

GEOTECHNICAL BASELINE REPORT V ČESKÉ PRAXI

P. Makásek

Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. Praha 1, Česká republika

J. Janků

Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. Praha 1, Česká republika

ABSTRAKT: S prvními případy realizace tunelových staveb pomocí metody Design & Build (Žlutá a Smaragdová kniha Fidic) a PPP přichází i potřeba řešit „férové“ dělení rizika základové půdy mezi Investora a Zhotovitele (resp. Koncesionáře). Pro tento účel se v zahraničí používá zejména dokument GBR (Geotechnical Baseline Report) pocházející z praxe ve Spojených státech Amerických. Článek pojednává o přípravě GBR pro železniční tunel Chotýčanský na úseku Nemanice I – Ševětín a pro dálniční tunel Dětrichov na dálnici D35, o stanovení výchozích podmínek pro ražby a stavební jámy tunelů a způsobu jejich měření.

1. ÚVOD

Během posledních let, kdy dochází k rozmachu přípravy tunelových staveb způsobených trendem „vše schovat pod zem“, stále častěji vyvstává otázka, jak vše zaplatíme. Množí se tak případy použití odlišných modelů projektové přípravy a financování jako jsou projekty Design and Build (D&B) nebo Public Private Partnership (PPP). Dochází i k rozšíření využití Žluté a Smaragdové knihy mezinárodních smluvních vzorů FIDIC.

Spolu s tím souvisí zásadní otázka, jak správně naložit s nejasnostmi (riziky), plynoucími z nehomogenního prostředí podzemí. Jakkoli podrobný inženýrsko-geologický průzkum bude vždy pouze interpretací výskytu zemin a hornin a jejich nejpravděpodobnějších vlastností a chování na základě diskretně získaných informací (vrty, sondy apod.), které toto nehomogenní prostředí nikdy nepopíše přesně. Vždy tedy vznikají neočekávané podmínky, jejichž tíhu nelze jednoduše přenést na stranu Objednatele nebo Zhotovitele.

Geotechnical Baseline Report je výsledkem technické diskuse, jak se poučit z praxe při realizaci podzemních staveb a potřeby rozdělit rizika výstavby mezi smluvní strany a předcházet tak sporům během výstavby, případně zbytečně vysokým cenám způsobených počáteční přirážkou Zhotovitele na neočekávaná rizika.

Poprvé byl „nástroj“ GBR v České republice použit pro výstavbu tunelu Homole na dálnici D35, který je momentálně ve výstavbě. Tento článek představuje další zpracované zprávy GBR připravené v rámci zadávací dokumentace následujících dvou staveb:

1.1 MODERNIZACE TRATI NEMANICE I – ŠEVĚTÍN

Stavební záměr Modernizace trati Nemanice I – Ševětín je součástí modernizace 4. tranzitního železničního koridoru, který spojuje státní hranici s Německem u Děčína s Prahou a Českými Budějovicemi a pokračuje dále do Lince. Cílem projektu je zdvojkolejnění úseku Nemanice I – Ševětín, zvýšení jeho kapacity a také traťové rychlosti, a to až na 200 km/h. Délka modernizovaného úseku je téměř 18 km a kromě mnoha dalších staveb obsahuje dva významné tunelové objekty: Chotýčanský tunel délky 4806 m a Hosínský tunel délky 3120 m.

Dokumentace pro stavební povolení byla zpracována v roce 2021, navazující projekt PDPS potom v roce 2022. Následovalo zpracování studie variant změny způsobu ražby tunelů pomocí tunelovacích strojů, za účelem posouzení snížení investičních nákladů, zkrácení doby výstavby a zvýšení bezpečnosti v tunelech v roce 2023. V rámci projednávání souhlasného stanoviska HZS JČK ke stavebnímu povolení byla podepsána Dohoda o spolupráci mezi SŽ a HZS JČK o následné realizaci stavby ve smyslu této studie, která dělí tunelový tubus střední stěnou na dvě požárně oddělené části. Z tohoto důvodu zadavatel

přikročil ke kombinovanému způsobu zadání Stavby, kdy bude část zadána dle Žluté knihy FIDIC, přičemž zhotovitel provede potřebnou úpravu jejich projektové dokumentace, zatímco zbývající část bude provedena dle Červené knihy FIDIC podle zpracované PDPS.

Pro zadávací řízení byla zpracována zadávací dokumentace na počátku roku 2025, jejíž součástí byly i zprávy GBR pro Hosínský a Chotýčanský tunel. Stavební povolení bylo vydáno v říjnu roku 2025. Toho času se diskutuje o posunu realizace zakázky až na rok 2028.

GBR bylo připraveno pro každý tunel zvlášť ve variantách ražby NRTM a TBM. Tento článek podrobněji popisuje přípravu GBR Chotýčanského tunelu ve variantě technologie ražby NRTM.

1.2 TUNELY NA DÁLNICI D35

Dálnice D35 je součástí dopravního systému dálniční a silniční sítě České republiky. V této síti plní D35 funkci tzv. druhého, severního propojení Čech a Moravy rovnoběžného s vedením dálnice D1, což umožní redistribuci dopravy a převzetí části dopravy z D1, a to úsekem D35 mezi Olomoucí a Hradcem Králové. Dále má D35 význam pro zajištění regionálních vztahů na severu Čech a Moravy a ve vztahu k dálnici D1 Lipník nad Bečvou - Ostrava - státní hranice ČR/Polsko a D11 Praha - Hradec Králové - státní hranice ČR/Polsko jako propojení mezinárodního významu. Na úseku Opatovec-Staré Město dálnice překonává Hřebečský hřbet u vesnice Dětrichov 3983 metrů dlouhým tunelem. Na úseku Staré Město-Mohelnice po okraji Petrušovského lesa dálnice vstupuje do 1312,5 metrů dlouhého tunelu Maletín.

Pro úsek dálnice D35 Opatovec – Staré Město byla dokumentace pro stavební povolení zpracována v roce 2021 a stavební povolení bylo vydáno v červenci 2023. Pro úsek Staré Město – Mohelnice byla dokumentace DSP zpracována v roce 2023 a stavební povolení bylo vydáno v srpnu 2024.

V srpnu 2022 byly oba úseky zařazeny do vládního projektu PPP. V dubnu 2024 vybralo Ministerstvo dopravy transakčního poradce k výběru koncesionáře projektu PPP a v srpnu 2024 vypsal výběrové řízení na výběr koncesionáře. Uzavření koncesionářské smlouvy lze předpokládat ve druhé polovině roku 2026.

GBR bylo připraveno pro metodu ražby NRTM pro každý tunel zvlášť. Tento článek podrobněji popisuje přípravu GBR pro tunel Dětrichov.

2. VYMEZENÍ ÚČELU A PLATNOSTI GBR

GBR je součástí smluvní dokumentace a jehož cílem je:

- Stanovit smluvní výchozí stav předpokládaných podpovrchových podmínek, které lze předpokládat během výstavby tunelu;
- Popsat důvody pro výběr a stanovení požadavků na zhotovitele obsažených ve smluvních dokumentech;
- Shrnout geotechnické podklady pro návrh stavebních jam, tunelů, šachet, příslušenství a vybavení tunelu;
- Identifikovat důležitá stavební hlediska a rizika, která budou nutná řešit během přípravy cenových nabídek i během výstavby.

Dokument stanovuje takzvané výchozí (referenční) podmínky základové půdy (baseline), se kterými se Zhotovitel může setkat během výstavby, tyto pak představují smluvní standard, který se Stavebník a Zhotovitel dohodnou používat pro dělení rizika. Chování zastižených základových poměrů bude ovlivněno zvolenými postupy, stavebními prostředky a metodami Zhotovitele. Proto jsou výchozí podmínky stanoveny pro jednotlivé tunelovací technologie samostatně. V některých případech se stanovené výchozí podmínky mohou lišit od výsledků provedené analýzy dostupných dat. V takových případech je uvedeno zdůvodnění pro výběr stanovené výchozí podmínky odlišné od dostupných dat.

V případě tunelů na úseku Nemanice I – Ševětín byl dokument zpracován pro dvě přípustné varianty technologie výstavby, pro Novou rakouskou tunelovací metodu (NRTM) a pro tunelování strojem (TBM). Pro dálnici D35 byly na základě koncesních dialogů zpracovány GBR pouze pro metodu NRTM.

Dokument byl rozsahově zpracován dle americké příručky Geotechnical Baseline Report: Suggested Guidelines (ESSEX, 2022). Ve variantě PPP jsou výkresové přílohy součástí GBR, ve variante D&B (Žlutá kniha FIDIC) jsou součástí samostatné části zadávací dokumentace Požadavky objednatele.

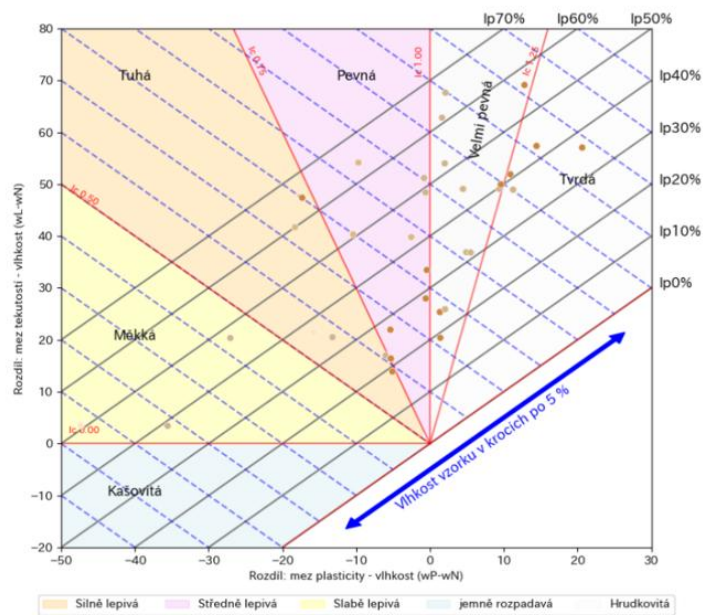
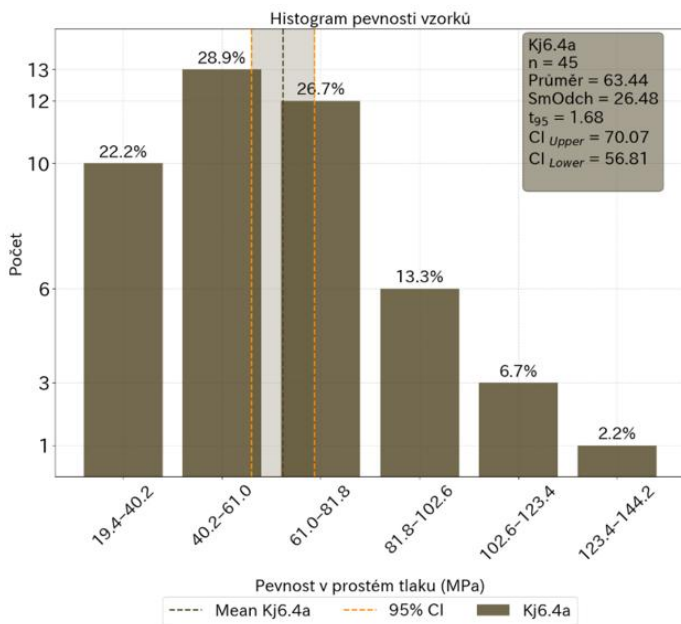
3. CHARAKTERISTIKA ZÁKLADOVÉ PŮDY A INTERPRETACE GEOLOGIE

Stanovení výchozích podmínek pro realizaci stavebního záměru předcházela v případě prezentovaných projektů účelně zpracovaná charakterizace základové půdy zahrnující zevrubnou interpretaci dostupných informací a údajů o geologickém prostředí. Interpretace geotechnických dat byla mezi zasmluvněnými cíli obou zpráv GBR a tomuto účelu byly přizpůsobeny metodiky s naplánovaným sledem dílčích kroků. Byť s pochopitelnými odlišnostmi měly práce na vyhotovení GBR pro oba prezentované projekty zhruba následující sekvenci:

1. Shromáždění všech dostupných geotechnických dat a informací
2. Tvorba databáze geotechnických parametrů
3. Zhotovení platformy pro zobrazení výsledků statistických analýz geotechnických dat
4. Rozčlenění geologického prostředí do charakteristických horninových typů
5. Sestavení geotechnického modelu
6. Stanovení konečného rozdělení geotechnického modelu do geotechnických typů
7. Interpretace statistických analýz a stanovení výchozích hodnot parametrů
8. Stanovení výchozích podmínek pro specifické segmenty stavebního záměru (portálové jámy, ražba, šachty, propojky, apod.)

Náročnost úkolů shromažďování dostupných dat a tvorba databáze geotechnických parametrů je práce značně odvislá od formy a formátu, ve kterých byly předány výsledky geotechnických průzkumů. Kromě digitalizace a přizpůsobení vypovídající hodnoty archivních dat, tvoří nosnou část zejména sjednocení výsledků jednotlivých etap/fází účelných geotechnických průzkumů očištěných o interpretace. Do jisté míry se tato práce překrývá s vyhotovením dokumentu Geotechnical Data Report (GDR), a byť nám byly poskytnuty výsledky v otevřených formátech, do značné míry bylo potřeba data a údaje pracně zpracovávat do formátů vhodných pro import do databáze. Na tomto místě je účelné zmínit dobrou zkušenost ze zahraničí, kde je požadavek na digitální formát předávaných dat standardizován pomocí podrobných tabulkových šablon pro výsledky z široké palety polních měření i laboratorních zkoušek. Zde vyzdvihujeme snahu Ředitelství silnic a dálnic ČR jako klíčového objednatele geotechnických průzkumů v prosazení jednotného formátu pro digitální zpracování a předávání dat – viz Datový předpis C4.

Pro data management a byl v našem případě použit softwarový nástroj OpenGround Cloud, který byl zvolen na základě vhodného propojení s nástrojem Leapfrog pro tvorbu 3D geologického modelu a možnosti propojit tabelované výstupy databáze s aplikací PowerBI, ve které jsme naprogramovali platformu pro vizualizaci výsledků statistických analýz geotechnických dat. PowerBI platforma byla konstituována do sestavy grafů (nejčastěji) histogramů se zobrazením nejdůležitějších statistických parametrů pro jakýkoli myšlený soubor dat. Výběr distribuční funkce se odvíjel od charakteru datového souboru a tomu pak odpovídala volba zobrazených statistických ukazatelů: zpravidla počet údajů, vhodný typ průměru, směrodatná odchylka, hodnoty hranice intervalu spolehlivosti, aj.



Obrázek 1 Příklady vizualizací statistického vyhodnocení geotechnických dat.

Tato platforma nám poskytla velmi dobrý náhled na velké množství geotechnických dat v makroměřítku, ale pomocí naprogramovaných distribučních a variačních funkcí jsme byli schopni vyhodnotit vlastnosti až v úrovni detailu vybraných hloubek jednotlivých vrtů. Zároveň nám umožnila efektivně zobrazit variabilitu i podle jednotlivých parametrů, což posloužilo pro výběr výchozích podmínek předpokládaných během výstavby tunelů.

Následující kroky 4 až 6 (dle výše uvedené sekvence) měly při tvorbě geotechnických modelů iterativní charakter. Na základě úvodního členění geologického prostředí do geologických jednotek navržených autory geotechnického průzkumu byl vytvořen úvodní geotechnický model, který nabýval v našem případě dvou – mezi sebou propojených – rovin:

- Atribuce horninových geotypů specifickým hloubkám vrtů, které byly propojeny se záznamy z dokumentace jader a diskontinuit, z polních měření a laboratorních zkoušek.
- Tvorba 3D geotechnického modelu.

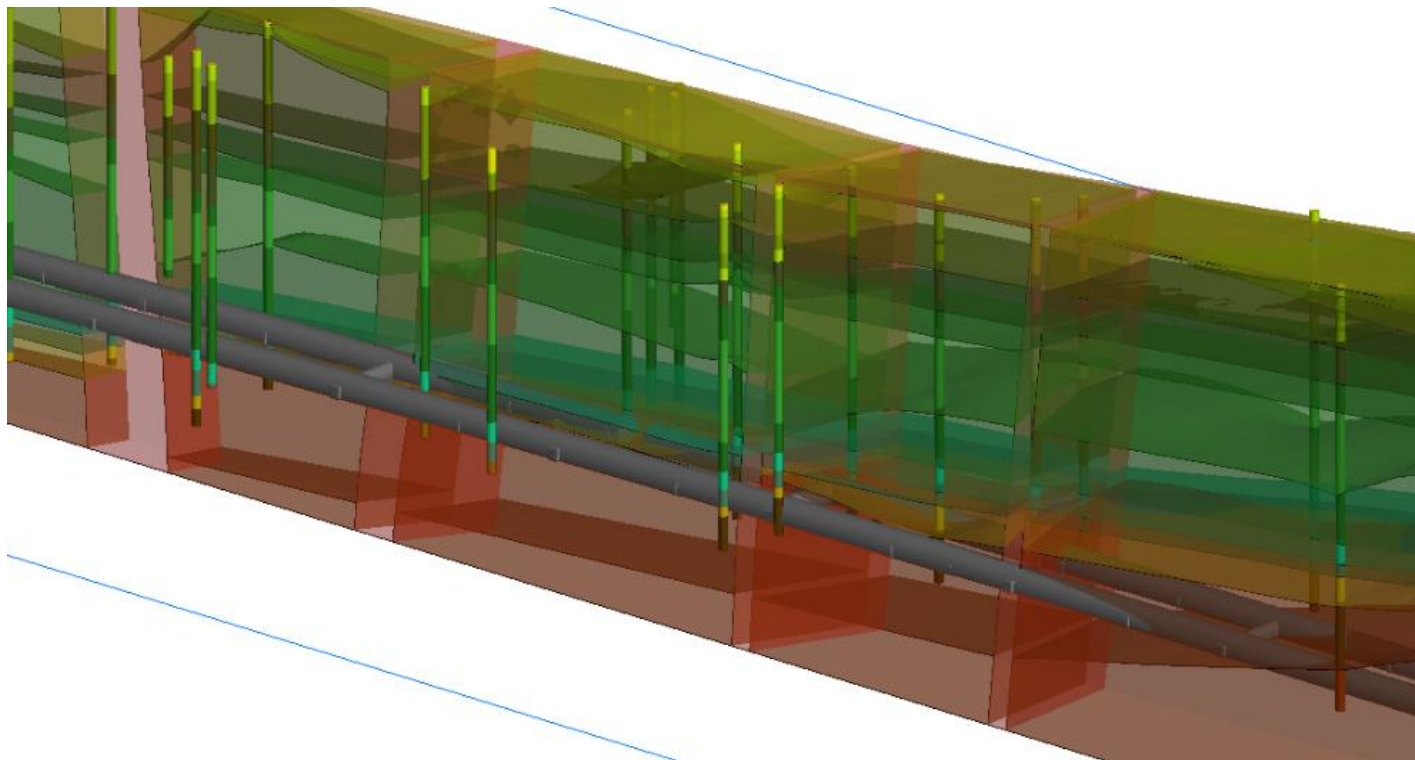
Iterativní proces spočíval ve vyhodnocení geotechnických parametrů pro jednotlivé horninové typy následované jejich slučováním nebo dělením do nového systému členění, pokud bylo zjištěno, že nové členění je vhodnější pro interpretaci vlastností horninového typu s ohledem na hodnocenou část stavebního záměru (jáma, ražba, specifické části podzemní stavby, specifické geologické podmínky při ražbě, atd.). Takovou iterací bylo dosaženo konečného rozdělení modelu do geotypů, které sloužilo jak pro aktualizaci 3D modelu, tak i pro interpretaci výsledků statistických analýz.

V důsledku tak bylo pomocí interpretace dosaženo stanovení výchozích podmínek, aplikovaných na vybrané parametry geotypů. Zpravidla byla za výchozí hodnotu stanovena hodnota vhodně aplikovaného typu průměru nebo hranice intervalu spolehlivosti. Stanovení výchozí hodnoty přibližně do středu možného rozptylu hodnot by mělo přinést férové rozdělení rizika mezi Objednatele a Zhotovitele. V případech, kdy nízký počet dat ve statistickém výběru neumožnil věrohodné vyhodnocení parametru, byla výchozí hodnota stanovena na základě syntézy následujících dílčích vstupů:

- Vyhodnocená nebo doporučená hodnota plynoucí z geotechnického průzkumu;
- Hodnota obvyklá pro daný materiál v dané geografické oblasti – pokud možno podepřená vyhodnocením zkušeností z realizaci relevantního záměru v obdobných geologických podmínkách;
- Vlastní zkušenost inženýra.

3D geotechnický model byl tvořen pomocí softwarové aplikace Leapfrog. Nosným podkladem pro modelování byly zmíněné vrtné práce, dále pak rozhraní definovaná autory geotechnických průzkumů a v neposlední řadě plochy reprezentující identifikované tektonické zlomy a porušené tektonické zóny.

Software umožňuje generování ploch reprezentující hladiny podzemní vody v oddělených kolektorech. To se osvědčilo v případech, kdy v modelu bylo třeba generovat hladiny reprezentující výtlačné výšky jednotlivých kolektorů separovaných izolátory tak, jak byly detailně identifikovány v hydrogeologických posudcích dostupných průzkumů.



Obrázek 2 Příklad vizualizace 3D geotechnického modelu v software Leapfrog.

4. STANOVENÉ VÝCHOZÍ PODMÍNKY

Na základě charakterizace základové půdy a interpretace geotechnických údajů pro jednotlivé geotypy, bylo možné doplnit smluvní rámec výchozího stavu geologického prostředí také o výchozích podmínky stanovené pro jednotlivé části záměru (portálové jámy, tunely, šachty, propojky).

Finální podobu stanovených výchozích podmínek pro popisované projekty ovlivnily odlišné přístupy zadání kompenzačních mechanismů pro případ zastižení odlišných podmínek. Pro projekt PPP pro dálnici D35 je vyžadováno posouzení správnosti alokace sdílení rizika mezi veřejným a privátním sektorem včetně případných kompenzačních mechanismů a jejich výpočtu posouzených dle pravidel Eurostat, neboli je nutné dopředu definovat kompenzační mechanismy na základě dohodnutých jednotkových cen reálných výstupů stavby, tzv. prepriced outcomes. Oproti tomu projekt D&B pracuje s kompenzací odlišných podmínek na základě důkazu zvýšených nákladů proti stanoveným podmínkám.

4.1 STAVEBNÍ JÁMY

V obou prezentovaných projektech byly hloubené stavební jámy na obou portálech posuzovány odděleně od hlavního tunelového díla. S uvážením lokálně specifických geotechnických poměrů na jednotlivých portálových jámách byly za výchozí podmínky definovány klíčové výchozí ukazatele, od kterých se očekává, že by měly přinést jasnou metriku pro řešení konfliktních situací v případě odlišnosti od skutečnosti. V návaznosti na stanovené výchozí hodnoty klíčových parametrů zemin/hornin rozčleněných do geotypů, zněla konečná podoba výchozích podmínek pro realizaci hloubených portálových jam následovně:

1. Procentuálního zastoupení geotypů s přiřazenými třídami těžitelnosti a vrtatelnosti dle standardizovaných škál;

2. Úrovně rozhraní jednotlivých geotypů pomoci kontaktních čar definovaných v podélných a příčných řezech;
3. Celkové přítoky podzemní vody do stavební jámy;
4. Počet překážek nebo nadměrných balvanů.

Stanovení procentuálního zastoupení geotypů, respektive jim přiřazené třídy těžitelnosti a vrtatelnosti, bylo provedeno na základě zpracovaného 3D geologického modelu. Úrovně rozhraní jednotlivých geotypů zobrazené ve výkresových přílohách GBR byly taktéž generovány ze 3D modelu. S vědomím proměnlivosti geotechnického profilu byla do této stanovené výchozí podmínky vnesena podmínka přesnosti +/- 3 m od definované polohy rozhraní. Do interpretovaných geotechnických profilů nebyly zpravidla zahrnuty polohy zemin a hornin v mocnostech nepřesahující 1,0 m. V případě možného výskytu menší polohy geotechnicky významně odlišného materiálu, byl tento fakt komentován s přisouzením adekvátní pravděpodobnosti výskytu.

Přítoky podzemní vody jsou důležitým faktorem ovlivňujícím realizaci díla a často bývají předmětem víceprací, proto jim byla v GBR věnována náležitá pozornost. Pro stanovení výchozí podmínky pro přítoky podzemní vody do jámy byly tyto definovány ve dvou parametrech:

- Hodnota přítoků v l/s do vyčerpání statických zásob podzemní vody s definovaným odhadem potřebné doby na vyčerpání,
- Hodnota pokleslých přítoků v l/s po této době.

Hodnoty výchozí podmínky pro přítoky byly stanoveny na základě hydraulických výpočtů v daném hydrogeologickém prostředí.

Výskyt překážek zpomalujících těžbu nebo bránící postupu zemních prací je dalším faktorem, který lze průzkumem postihnout jen s obtížemi nebo náhodně. Překážky byly v rámci stanovení výchozí podmínky definovány jako balvany, beton, asphalt, kov, cihly, dřevo, dřevo, plast nebo jakýkoli předmět nebo část předmětu zastížená ve vrstvách nad hranicí skalního podloží, a která má za následek zpoždění prací přesahující 2 hodiny. V jednom případě hrozil výskyt velmi pevných reziduí uvnitř zvětralinového pláště. I tento fakt byl postižen jako výchozí podmínka, a sice stanovením objemového rozměru jednotlivého tělesa. Výchozí podmínka obsahovala jasně definovaný počet očekávaných překážek v daném objemu zemních prací. Počet překážek jsme odvodili jako střední hodnotu pravděpodobnosti výskytu.

V rámci probíhajícího nabídkového řízení PPP byly stavební jámy tunelu Dětrichov přeřazeny do kategorie „early works“, tedy do části předstihových prací prováděných bezprostředně po finančním uzavření projektu s pevnou cenou a provedením dle platného stavebního povolení. Výchozí podmínky s kompenzačním mechanismem byly v tomto případě zredukovány pouze na stanovení kontaktních čar geotypů a na předpokládaný počet překážek v prostoru stavebních jam.

Tabulka 1: Výchozí podmínky stavebních jam

Výchozí podmínka	Chotýčanský tunel	Tunel Dětrichov
Procentuální zastoupení geotypů	x	
Kontaktní čáry mezi geotypy	x	x
Celkové přítoky do stavební jámy	x	
Překážka nebo nadměrný balvan o objemu >3 m ²	x	x

4.2 TUNELY

Pro chování horninového masivu při ražbě NRTM jsou zásadními ukazateli:

- charakteristika horniny
- množství podzemní vody
- hustota a charakter diskontinuit (ploch nespojitosti)
- tektonická a poruchová pásma

Právě pro tyto ukazatele je potřeba stanovit sadu výchozích podmínek, definující chování masivu, se kterými Zhotovitel počítá ve své nabídce a proti kterým jsou případně kompenzovány zvýšené náklady, které vznikají při zastížení odlišných podmínek. Zejména je potřeba tyto podmínky během výstavby bezpečně určovat a měřit. Lze tedy těžko zohledňovat například výšku nadloží, či jiné v tunelu neměřitelné veličiny.

4.2.1 Inženýrské třídy

Pro definici fyzikálně mechanického chování horninového masivu po délce tunelu tak byly definovány takzvané Inženýrské třídy. Ty jsou určeny na základě procentuálního zastoupení geotypu na čelbě a dle klasifikace RMR. Tyto třídy tedy nedefinují zajištění výrubu, a postup ražeb tak jak jsme v projektech zvyklí, neboť toto je při obou typech zadání projektu věcí budoucího Zhotovitele. Inženýrská třída pouze definuje oblasti se obdobným chováním masivu (fyzikálně-mechanickými vlastnostmi).

Zatřídování do inženýrských tříd je nutno oddělit od zatřídování do technologických tříd výrubu z hlediska horního zákona, které je v kompetenci závodního Zhotovitele. V případě inženýrských tříd se jedná o zatřídování čistě pro účel vyčíslení nákladů ražby. Nelze dopředu předpokládat jakým způsobem bude budoucí zhotovitel pobírat (dělit) čelbu. K zatřídění lze tedy přistoupit až po doražení celého profilu tunelu, a mezi jednotlivými čelbami a délkami kroků se musí hodnotící ukazatele interpolovat.

Zatřídění každé čelby do Inženýrské třídy tak definuje měřitelnost skutečného rozsahu jednotlivých tříd jejichž rozsahy jsou v GBR definovány v podélném profilu tunelu.

Chotýčanský tunel bude ražen v prostředí rul a granodioritů od zeminového charakteru až po zdravou horninu a jeho ražbu tak bude zásadně ovlivňovat procentuální zastoupení jednotlivých geotypů na čelbě. Přibližně v polovině své délky bude tunel procházet Drahotěšickou poruchou. Jedná se o nadregionální výraznou tektonickou strukturu, kde lze očekávat výskyt silně tektonicky porušených hornin a skokovou litologickou změnu hornin. Zdravé ruly zde přecházejí do podrcených, stmelených hornin, charakteru tektonické brekcie, spojené kalcitovým a křemenným tmelem. Tyto brekcie jsou do hloubky 17 m silně až zcela zvětralé. Silně tektonicky porušené granodiority mají charakter středně zrnitého, slídnatého stmeleného kaolinizovaného písku, s nepravidelnými pevnějšími polohami matečné horniny. V tektonickém kontaktu lze očekávat výskyt až zcela zvětralých hornin. Pro komplikovanou ražbu v litologickém rozhraní pod hladinou podzemní vody je stanovena speciální inženýrská třída L.

Tunel je tak po délce rozdělen do následujících inženýrských tříd:

- Třída A čelba v zeminách (resp. rozložených horninách pevnostní třídy R6)
- Třída B čelba ve smíšených podmínkách zemin a hornin, dále dělena na B-1 a B-2 podle poměr zastoupení zemin na čelbě
- Třída C čelba v horninách (horniny pevnostní třídy R5 a lepší), dále dělena dle míry zvětrání C-1 a C-2
- Třída L zvláštní třída stanovena pro litologické rozhraní (Drahotěšická porucha) mezi formací rul a granodioritů

Tabulka 9.3. Stanovené výchozí podmínky pro inženýrskou třídu B-1

Inženýrská třída	B-1		Rozsah v délce tunelu: 245 m TM 105 - 135, 265 - 370, 4100 - 4155, 4335 - 4370, 4410-4430				RMR	21 - 34			
	Geotyp	[-]	KT1p	KT1c	KT2p	KT2c	KT3p	KT3c	KT4p	KT4c	QTZ
Zastoupení v ploše výrubu	[%]	< 80%		-		0-30%				< 3%	
Pevnost v prostém tlaku ¹	[MPa]	70-100%									
Těžitelnost (dle ČSN 736133)		<1.5	<1.5	2.9 (+/-2.0)	4.6* (+/-9.1)	7.6 (+/-6.1)	41.1 (+/-29.7)	58.0 (+/-33.2)	98.2 (+/-45.6)	88.3 (+/-1.7)	
Přítoky podzemní vody na 10 m tunelu	[l/s]	I.	I.	I.	I.	II.	II.	III.	III.	III.	
Způsob rozpojování	[-]	0.6 mechanicky									

¹ pevnost intaktní horniny, průměrná hodnota (+- směrodatná odchylka), * minimální hodnota je 0.5 MPa

Obrázek 3 Příklad Inženýrské třídy B-1 pro Chotýčanský tunel.

Oproti tomu Tunel Dětrichov prochází souvrstvím křídý s výrazným vlivem podzemní vody v kolektorovém systému několika výškových úrovní a souvrstvím permu. Pro popis chování byl masiv rozdělen do následujících inženýrských tříd:

- Třída A-1 – ražba v horninách křídý jizerského souvrství
- Třída A-2 – ražba v horninách křídý bělohorského souvrství
- Třída B – ražba v přechodu z hornin křídý perucko-korycanského souvrství do hornin permu
- Třída C-1 – ražba v horninách permu postižených chemickým zvětráváním
- Třída C-2 – ražba v horninách permu bez chemického zvětrání

Ze zmíněného důvodu přístupu zadání režimem PPP byl popis inženýrské třídy jako výchozí podmínky zredukován čistě na procentuální zastoupení geotypů a předpokládaný rozsah klasifikačních bodů RMR, viz obrázek níže:

Inženýrská třída					
Geotyp	A-1	A-2	B	C-1	C-2
Kj5.4s	< 5%				
Kj5.5s					
Kj5.5p	> 50%				
Kj6j		< 50%			
Kb5.4/5s	< 50%	> 50%	< 100 %		
Kb5.4/5p					
Kp7.3/4p			0 - 100%		
Kp5p/6j				< 5%	
Ps7.0			0 - 50 %		
Ps7.3/4				> 50%	< 50%
Pc7.3/4				< 50%	> 50%
Pc7.1					
Ps/c7.2					< 30%
Klasifikace RMR					
klasifikační body	49 – 69	57 – 64	33 – 49	40 – 48	52 – 59
Třída kvality horniny	II - Dobrá / III - Uspokojivá	II - Dobrá / III - Uspokojivá	III - Uspokojivá / IV - Špatná	III - Uspokojivá	III - Uspokojivá

Obrázek 4 Inženýrské třídy pro tunel Dětrichov

4.2.2 Poruchové zóny

Horninový masiv je v obou popisovaných případech v místě ražby postižen tektonickými poruchami. Jejich umístění je interpretováno na základě provedených vrtů a geofyzikálního měření a zobrazeno v podélných geologických profilech

Při přiblížení k těmto poruchám bude docházet k oslabení horninového masivu. Jedná se o poklesové a přesmykové zlomové struktury, s opakovanými pohyby, s lokálními nevýraznými horizontálními posuny, horniny jsou silně podrcené, s výrazně pozměněnými geomechanickými parametry, výraznější zlomová pásma jsou zvodnělá.

Výchozí podmínka pro poruchová pásma Chotýčanského tunelu je stanovena jako počet poruchových zón v inženýrské třídě C, kde tunel prochází prostředím hornin a kde budou poruchová pásma vyžadovat dodatečná stabilizační opatření, nad rámec opatření definovaného pro danou inženýrskou třídu. Předpokládá se 12 výraznějších poruchových pásem s mocností do 20 m (délka průchodu čelby poruchou).

Pro stanovené geotypy tunelu Dětrichov se vlivem tektoniky výrazným způsobem zvýší četnost ploch nespojitosti, sníží hodnota RQD a výrazně se zvýší hodnota přítoku podzemní vody. Tedy klesne předpokládaná hodnota RMR při výskytu stejného geotypu. Je tedy stanoveno, že v případě, že hodnota RMR klesne pod stanovenou hranici geotypu, jedná se o ražbu v poruchovém pásmu, které je fakticky

oceněno jako samostatná Inženýrská třída v poruše. K rozsahu stanovených poruchových pásem jsou taktéž přiřazeny oblasti ražby s nízkým nadložím, kde je také předpokládána snížená hodnota RMR.

4.2.3 Podzemní voda

Množství podzemní vody je důležitým faktorem během ražby a projevuje se výrazně do ceny díla. Citlivá je i problematika ovlivnění vodního režimu v okolí díla a ochrana případných vodních zdrojů.

Pro Chotýčanský tunel je množství podzemní vody definováno již pro jednotlivé inženýrské třídy. V případě, že budou celkové přítoky v jednotlivých inženýrských třídách přesahovat uvedené hodnoty má Zhotovitel nárok na kompenzaci zvýšených nákladů, které je ale povinen doložit.

Jako dodatečná podmínka je řešen případ výrazného okamžitého přítoku vody, komplikující postup a realizaci ražeb (odvodnění, stříkání betonu, nakládka). V případě, že soustředěné přítoky budou přesahovat hodnotu 15 l/s a nebudou slábnout po dobu 3 dnů (nejedená se tedy o vypuštění statických zásob), bude nutné přistoupit k omezení těchto přítoků pomocí horninových injektáží. V délce tunelu je identifikováno 12 výrazných poruchových zón o průměrné mocnosti 20 m, ve kterých se předpokládá zvýšené proudění podzemní vody.

Jako výchozí podmínka bylo stanoveno, že ve 2 případech bude nutné přistoupit k omezení nadměrných přítoků v poruchové zóně injektážemi.

Tento přístup nešel pro tunel Dětrichov – s ohledem na specifikum zadání PPP, kdy nejsou přípustné obecné kompenzace zvýšených nákladů – použít. Přítoky vody na čelbu pro jednotlivé inženýrské třídy lze dopředu určit velmi problematicky. IGP stanovuje hydrogeologické úseky s předpokládanými přítoky, nicméně tyto úseky nekorespondují se stanovenými inženýrskými třídami. Bylo by nutné přítoky složitě interpolovat z hlediska úseků, dělení čelby a délky kroků. Komplikované je i místo pro prokazatelné měření jednotlivých přítoků. Rozsahy přítoků jsou tedy pro jednotlivé inženýrské třídy uvedeny jako předpokládané hodnoty vztažené na celý profil tunelu délky 10m a nejsou výchozí podmínkou.

Velmi specifickým problémem pro Tunel Dětrichov je ovlivnění režimu podzemních vod v hydrogeologickém rajónu křídly, který je zdrojem pitné vody regionálního významu. Inženýrsko-geologickým průzkumem byly odhadnuty přítoky podzemní vody pro jednotlivé hydro-geologické úseky, nicméně nebyly blíže posouzeny vlivy na stávající zdroje pitné vody v regionálním hledisku (pouze na lokální zdroje).

Proto bylo v rámci GBR zpracováno detailní posouzení vlivu tunelu na celý hydrogeologický region povodí Svitavy (Mott MacDonald CZ, spol. s r.o., 2025), aby bylo možné zhodnotit rizika drenážního efektu tunelu a stanovit relevantní výchozí podmínky pro sanační opatření a celkovou požadovanou „těsnost“ tunelového díla.

Detailní posouzení potvrdilo jako nejvíce ovlivněnou oblast obec Dětrichov a prameny Dětrichovského potoka, kde dojde k poklesu hladiny podzemní vody v řádech metrů. Potok může nově pramenit až za obcí. Drenážním vlivem tunelu dojde v celém hydrogeologickém rajónu k úbytku podzemní vody 14 – 21 l/s, což odpovídá 0,9 – 1,4 % celkových zásob rajónu.

Na základě hydrogeologického posouzení, s cílem omezit přítoky a chránit zejména oblast Dětrichovského potoka, byly určeny úseky s předpokládanými nejvyššími přítoky podzemní vody, kde je nejefektivnější aplikace sanačních opatření. Pro tyto oblasti musí Koncesionář uvažovat s realizací ověřovacích vrtů, případně s „předstihovými“ těsnícími injektážemi, když přítoky podzemní vody alespoň v jednom ze dvou vrtů překročí hodnotu 10 l/s a naměřený přítok neklesne pod tuto hodnotu po uplynutí 3 hodin. Součástí ceny je požadována realizace těsnících injektáží v délce 200 m tunelové trouby.

V případě, že se během vlastní ražby vyskytnou další místa, kde soustředěné přítoky překročí hodnotu 10 l/s a naměřený přítok neklesne pod tuto hodnotu po uplynutí 3 hodin, a nebylo by tak možné dílo bezpečně vyrazit, resp. aplikovat primární ostění, přistoupí se k omezení přítoků pomocí „doplňkových“ injektáží. Tato injektáž bude prováděna cíleně, přímo do oblastí s lokálními průsaky nebo výrony vody. Jako výchozí podmínka takovéto sanace je stanoveno celkově 10 jednotlivých případů vyžadujících těsnící injektáž v rozsahu do 10 m² sanované plochy ostění tunelu, ze které voda v nadlimitním množství

vytéká. Kompenzační mechanismus nad tento počet případů je v stanoven na základě ocenění dodatečného jednotkového případu.

Výchozí podmínka požadující celkovou těsnost tunelu po dokončení realizace byla stanovena na hodnotu ustáleného přítoku do celého tunelu Dětrichov (obě trouby) 35 l/s.

4.2.4 Geologicky podmíněný nadvýrub

Geologicky podmíněný nadvýrub byl pro projekt PPP široce diskutován při koncesních dialozích. Nadvýrub je sice způsoben neočekávanými geologickými podmínkami a měl by být proto kompenzován, nicméně jeho velikost a četnost může být silně ovlivněna technologickým postupem a kázní Zhotovitele. Nakonec byla tato výchozí podmínka stanovena s tím, že posouzení, jedná-li se o zaviněný nebo nezaviněný geologický nadvýrub, musí na základě zhodnocení geomonitoringu uznat Nezávislý dozor Zadavatele. Geologicky podmíněný nadvýrub je vymezen linií technologicky podmíněného nadvýrubu který určuje Zhotovitel ve své realizační dokumentaci, přičemž tato linie musí být stanovena v minimální tloušťce odpovídající zvolené technologii ražby a musí být v souladu s obvyklou odbornou praxí.

U geologicky podmíněného nadvýrubu bude pro účely kompenzační sledována skutečná kubatura nad linií technologicky podmíněného nadvýrubu (přesáhne-li jednotlivý spojitý lokalizovaný případ objem 1,0 m³).

Jako výchozí podmínka je stanovena hodnota 1 ks geologicky podmíněného nadvýrubu o objemu 1 m³ na 1 metr raženého tunelu. Tedy 3737,5 m³ pro každou tunelovou troubu musí být zahrnuto v ceně jednotlivých Inženýrských tříd, přičemž předmětem kompenzací jsou až geologicky podmíněné (nezaviněné) nadvýrubu nad touto hodnotou.

Pro Chotýčanský tunel není tato výchozí podmínka stanovena a veškeré nadvýrubu jsou započítány v nabídkové ceně Zhotovitele.

4.2.5 Souhrn stanovených výchozích podmínek

V tabulce níže jsou shrnuty stanovené výchozí podmínky pro sledované tunely.

Tabulka 2: Výchozí podmínky tunelů

Výchozí podmínka	Chotýčanský tunel	tunel Dětrichov
Rozsah inženýrských tříd	x	x
Procentuální zastoupení geotypů	x	x
Klasifikace RMR	x	x
Přítok podzemní vody do tunelu	x	
Nadměrné přítoky vody	x	
Omezení přítoku podzemní vody	x	
Předstihová injektáž		x
Doplňková injektáž		x
Celková těsnost tunelu		x
Poruchová pásma	x	x
Geologicky podmíněný nadvýrub		x

4.3 OSTATNÍ TUNELOVÉ KONSTRUKCE

Ražba tunelových propojek, respektive technologických komor a chodeb bude realizována ve stejných inženýrských třídách, jaké jsou stanoveny pro hlavní tunely a platí pro ně stejné výchozí podmínky. Stejně tak v případě únikových šachet Chotýčanského tunelu jsou pro výkop aplikovány podmínky pro stavební jámy.

5. ZÁVĚR

Až teprve vlastní realizace obou projektů ukáže, jak byly výchozí podmínky dobře zavoleny a dají se správně aplikovat pro sdílení rizika během výstavby. Nezbyvá než doufat, že dojde k jejich realizaci co nejdříve.

LITERATURA

MAKÁSEK, P.; HNILIČKA, M. *Tunely na úseku Nemanice I – Ševětín*. Stavebnictví 10/2021, 52–57.

ESSEX, R.J. Editor; *Geotechnical Baseline Reports: Suggested guidelines*; Reston, Virginia: ASCE 2022.

Český překlad Geotechnical Baseline Report, Doporučené pokyny; ČKAIT; Praha: 2024

Geotechnical Baseline Report, tunel Dětrichov, Mott MacDonald CZ, spol. s r.o., únor 2026

Geotechnical Baseline Report, Chotýčanský tunel, Mott MacDonald CZ, spol. s r.o., březen 2025

Hodnocení vlivu tunelu Dětrichov na podzemní vody, Progeo, s.r.o., únor 2026

Titul, jméno, příjmení autora: Ing. Petr Makásek, Ph.D.

Pracoviště: Mott MacDonald CZ, spol. s r.o., oddělení tunelů

E-mail adresa: petr.makasek@mottmac.com

Titul, jméno, příjmení autora: Ing. Jiří Janků

Pracoviště: Mott MacDonald CZ, spol. s r.o., oddělení geotechniky a podzemních staveb

E-mail adresa: jiri.janku@mottmac.com