašuji, že jsem si vědom následků vědomě nepravdivého znaleckého posudku a to ve smyslu §127a zákona č. 99/1963 Sb., občanský soudní řád, v platném znění.

Znalecký posudek jsem podal jako znalec jmenovaný rozhodnutím předsedy Krajského soudu v Praze ze dne 7. 7. 2014 pod č.j. SPr 4083/2013 pro obor stavební odvětví různá, specializace geotechnika.

Znalecký posudek je zapsán do Znaleckého deníku pod pořadovým číslem 25/3/2021.

Znalečné a náhrada nákladů je účtováno podle přiložené likvidace.

Znalecká pečeť:

Podpis:

.....

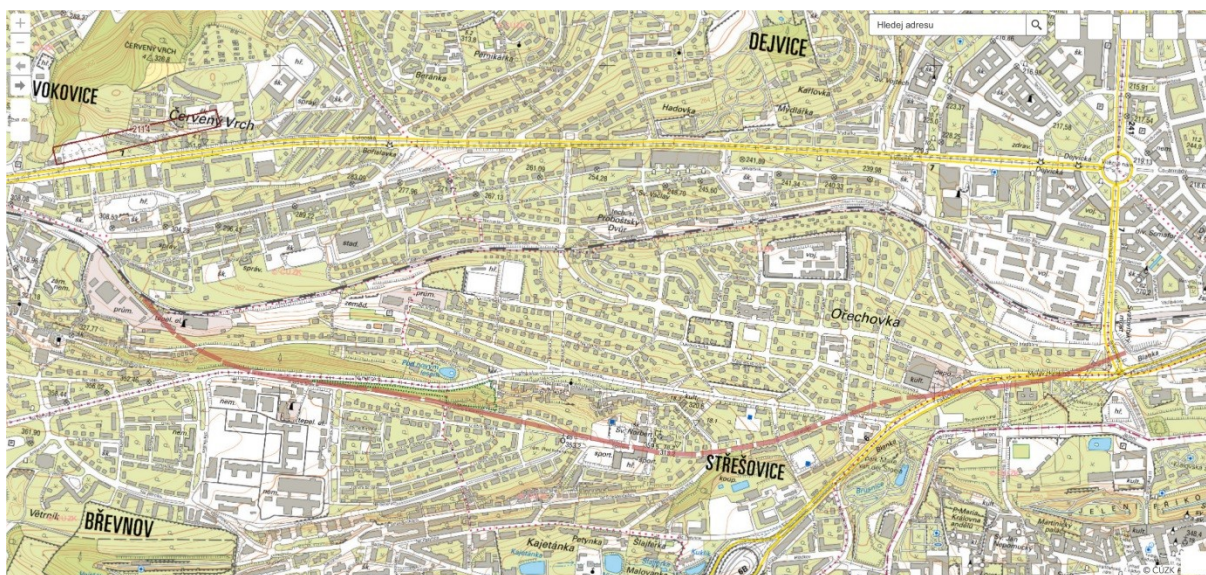
Ing. Josef Rott, Ph.D.

## Přílohová část

**Alternativní vedení trasy raženého tunelu železničního spojení Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín**, kterou lze nazvat JIH-MODIFIKOVANÁ a charakterizovat následovně:

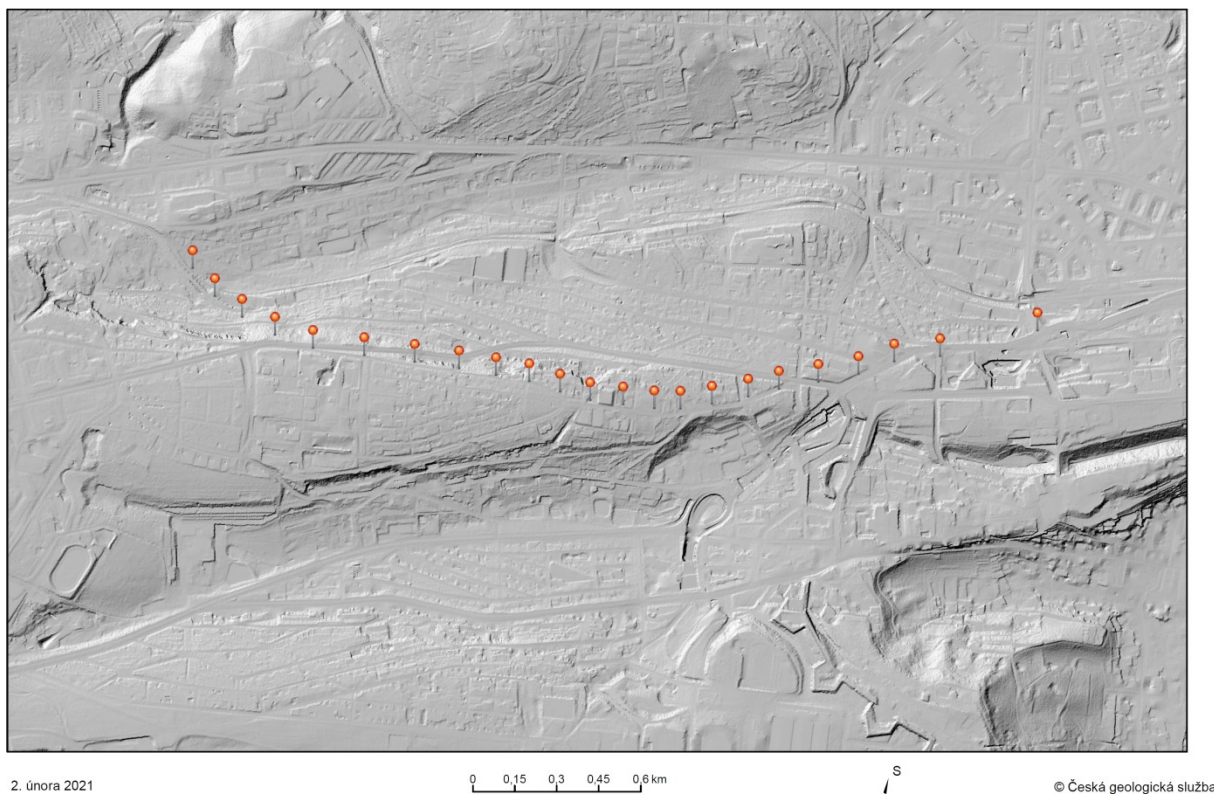
- 1) Ke kulturnímu centru od Dejvického nádraží trasa kopíruje prakticky variantu JIH (je možné trasu kosmeticky poupravit, aby tunely procházely spíše nádvořím objektů),
- 2) trasa kromě průmyslových oblastí nepodchází zástavbu,
- 3) trasa se s přihlédnutím k morfologii nejrychleji zanořuje do maximálního nadloží,
- 4) trasa prochází mezi dokumentovanými materiálovými rozhraními s možnými tektonickými prokluzy či lokálními poruchami, které vyplývají z geometrie antiklinálního hrbu,
- 5) trasa probíhá dále od okraje křídové plošiny než varianta STŘED (respektive její paty v nasednutí na ordovické horniny), v jejímž podloží se nalézají materiálové rozhraní s tektonicky ovlivněnými horninami,
- 6) trasa neprochází pod pozemky ÚVN,
- 7) oblouky trasy jsou mírné, poloměr je s jistotou větší, než u varianty STŘED
- 8) trasa vede půdorysně v blízkosti bývalé cihelny (Na Petynce), avšak relativně hluboko v podloží.

Rámcový zakres alternativní trasy je uveden na následujících 2 obrázcích. Obrázek P2 je rovněž ve vztahu k výrazným morfologickým elevacím.



P1: Rámcový zakres alternativní trasy.



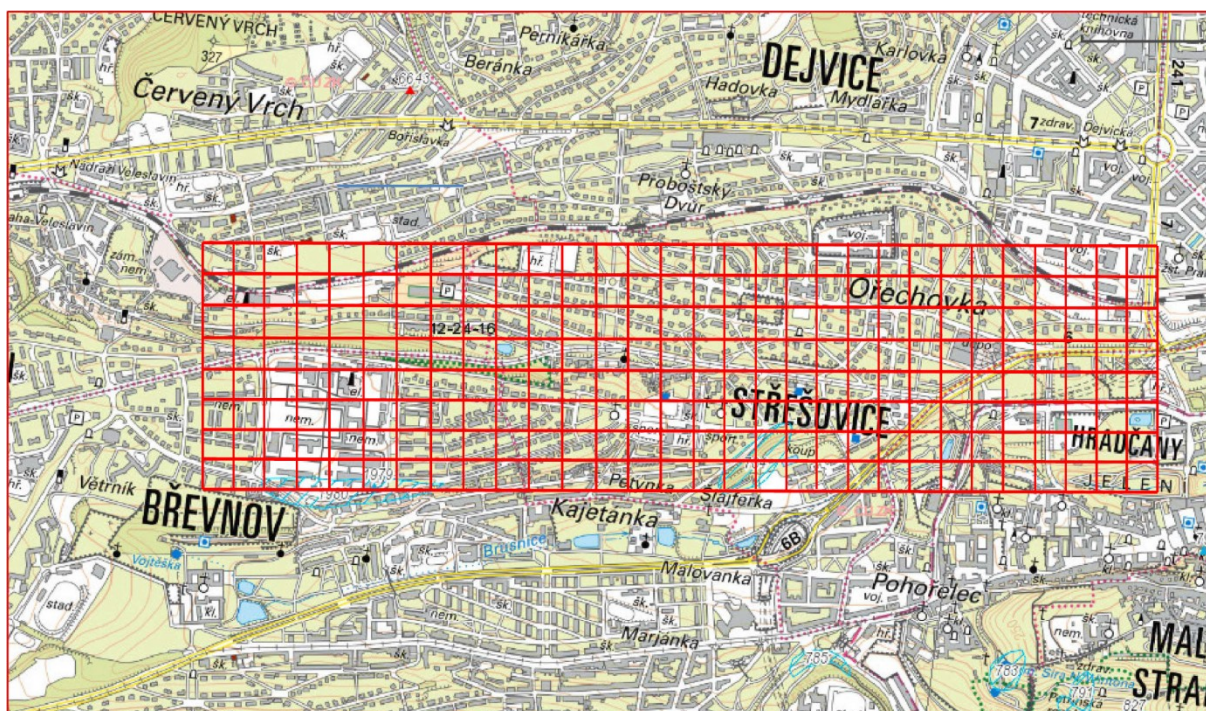


P2: Přibližné vytýčení trasy na LiDARovém podkladu.

Vyhodnocení úrovně relativní zastavěnosti pro uvažované tunelové varianty STŘED a JIH, včetně varianty alternativní.

V následujících odstavcích je provedeno vyhodnocení „úrovně relativní zastavěnosti“ pro uvažované tunelové varianty STŘED a JIH, včetně varianty alternativní, JIH-MODIFIKOVANÁ. Je motivováno příčným dosahem poklesové kotliny v řádu 50 m od osy podzemního díla. Je do značné míry subjektivní, avšak váha těchto nejistot plynoucích z této subjektivity je částečně snížena následujícím postupem.

Oblast průběhu tunelu je rozdělena na  $8 \times 30 = 240$  čtvercových clusterů rozměru 100 x 100 m. V těchto clusterech je vyhodnocena míra zastavění. Rozdělení viz následující Obrázek:



P3: Rozdělení zájmové oblasti na clustery 100 x 100, v nichž je vyhodnocena zastavěnost.

Vyhodnocení je dané rozmezí úrovně relativní zastavěnosti (dále jen „ÚRZ“) 0 – 10, rozmezí má význam indexu. Popis jednotlivých úrovní je v Tabulce PT1. Opět nutno zopakovat, že zařazení clusteru do té či oné úrovně je na konkrétním subjektivním posouzení.

Tabulka PT1: Popis úrovní relativní zastavěnosti.

Rámcový popis zastavěnosti v rámci dané oblasti clusteru	ÚRZ
Území zcela bez zástavby	0
Území s ojedinělou budovou	1
Území s řídkou zastavěností – 1 větší, nebo 2 menší rodinné domy 1 nebo budova občanského charakteru	2
Území s řídkou zastavěností – 1 až 2 budovy občanského charakteru nebo 2 – 3 rodinné domy s řídkou infrastrukturou	3
Území s běžnou zastavěností, 3 – 4 rodinné domy, 1 větší nebo 2 menší budova občanského charakteru, infrastruktura řídká až běžná	4
Území průměrně zastavěno, 3 – 4 rodinné domy, 1 větší nebo 2 menší budova občanského charakteru, 2 – 3 rodinné domy doplněné menším provozním objektem nebo 1 malým průmyslovým objektem, infrastruktura běžná až hustá	5
Území s hustější zástavbou 4 – 5 rodinných	

domů nebo 2 – 3 větší rodinné domy + 2 větší nebo 3 menší budova občanského charakteru (bytové domy), 2 – 3 rodinné domy doplněné 2 provozními objektem a/nebo 2 malými průmyslovými objekty, infrastruktura řídká	6
Území s hustější zástavbou 5 – 6 rodinných domů nebo 2 – 3 větší rodinné domy + 2 větší nebo 3 menší budovy občanského charakteru (bytové domy), 3 – 4 rodinné domy doplněné 2 provozními objektem a/nebo 2 malými (1 velký) průmyslovými objekty, infrastruktura běžná až hustá	7
Území velmi hustě zastavěno 6 – 7 rodinných domů nebo 4 – 5 větší rodinných domů + 2 větší nebo 3 menší budovy občanského charakteru (bytové domy), 4 – 5 rodinné domy doplněné 2 provozními objektem nebo 2 velké průmyslové objekty, infrastruktura běžná až hustá	8
Území téměř zastavěno 70 – 80% (6 – 9 větších rodinných nebo řadových domů), pouze s nezastavěnými plochami, domy v clusteru doplněné provozními objekty a i objekty průmyslovými, infrastruktura hustá, komunikační síť nezbytná	9
Území zcela zastavěno velkým počtem rodinných nebo řadových domů (řádově 10 – 15 v rámci clusteru) nebo zcela vyplněno budovou/budovami průmyslového charakteru (nebo) jen s nezbytnou sítí komunikací	10

Výsledné rozdělení, respektive zhodnocení clusterů ve smyslu Tabulky PT1 je uvedeno v následující Tabulce PT2, která má charakter spíše obrázku. Za zmínku stojí hustá zastavěnost v areálu Ústřední vojenské nemocnice (zvýrazněno šedě), řídká zastavěnost blízko svahu nad Petynkou (modrá) a rovněž řídká zastavěnost v příportálových úsecích. Důvodem je hustá a složitá infrastruktura u dejvického portálu a zalesnění na úpatí svahu v oblasti Veleslavína.

Tabulka PT2: zhodnocení clusterů ve smyslu Tabulky PT1

5	7	1	0	0	1	4	0	0	1	2	2	1	2	3	6	7	8	6	6	7	7	2	2	4	5	4	5	8	5
4	4	1	1	1	4	1	6	5	7	6	7	3	6	4	5	7	7	9	6	5	5	3	3	3	5	2	1	6	1
5	2	1	1	1	3	7	6	4	6	4	5	3	5	5	5	5	5	0	4	5	6	2	4	2	4	3	4	4	2
4	1	2	3	3	2	0	0	1	1	4	5	2	5	3	3	2	4	4	4	4	5	2	8	4	3	2	2	0	1
3	3	1	7	7	5	5	5	4	3	3	3	4	6	5	7	6	2	4	2	3	4	1	1	1	1	1	0	0	1
5	4	0	2	8	3	6	6	6	5	5	2	6	1	4	3	3	4	4	2	3	4	2	0	0	3	3	2	0	1
4	5	6	5	8	3	6	6	7	4	6	3	6	6	5	3	4	0	0	0	2	1	0	0	1	0	1	1	0	5
5	5	5	3	8	7	5	7	8	6	4	5	6	6	4	3	0	0	6	5	3	1	0	1	1	1	0	1	0	0

Z Tabulky PT2 je patrné, že vyšší úroveň (hustota) zastavěnosti je v areálu Ústřední vojenské nemocnice (šedý odstín clusterů), naopak nižší hustota je v oblasti portálů (červená) a rovněž v oblasti svahů bývalé cihelny – Na Petynce (modrá).

Následující 2 schémata P3 a P4 dokumentují, jaké clustery jsou dotčeny vedením trasy tunelových variant – P3 obsahuje variantu JIH (žlutá) a STŘED (červená), přičemž společný úsek je označen oranžově, P4 obsahuje i variantu JIH-MODIFIKOVANÁ.

Pro zohlednění subjektivního hodnocení a z toho plynoucích nejistot v určení ÚRZ pro jednotlivé clustery byl pro daný cluster, kterým prochází tunel provedeno průměrování vždy s nejbližším okolním clusterem na každou stranu od předmětného clusteru. Na následujícím Obrázku P5 je okolí vstupující do průměru pro daný cluster ohraničen černě (tj. oblasti se musí překrývat).



8	5	7	1	0	0	1	4	0	0	1	2	2	1	2	3	6	7	8	6	6	7	7	2	2	3	5	4	5	8	5
6	4	4	1	1	0	4	1	6	5	7	6	7	3	6	4	5	7	7	9	6	5	5	3	3	4	5	2	1	6	1
6	5	2	1	1	2	3	7	6	4	6	4	5	3	5	5	5	5	5	0	4	5	6	2	4	2	4	3	4	4	2
5	4	1	2	3	3	2	0	0	1	1	4	5	2	5	3	3	2	4	4	4	4	5	2	8	4	3	2	2	0	1
4	3	3	1	7	7	5	5	5	4	3	3	3	4	6	5	7	6	2	4	2	3	4	1	1	1	1	1	0	0	1
3	5	4	0	2	8	3	6	6	6	5	5	2	6	1	4	3	3	4	4	2	3	4	2	0	0	3	3	2	0	1
2	4	5	6	5	8	3	6	6	7	4	6	3	6	6	5	3	4	0	0	0	2	1	0	0	1	0	1	1	0	5
1	5	5	5	3	8	7	5	7	8	6	4	5	6	6	4	3	0	0	6	5	3	1	0	1	1	1	0	1	0	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

P3: Clustery dotčené tunely.

8	5	7	1	0	0	1	4	0	0	1	2	2	1	2	3	6	7	8	6	6	7	7	2	2	3	5	4	5	8	5
6	4	4	1	1	0	4	1	6	5	7	6	7	3	6	4	5	7	7	9	6	5	5	3	3	4	5	2	1	6	1
6	5	2	1	1	2	3	7	6	4	6	4	5	3	5	5	5	5	5	0	4	5	6	2	4	2	4	3	4	4	2
5	4	1	2	3	3	2	0	0	1	1	4	5	2	5	3	3	2	4	4	4	4	5	2	8	4	3	2	2	0	1
4	3	3	1	7	7	5	5	5	4	3	3	3	4	6	5	7	6	2	4	2	3	4	1	1	1	1	1	0	0	1
3	5	4	0	2	8	3	6	6	6	5	5	2	6	1	4	3	3	4	4	2	3	4	2	0	0	3	3	2	0	1
2	4	5	6	5	8	3	6	6	7	4	6	3	6	6	5	3	4	0	0	0	2	1	0	0	1	0	1	1	0	5
1	5	5	5	3	8	7	5	7	8	6	4	5	6	6	4	3	0	0	6	5	3	1	0	1	1	1	0	1	0	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

P4: Clustery dotčené tunely – včetně varianty JIH-MODIFIKOVANÁ.

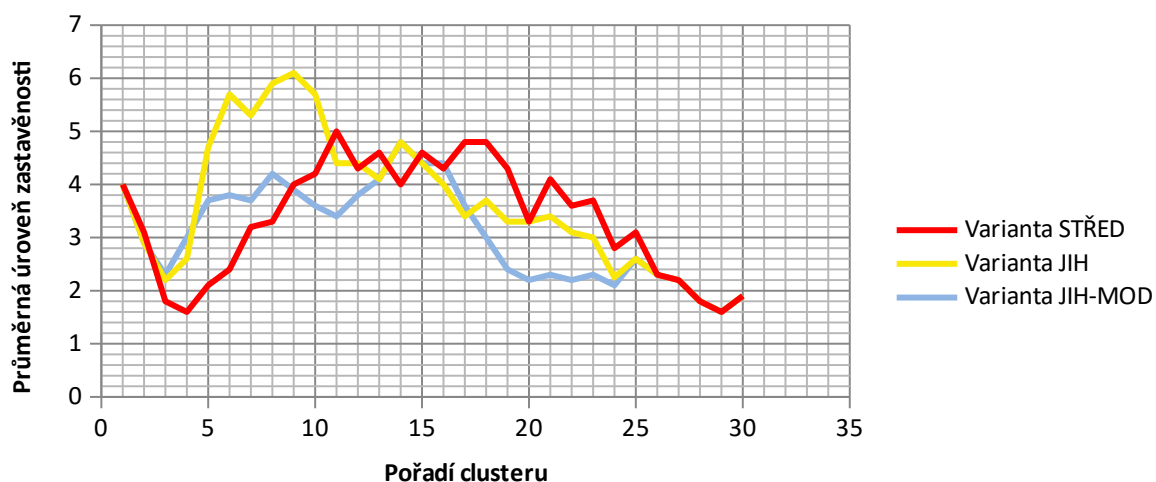
8	5	7	1	0	0	1	4	0	0	1	2	2	1	2	3	6	7	8	6	6	7	7	2	2	3	5	4	5	8	5
6	4	4	1	1	0	4	1	6	5	7	6	7	3	6	4	5	7	7	9	6	5	5	3	3	4	5	2	1	6	1
6	5	2	1	1	2	3	7	6	4	6	4	5	3	5	5	5	5	5	0	4	5	6	2	4	2	4	3	4	4	2
5	4	1	2	3	3	2	0	0	1	1	4	5	2	5	3	3	2	4	4	4	4	5	2	8	4	3	2	2	0	1
4	3	3	1	7	7	5	5	5	4	3	3	3	4	6	5	7	6	2	4	2	3	4	1	1	1	1	1	0	0	1
3	5	4	0	2	8	3	6	6	6	5	5	2	6	1	4	3	3	4	4	2	3	4	2	0	0	3	3	2	0	1
2	4	5	6	5	8	3	6	6	7	4	6	3	6	6	5	3	4	0	0	0	2	1	0	0	1	0	1	1	0	5
1	5	5	5	3	8	7	5	7	8	6	4	5	6	6	4	3	0	0	6	5	3	1	0	1	1	1	0	1	0	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

P5: Průměrování ÚRZ pro konkrétní cluster, jímž prochází tunel – varianta JIH.

Na obrázku P6 je porovnání grafů vývoje zastavěnosti pro všechny tunelové varianty. Na základě nejistot byla pro porovnání variant přijata podmínka, že pokud se průměrná ÚRZ liší o méně, než 1,0, potom jsou varianty hodnocené jako stejné.

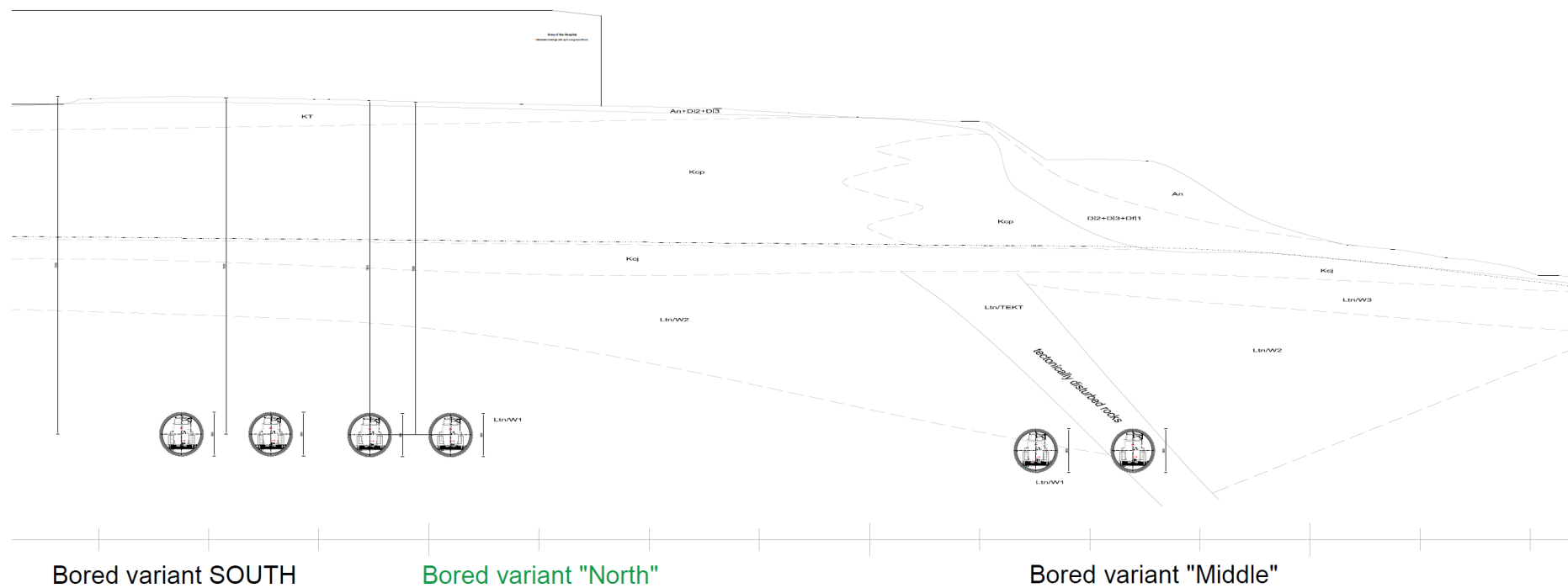
Z grafu vyplývá, že varianta JIH vykazuje větší průměrnou ÚRZ pro oblast Ústřední vojenské nemocnice a oblast husté zástavby vedle nemocničního areálu (clustery 4 – 10), naopak varianta STŘED vykazuje vyšší průměrnou ÚRZ mezi clustery cca 16 – 19.

Varianta JIH-MODIFIKOVANÁ vychází z hlediska zastavěnosti území i s přihlédnutím k rozptylu +/-1 nejvýhodněji.



P6: Porovnání průběhů průměrné úrovně relativní zastavěnosti pro všechny tunelové varianty.





P7: Příčný řez v km 6,820 – nemocnice ÚVN – podklad pro numerické modelování.



P8: Podélný geotechnický řez pro tunelovou variantu STŘED.

