

VYSOKÉ UČ EN TECHNICKÉ BRNE

FAKULTA STAVEBNI

USTAV GEOTECHNIKY

Ing. Vít Černý

**OPTIMALIZACE GEOTECHNICKÉHO PRŮZKUMU A
MONITORINGU PŘI NAVRHOVÁNÍ A PROVÁDĚNÍ
PODZEMNÍCH STAVEB**

***OPTIMIZATION OF GEOTECHNICAL SURVEY AND MONITORING
FOR DESIGN AND REALIZATION OF UNDERGROUND
CONSTRUCTIONS***

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Konstrukce a dopravní stavby
Školitel: doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.
Oponenti:
.....
.....
Datum obhajoby:

Klíčová slova

geotechnický průzkum, geotechnický monitoring, Nová rakouská tunelovací metoda, tunelování, numerické modelování, konvergenční měření, inklinometrie, extenzometrie, optimalizace průzkumu a monitoringu

Keywords

geotechnical survey, geotechnical monitoring, New austrian tunnel method, tunneling, numerical modeling, convergence measurements, inclinometrie, extenzometrie, optimization of survey and monitoring

Dizertační práce je uložena na Ústavu geotechniky FAST VUT v Brně.

© Vít Černý, 2014
ISBN
ISSN 1213-4198

OBSAH:

1	Úvod	str. 5
1.1	Cíle práce.....	str. 5
2	Geotechnický průzkum	str. 5
2.1	Specifika GTP pro podzemní stavby.....	str. 6
2.2	Průzkumné metody	str. 6
3	Navrhování geotechnických konstrukcí, observační metoda	str. 6
4	Nová rakouská tunelovací metoda	str. 7
5	Geotechnický monitoring	str. 8
5.1	Varovné stavy.....	str. 8
5.2	Prezentace výsledků monitoringu	str. 9
6	Případová studie	str. 9
6.1	Geotechnický průzkum pro tramvajový tunel.....	str. 9
6.1.1	Zhodnocení GTP pro tramvajový tunel	str. 11
6.2	Geotechnický průzkum pro Královopolské tunely	str. 11
6.2.1	Zhodnocení GTP pro Královopolské tunely	str. 12
6.3	Geotechnický monitoring.....	str. 13
6.3.1	Zhodnocení GTM pro Královopolské tunely.....	str. 13
7	Vyhodnocení naměřených dat, srovnání s výpočtem	str. 14
7.1	Geotechnický výpočet	str. 14
7.2	Srovnání dat vybraných měření.....	str. 15
7.2.1	Srovnání KVG a INK měření.....	str. 15
7.2.2	Srovnání KVG a EXT měření	str. 17
8	Závěr	str. 18
8.1	Geotechnický průzkum	str. 19
8.1.1	zhodnocení metod a prvků GTP.....	str. 20
8.2	Geotechnický monitoring	str. 22
8.2.1	Zhodnocení metod a prvků GTM.....	str. 23
	Literatura	str. 25
	Autorovo CV	str. 28
	Abstrakt	str. 29

1 ÚVOD

Předkládaná práce se zabývá problematikou geotechnického průzkumu a monitoringu (sledování) liniových podzemních staveb ražených konvenčním způsobem za použití Nové rakouské tunelovací metody (NATM), která vychází z obecných principů observační metody.

Nová rakouská tunelovací metoda byla zvolena proto, že je nejpoužívanější tunelovací metodou v současné době v ČR i v zahraničí, ale také proto, že je metodou univerzálně použitelnou v jakémkoli geologickém prostředí.

Principy jak sledování během výstavby tak i geotechnického průzkumu předkládané pro konkrétní řešené případy lze samozřejmě vztáhnout i na jiné geotechnické stavby. Například sledování výstavby liniového podzemního díla raženého pomocí tunelovacího stroje (TM) nebo štítu může být dosti obdobné, jako monitoring výstavby tunelu raženého pomocí NATM. Bude se ovšem lišit v detailech specifických pro vybraný způsob ražby.

Pro monitoring platí stále stejné zásady jako pro průzkum či pro navrhování geotechnické konstrukce – v důsledku značné heterogenity horninového prostředí je nutné ke každé geotechnické konstrukci, byť principiálně totožné, přistupovat vždy individuálně. Zobecnit lze pouze hlavní principy.

1.1 CÍLE PRÁCE

Cílem předkládané dizertační práce je předložit návrh na optimalizaci geotechnického průzkumu a monitoringu při navrhování a provádění podzemních liniových staveb v městských aglomeracích.

Za účelem dosažení požadovaných cílů dizertační práce byly použity následující postupy zpracování vstupních dat:

- shrnutí základních principů observační metody a Nové rakouské tunelovací metody,
- shrnutí současných standardně používaných metod a prvků geotechnického průzkumu,
- shrnutí základních principů geotechnického monitoringu,
- příklad úspěšně realizovaných průzkumů a monitoringů, vyhodnocení způsobů jejich provádění,
- vyhodnocení geotechnických dat získaných z polních zkoušek v rámci průzkumných prací a z měření prvků geotechnického monitoringu – zaměření zejména na komparaci dat získaných z měření různých prvků,
- doporučení na základě srovnání a konfrontace ohledně optimalizace geotechnického průzkumu a monitoringu pro podzemní stavby.

2 GEOTECHNICKÝ PRŮZKUM

Úkolem geotechnického průzkumu je získat potřebné poznatky o inženýrskogeologických, hydrogeologických a hydrologických poměrech a o

geotechnických vlastnostech horninového prostředí včetně fyzikálně mechanických vlastností horninového masívu, pro účely územního plánování, projektování a realizace staveb. Současně musí GTP poskytnout i údaje nezbytné k hodnocení geotechnických (a jiných) rizik spojených se stavbou tunelu. [X]

2.1 SPECIFIKA GTP PRO PODZEMNÍ STAVBY

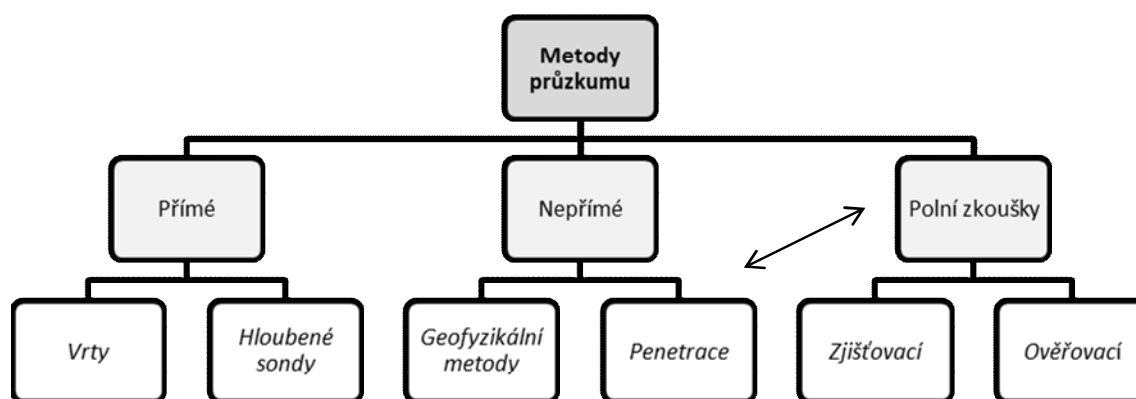
Podzemní stavba se liší od běžné konstrukce zejména tím, že je celým svým objemem umístěna v horninovém prostředí. Tato skutečnost má samozřejmě zásadní vliv na kvantitativní i kvalitativní rozsah GTP. Je zřejmé, že z hlediska GTP se jedná o nejobtížnější úlohu.

Oproti průzkumným pracím pro běžné inženýrské stavby má GTP pro podzemní stavby jistá specifika. Nejdůležitější z nich jsou shrnuta v následujících bodech:

- dimenzování ostění,
- vliv výstavby tunelu na okolí,
- zatřídění horninového prostředí podle tunelářských klasifikací,
- aplikace observační metody a monitoring,
- využitelnost materiálu rubaniny.

2.2 PRŮZKUMNÉ METODY

Průzkumnými metodami rozumíme způsoby realizace průzkumných děl. Průzkumné metody v sobě zahrnují jednotlivé prvky průzkumu, jako jsou vrty, geofyzikální metody či polní zkoušky. Přehledné rozdělení průzkumných metod je znázorněno na diagramu č. 1.



Obr.1: Schéma rozdělení průzkumných metod

3 NAVRHOVÁNÍ GEOTECHNICKÝCH KONSTRUKCÍ, OBSERVAČNÍ METODA

V případě, že je předpověď geotechnického chování obtížná, může být vhodné použít postup zvaný observační metoda, ve kterém je návrh ověřován během výstavby. Před zahájením výstavby je ovšem nutné splnit následující předpoklady:

- musí se stanovit přijatelné meze chování (např. předběžným výpočtem, atp.),
- musí se odhadnout rozsah možného chování a musí se prokázat přijatelná pravděpodobnost, že skutečné chování bude v přijatelných mezích,
- musí se navrhnout plán monitoringu, který odhalí, zda skutečné chování leží uvnitř přijatelných mezí,
- pro analýzu výsledků ve vztahu k možnému vývoji systému musí být dostatečně rychlá odezva v přístrojích a postupech,
- jestliže monitoring objevil chování mimo přijatelné meze. Musí se navrhnout plán opatření, která mohou být přijata.

Jako nástroj k ověřování předpokladů během výstavby slouží monitoring. Jeho výsledky se musí vyhodnotit v příslušných stádiích a plánovaná opatření se musí aktivovat, jestliže jsou přestoupeny meze chování. Monitorovací zařízení se musí buď nahradit, nebo rozšířit, jestliže nedává důvěryhodné údaje nebo údaje v dostatečné kvantitě.

Na základních principech observační metody jsou postaveny metody moderního konvenčního tunelování, zejména v ČR nejčastěji používaná Nová rakouská tunelovací metoda (NATM).

4 NOVÁ RAKOUSKÁ TUNELOVACÍ METODA (NATM)

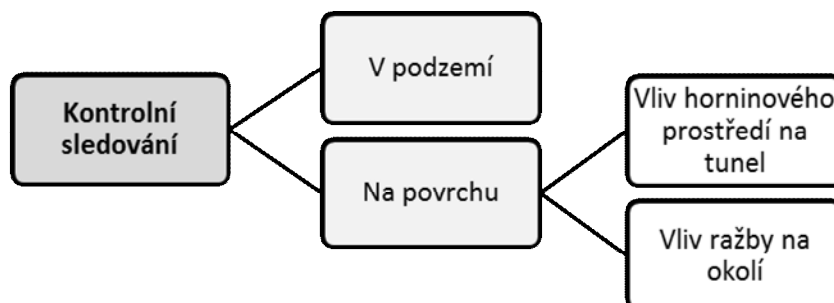
Aplikací některých základních principů observační metody do praxe je Nová rakouská tunelovací metoda (NATM). Tato metoda byla definována v roce 1963 Rabcewiczem a je v současné době nejpoužívanější tunelovací metodou u nás (popř. tzv. s přihlédnutím k zásadám NATM). Její masivní rozvoj, jak v ČR, tak po celém světě je dán zejména jejím univerzálním použitím v podstatě v jakémkoli horninovém prostředí a současně také její relativní jednoduchostí. Díky své přizpůsobivosti je vhodná i pro tunely ražené ve vysoce nehomogenním prostředí, kdy se geologická stavba území po délce stavby výrazně mění.

Základní myšlenka NATM vychází z využití horninového masívu jako hlavního nosného prvku. Nejdříve se provede výrub, který se po nějaký čas (předem určený a během výstavby optimalizovaný) nechá volně nezajištěný. Poté se instaluje primární poddajné ostění, které zabrání porušení a rozvolnění horniny v okolí výrubu a uvede síly v jeho okolí do rovnováhy. Definitivní ostění je realizováno teprve ve chvíli, kdy dojde k ustálení napětí-o-deformačního stavu, může jít o časový odstup i několika měsíců.

NATM není tunelovací metodou ve smyslu, že by předepisovala přesně stavební postupy (např. schéma výlomu, postup výstroje, atp.). Jedná se o koncepci stavby tunelu, kdy se postup výstavby drží určitých, vědecky zjištěných a prakticky vyzkoušených principů. Tyto principy byly formulovány do 22 zásad.

5 GEOTECHNICKÝ MONITORING

Kontrolní sledování má za úkol především ověřit projektem stavby předpokládané chování navrhované podzemní konstrukce a její vliv na okolí (deformace a napětí obezdívky, poklesová kotlina, deformace objektů na povrchu, atp.).



Obr.2: Rozdělení monitoringu v případě podzemních staveb

Tabulka I: Rozdělení prvků monitoringu

Geotechnický monitoring	V podzemí	Prvek monitoringu		A	B
			Geologický sled ražby		■
		Konvergenční měření		■	
		Měření napětí na ostění		■	
		Měření teploty		■	
Na povrchu	Ve vrtech	Extenzometry		■	
		Inklinometry		■	
		Klouzavé deformetry		■	
		Hydromonitoring	■	■	
		Měření deformací na povrchu	■	■	
		Pasportizace objektů nadzemní zástavby	■		

A ... Zaměřeno na sledování objektů na povrchu, B ... zaměřeno na sledování systému konstrukce – horninový masiv.

5.1 VAROVNÉ STAVY

Základním požadavkem geotechnického kontrolního sledování je potvrdit případné dosažení (v praxi „nedosažení“) varovných stavů. Varovným stavem se rozumí změna chování systému horninové prostředí – stavební konstrukce, jejímž důsledkem je nutnost přijetí určitých opatření k zajištění bezpečnosti provádění a provozování podzemní konstrukce. Varovné stavy jsou kvantitativně definovány v projektu geotechnického monitoringu kritériem varovného stavu, což jsou předem stanovené hodnoty sledovaných fyzikálních veličin (např. rychlost nárůstu či velikost deformace bodů konvergenčních profilů atp.).

Dosažení varovného stavu je podnětem pro přijetí určitých, projektem předem připravených, opatření. Tato opatření jsou nástrojem pro udržení chování sledovaného systému v přijatelných mezích a pro odvrácení důsledku vzniku nežádoucích jevů během výstavby.

Stupněm varovného stavu rozumíme určitý stav systému horninový masiv x konstrukce, který má vztah ke stanovenému cíli monitoringu a je spojen s určitým opatřením. Čím vyšší je stupeň varovného stavu, tím vyšší je podstupované riziko. Doporučuje se stanovit maximálně pět úrovní stupňů varovných stavů:

- Stav vysoké míry bezpečnosti
- Stav přípustných změn
- Stav mezní přijatelnosti
- Kritický stav
- Havarijní stav

5.2 PREZENTACE VÝSLEDKŮ MONITORINGU

Práce v rámci geotechnického sledování v průběhu výstavby tunelu jsou časově i objemově velmi náročné. Většinou je obvyklé, že se na nich podílí sdružení více firem. Aby byla prezentace výsledků monitoringu jednoznačná, je stanoven jeden odpovědný orgán za celý monitoring. Ten se nazývá Kancelář monitoringu a je zodpovědný za sběr dat, jejich vyhodnocení a včasnou prezentaci výsledků monitoringu dotčeným účastníkům výstavby, ideálně co nejbližše reálnému času.

Účastníky výstavby se rozumí především zástupci projektanta, investora, zhotovitele (případně sdružení zhotovitelů stavby), zhotovitele GTP, kanceláře monitoringu a případně nezávislí experti. Je výhodné stanovit kontrolní orgán, který bude prezentovat výsledky monitoringu všem účastníkům výstavby. Pro tento kontrolní orgán se vžilo označení RAMO = RAda MOnitoringu.

6 PŘÍPADOVÁ STUDIE

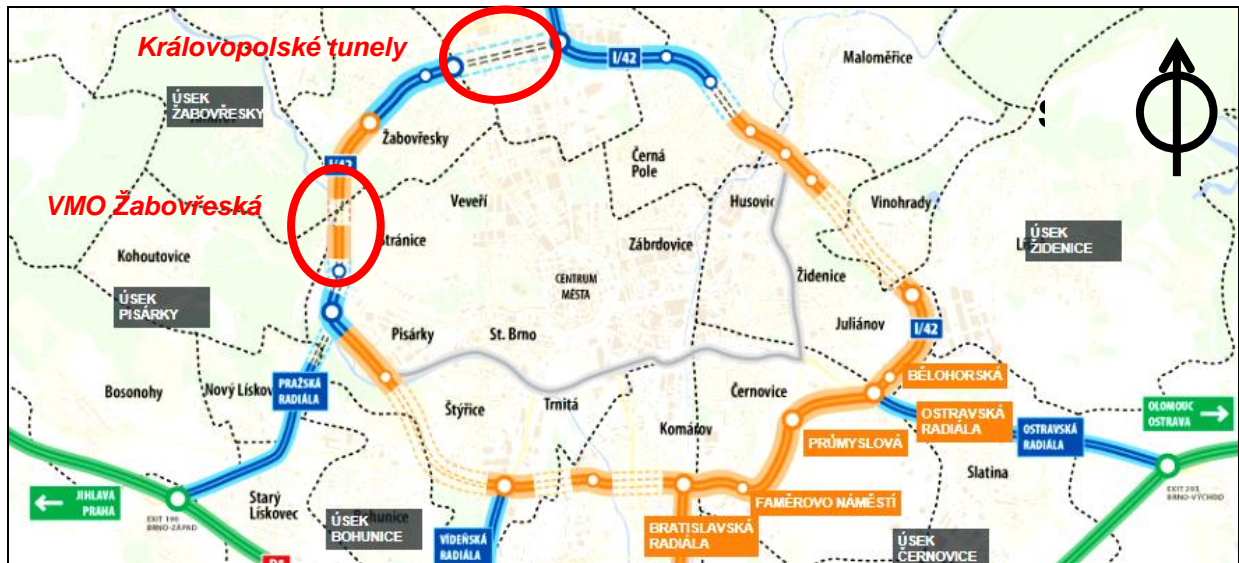
Autor předkládané dizertační práce se v praxi podílel jako řešitel na řadě geotechnických průzkumů a monitoringů. Jako stěžejní pro vypracování předkládané dizertační práce vyhodnotil data nasbíraná v rámci následujících akcí:

- Geotechnický průzkum pro Královopolské tunely v Brně. [17]
- Geotechnický průzkum pro tramvajový tunel jako součást VMO Žabovřeská. [18]
- Geotechnický monitoring z výstavby Královopolských tunelů v Brně. [16]

6.1 GEOTECHNICKÝ PRŮZKUM PRO TRAMVAJOVÝ TUNEL V RÁMCI VMO ŽABOVŘESKÁ V BRNĚ

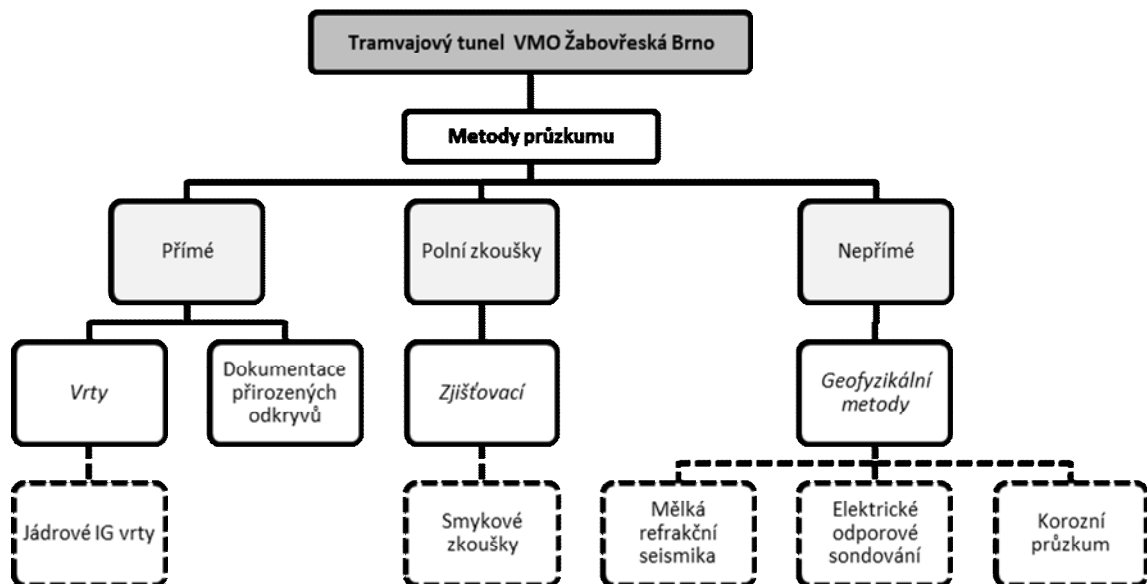
Náplní průzkumu bylo vyšetřit a stanovit základní inženýrskogeologické, hydrogeologické a geotechnické charakteristiky pro realizaci stavebního záměru rozšíření komunikace I/42 VMO Žabovřeská v prostoru od MUK Hlinky směrem na Žabovřesky do prostoru Žabovřeských luk.

Celková délka řešené tunelové trasy činí podle projektu 520 m. Úsek, kde bude trasa ražena má délku cca 370m, zbylé části trasy budou budovány jako hloubené a následně přesypané.



Obr. 3: Plán VMO Brno s vyznačením řešených lokalit [b]

Kromě standardních metod a prvků průzkumu (schéma viz obr. č. 1) byly na lokalitě v oblasti jižního portálu s úspěchem aplikovány polní smykové zkoušky pro stanovení geotechnických parametrů skalního masivu. Zkoušky byly uspořádány tak, aby bylo možno stanovit především pevnostní charakteristiky (vrcholovou smykovou pevnost, reziduální smykovou pevnost, mez kluzu) v předem určené rovině a informativně i deformační vlastnosti horninového masivu – moduly přetvárnosti. Vzhledem k tomu, že zde nebyla možnost tyto zkoušky realizovat v žádném podzemním průzkumném díle, bylo nutno zkoušky provádět na povrchu a jejich metodiku upravit.



Obr. 4: Schéma GTP pro tramvajový tunel, VMO Žabovřeská Brno

6.1.1 Zhodnocení GTP pro tramvajový tunel VMO Žabovřeská v Brně

V rámci GTP pro tramvajový tunel úseku VMO Žabovřeská v Brně byly provedeny vrtné a geofyzikální práce, geotechnická dokumentace přirozených odkryvů a skalních výchozů a polní smykové zkoušky.

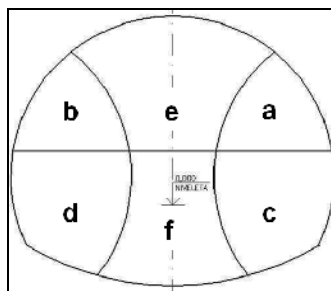
Celkově lze provedený podrobný průzkum zhodnotit jako dostatečný pro DZS/RDS zejména v oblastech jižního portálu a přesypaných částí. Zcela chybí průzkum v oblasti severního portálu. Stavba by měla být s určitostí ražena podle zásad či s přihlédnutím k zásadám NATM. Nedostatečnost dat získaných v oblasti ražené části tunelu a severního portálu lze zcela nahradit vhodnou aplikací observačních postupů. Nutný je kvalitní a propracovaný projekt geotechnického monitoringu během výstavby. Rozmístění a volba druhu jednotlivých prvků monitoringu by měla projektantovi díla osvětlit chybějící informace z GTP. V rámci monitoringu se investorovi doporučuje zajistit kvalitní a včasný sběr a přenos dat k projektantovi, čímž dojde k významnému snížení geotechnických rizik stavby. Doplňkový průzkum před zahájením výstavby není podle autora předkládané práce nutný.

6.2 GEOTECHNICKÝ PRŮZKUM PRO KRÁLOVOPOLSKÉ TUNELY V BRNĚ

Geotechnický průzkum byl proveden v letech 2001 - 2003 za účelem získání podkladů pro vypracování projektu stavby silničního tunelu, jež bude součástí Velkého městského okruhu (VMO). Tunel spojuje městské části Žabovřesky a Královo Pole. Sestává ze dvou tunelových trub I a II. Tunel je veden v intravilánu města Brna, v nadloží se mimo jiné nacházejí koleje tramvajové dopravy.

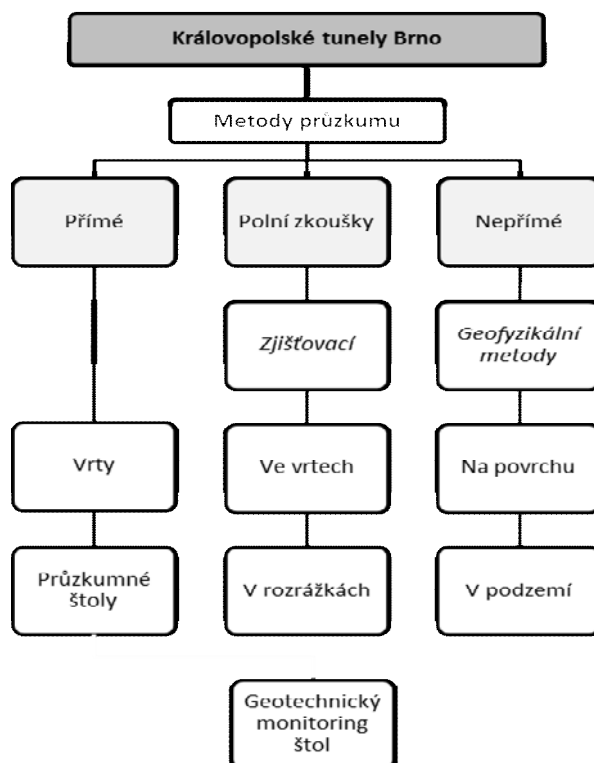
Tunelová trouba I má délku 1237 m, z čehož 1019 m připadá na část raženou a 218 m na část hloubenou a tunelová trouba II je délky 1258 m, z níž 1060 m je ražených a zbývajících 198 m hloubených. Výrubový profil tunelu činí cca 130 m². Nadloží obou tunelů je nízké a pohybuje se v rozmezí cca 6 až 21 m.

Jako základní průzkumná díla určil zadavatel tři průzkumné štoly o celkové délce 2027 m, jež měly vzhledem k navrhované technologii provádění ražených částí tunelu členěným výrubem určenou polohu a tvar tak, aby mohly být součástí budoucího tunelového díla. V prostoru tunelové trouby I zadavatel požadoval vyražení jedné štoly označené IB, v prostoru tunelové trouby II dvě štoly IIA a IIB.



Obr. 5: Královopolské tunely, schéma členěného výrubu, pohled ve směru ražby [1]

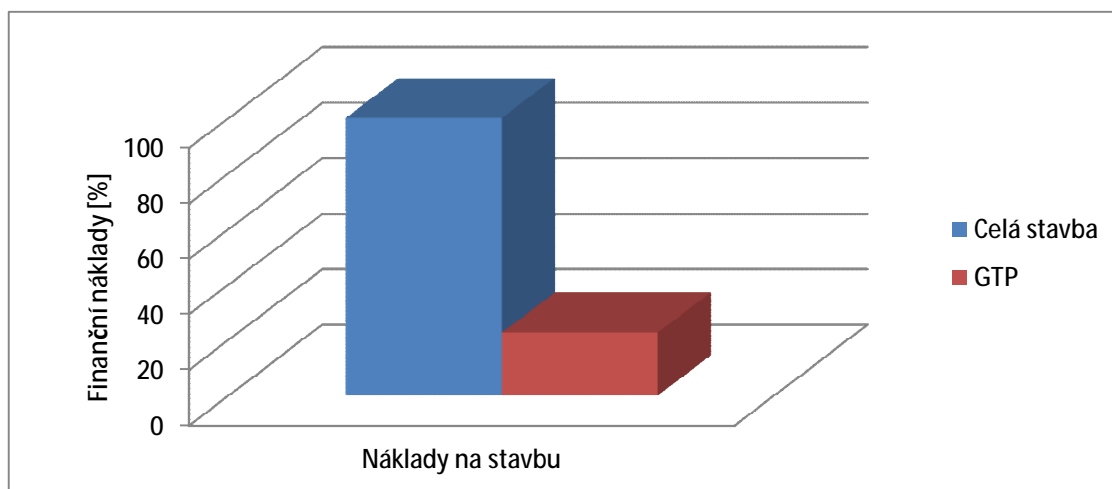
V rámci GTP byly použity všechny dříve definované metody. Nejrozsáhlejší část představovaly průzkumné štol, které byly ovšem doplněny systémem dalších přímých i nepřímých metod. Schéma použitých průzkumných metod a systému průzkumu je znázorněno na obrázku č. 10.



Obr. 6: Schéma systému geotechnického průzkumu Královopolských tunelů v Brně

6.2.1 Zhodnocení GTP pro Královopolské tunely v Brně

Největší objem prací v rámci GTP, jak finanční tak fyzický, zaujímala ražba průzkumných štol a s tím související geotechnické sledování včetně provedených polních zkoušek.



Obr. 7: Porovnání finančních nákladů na stavbu a GTP v rámci Královopolských tunelů v Brně

Celkově lze geotechnický průzkum pro Královopolské tunely zhodnotit jako nadstandardní. Získané geotechnicko-geologické informace byly svoji kvalitou i množstvím více než dostačující. Z hlediska finančních nákladů tvořil geotechnický průzkum cca $\frac{1}{4}$ z celkových nákladů stavby. Opět, stejně jako v případě předcházejícího hodnoceného průzkumu pro tramvajový tunel, byly podklady získané z GTP pro návrh tunelu dostačující.

Z předchozího vyplývá, že GTP pro Královopolské tunely, byl zejména z důvodu ražby tří průzkumných štol značně naddimenzovaný. Pro získání, pro projekt relevantních, informací, postačovala realizace jedné průzkumné štoly včetně polních zkoušek v podzemí v kombinaci s hustší sítí povrchových průzkumných děl doplněných systémem polních zkoušek prováděných ve vrtech. Sofistikovanější a citlivější přístup k přípravě projektu GTP mohl ušetřit značné finanční náklady.

6.3 GEOTECHNICKÝ MONITORING (GTM)

V rámci vypracování této práce jsou zhodnoceny systém a výsledky geotechnického monitoringu výstavby Královopolských tunelů v Brně [16], kde bylo geotechnické sledování obsahem i formou značně rozsáhlé. Ražba tunelu probíhala od ledna 2008 do dubna 2010, geotechnický monitoring byl prováděn od října 2006 do června 2011. V časovém období před výstavbou tunelu se jednalo převážně o tzv. záruční monitoring průzkumných štol.

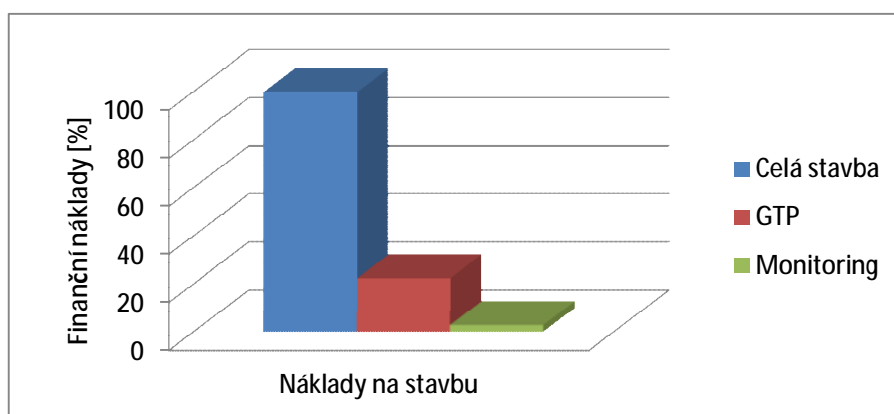
Úkolem geotechnického sledování - monitoringu během výstavby bylo poskytování informací o reakci horninového masivu na ražbu tunelu a o interakci horniny se stavbou. Vedle sledu bezprostřední reakce horniny na ostění raženého tunelu byl monitorován i vliv na objekty povrchové zástavby.

Komplexní geotechnická měření umožňovala ověření správnosti vstupních dat do výpočetních schémat pro dimenzování tunelových ostění a pro celkové posouzení správnosti použitého modelu.

6.3.1 Zhodnocení GTM Královopolských tunelů v Brně

Celkově lze konstatovat, že systém monitoringu nebyl dle projektu optimalizován na rozsah provedeného GTP. Realizované geotechnické sledování výstavby bylo provedeno v rozsahu, který by odpovídal zredukovanému GTP, jak je uvedeno v kapitole 6.2.1.

Na obranu rozsáhlosti geotechnického sledování je nutno říci, že tunel byl ražen v problematických geologických podmínkách neogenních jíílů v husté městské zástavbě a s nízkým nadložím. Většina měření geotechnického monitoringu byla orientovaná na sledování objektů v nadloží tunelu. Je možné, že některá měření byla, s odstupem času, prováděna zbytečně. Nicméně oprávněný strach investora i projektanta, vztažený k účinkům ražby na povrchovou zástavbu, může tato sledování ospravedlnit. Není předmětem této práce vyvracet nebo zdůvodňovat rozsah sledování objektů v nadloží tunelu. Optimalizace průzkumu a monitoringu je vázána na relevantnost a rentabilitu získaných dat vůči geotechnickému návrhu konstrukce a jejímu stavebně – inženýrskému provedení.



Obr. 8: Porovnání finančních nákladů na stavbu, GTP a GTM v rámci Královopolských tunelů v Brně

7 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT, SROVNÁNÍ S PŘEDPOKLADY VÝPOČTU

V této kapitole je předložen progresivní způsob vzájemného porovnání dat získaných z měření vybraných prvků monitoringu. Jeho účelem je zejména ukázat ne příliš účelné měření konkrétních vybraných prvků monitoringu.

7.1 GEOTECHNICKÝ VÝPOČET

Geotechnický výpočet a návrh konstrukce ražené části tunelu byl realizován akciovou společností Amberg Engineering Brno a to v letech 2001 – 2007. Výpočet byl proveden ve dvou etapách. Nejdříve byl realizovaný statický návrh ostění průzkumných štol, který byl později rozšířen o návrh ostění obou tunelů a to ve stupni projektové dokumentace pro stavební povolení. Pro návrh ostění tunelu v DSP byl použit výpočetní program FLAC, který pracuje na principu metody konečných prvků. Použití tohoto programu není v našich zemích obvyklé, proto investor doporučil zhotoviteli statického výpočtu tento uskutečnit v programu, jehož výstupy budou pro oponenty návrhu srozumitelnější. Proto byl ve fázi RDS proveden geotechnický výpočet v softwaru PLAXIS 2D, verze 8.4, který též pracuje na principu metody konečných prvků, ovšem jeho výstupy jsou mnohem srozumitelnější a vizuálně přijatelnější. Odpovědnými řešiteli geotechnických výpočtů byly Ing. J. Pechman (FLAC) a Ing. L. Kosík (PLAXIS).

Pro účely této práce je použit geotechnický model zpracovaný v říjnu 2007 Ing. Kosíkem (Amberg Engineering Brno, a.s.) v programu PLAXIS. Jako reprezentativní byl vybrán řez v km 1,078 v základním profilu tunelu.

Podrobné výsledky geotechnického výpočtu nejsou v tomto textu prezentovány, v závěru kapitoly bude pouze provedeno porovnání naměřených a z modelu očekávaných hodnot deformací.

7.2 SROVNÁNÍ DAT VYBRANÝCH MĚŘENÍ

V rámci vypracování předkládané dizertační práce bylo provedeno porovnání získaných dat vybraných měření prvků monitoringu Královopolských tunelů v Brně za účelem názorného dokázání jejich účinnosti a rentability.

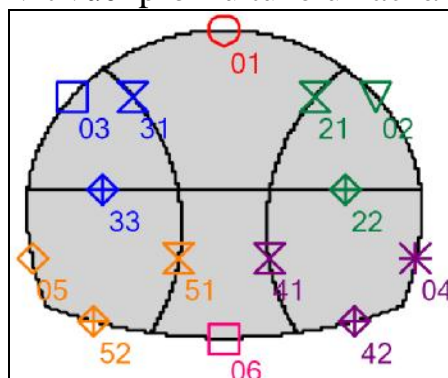
Porovnána byla konvergenční měření ve vybraných profilech s výsledky extenzometrických a inklinometrických měření. Aby byla naměřená data srovnatelná, musely být vybrány takové konvergenční profily, v jejichž těsné blízkosti (či přímo v profilu) se nacházejí inklinometrické a extenzometrické vrty. Vybrané porovnávané prvky jsou přehledně shrnuty v následující tabulce č. II.

Tabulka II: Srovnávané prvky monitoringu

Tunel I			Tunel II		
KVG profil	Inklino	Extenzo	KVG profil	Inklino	Extenzo
KVG TI/816	18		KVG TII/634		EXTII/6
KVG TI/1360		EXTI/1	KVG TII/1055	7	
			KVG TII/1250	9	
				10	

7.2.1 Srovnání konvergenčních a inklinometrických měření

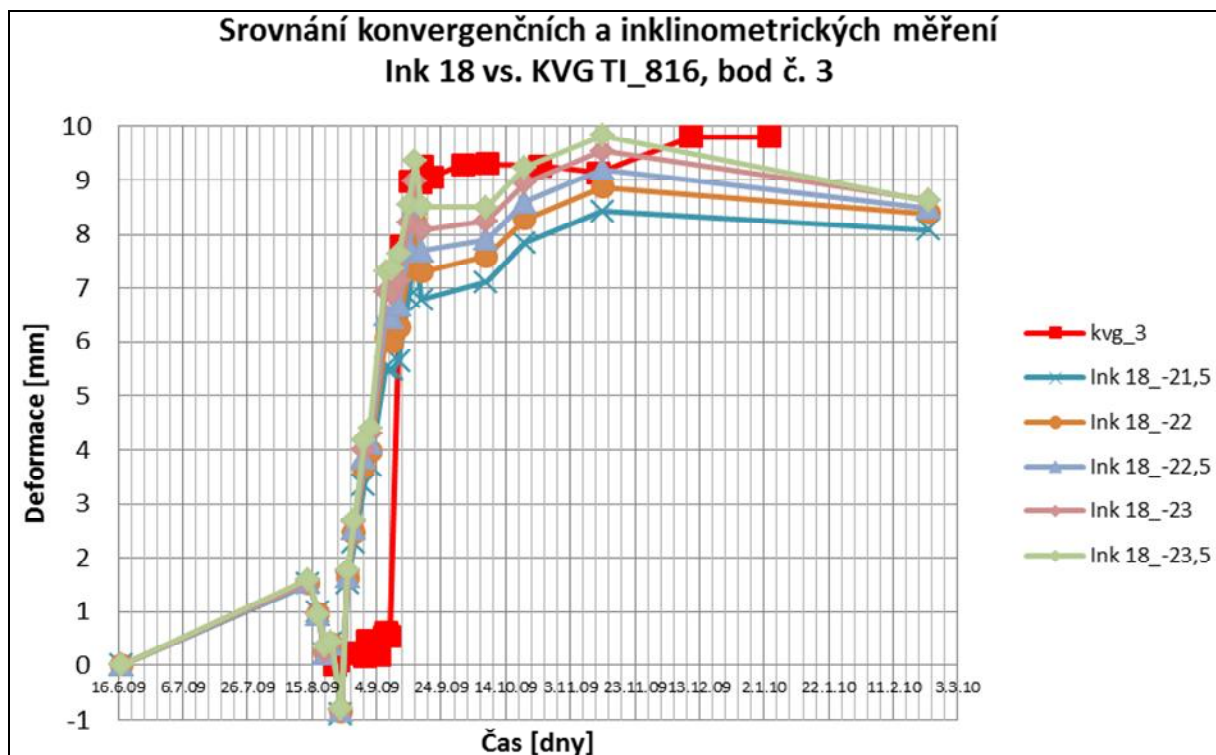
Porovnání získaných hodnot z těchto dvou měření proběhlo vždy pro dva konkrétní body konvergenčního výrubu. Buď se jednalo o bod 2 a 4, nebo 3 a 5, dle toho, kde se inklinometrický vrt vůči profilu tunelu nacházel.



Obr. 9: Rozmístění konvergenčních bodů na ostění tunelu, pohled proti směru ražby [16]

Z dat monitoringu Královopolských tunelů není zřejmé, v jaké hloubce pod povrchem se ten daný bod konvergenčního profilu nachází. Proto byly deformace konvergenčních bodů porovnávány s deformacemi inklinometrické pažnice v několika hloubkách.

Srovnávány v tomto případě byly hodnoty vodorovných deformací vtažené kolmo k ose tunelu. Kladné znaménko znamená, že deformace se propagovala směrem do tunelu, záporná směrem opačným.



Obr. 10: Srovnání inklinometrických a konvergenčních měření, INK18 a KVG TI/8126, bod č. 3

Na obrázku 10 je vidět průběh deformací inklinometrické pažnice ve vrtu INK 18 v hloubkách 21,5 – 23,5 m pod terénem v korelaci s průběhem vodorovné deformace bodu č. 3 konvergenčního profilu TI/816. Z grafu je zřejmé, že tvar křivky průběhu deformací inklinometru a konvergenčního bodu je v podstatě shodný. Dokonce i velikost naměřených hodnot se příliš neliší, rozptýl se pohybuje v rozmezí cca 1 mm.

V tabulce III jsou uvedeny maximální dosažené hodnoty vodorovných deformací srovnávaných prvků monitoringu s hodnotami předpokládanými z geotechnického modelu.

Tabulka III: Srovnání předpokladů výpočtu s naměřenými hodnotami, konvergenční a inklinometrická měření

Srovnání předpokladů výpočtu s naměřenými hodnotami, konvergenční a inklinometrická měření			KVG 2=3 [mm]	KVG 4=5 [mm]	
Tunel I	Výpočetní profil	1078	Po zabudování	43,0	32,0
			1 rok po zabud.	42,0	21,0
	KVG profil	816		9,8	4,9
	INK	18		9,8	9,6
Tunel II	Výpočetní profil	1070	Po zabudování	38,0	29,0
			1 rok po zabud.	39,0	10,0
	KVG profil	1055		13,7	1,5
	INK	7		14,7	19,8
Tunel II	Výpočetní profil	1070	Po zabudování	38,0	29,0
			1 rok po zabud.	39,0	10,0
	KVG profil	1250	Body 3 a 5	4,4	10,8
	INK	9		6,4	9,7
	KVG profil	1250	Body 2 a 4	14,2	1,2
	INK	10		6,1	3,6

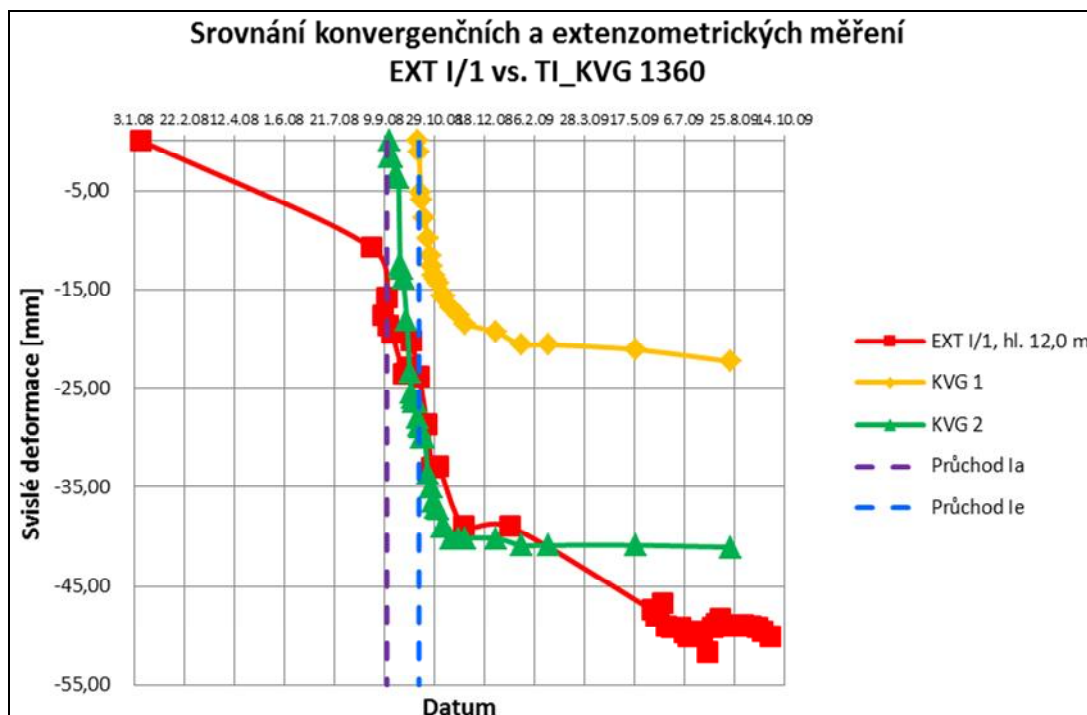
Z tabulky III je zřejmé, že naměřené hodnoty nepřekročily hodnoty předpokládané výpočtem.

7.2.2 Srovnání konvergenčních a extenzometrických měření

Obdobně jako v případě porovnání naměřených hodnot vodorovných deformací bodů konvergenčních profilů a inklinometrických sond bylo toto porovnání provedeno i pro případ extenzometrů. V tomto případě byly ovšem srovnávány hodnoty svislých deformací, v případě bodů konvergenčního profilu se jednalo o sedání. Kromě konvergenčních bodů č. 2 a 4, příp. 3 a 5, byl do vyhodnocení zahrnut také bod umístěný ve vrcholu kaloty č. 1.

V každém tunelu bylo nalezeno pouze jedno vhodné místo, kde je v blízkosti konvergenční profil s extenzometrem. Z extenzometrických kotev byla vybrána ta kotva, která se nachází nejbližší tunelu, případně nejbližší srovnávaným konvergenčním bodům.

Vyhodnocení bylo provedeno graficky. Deformace jednotlivých kotev extenzometrů jsou zde vyneseny jako celkové svislé posuny, tzn. včetně pohybu zhlaví extenzometru získaného přesnou nivelací na povrchu terénu.



Obr. 11: Srovnání extenzometrických a konvergenčních měření, EXT I/1 a KVG TI/1360, body č. 1 a 3

Z grafu na obrázku 18 je zřejmé, že svislý pohyb extenzometrické kotvy v hloubce 12,0 m nejlépe koresponduje se svislým pohybem konvergenčního bodu 2. Lze konstatovat, že charakter křivky deformací je obdobný, zatímco velikost dosažených deformací je od určité doby rozdílná. V tomto případě došlo téměř k zastavení deformací obou sledovaných bodů konvergenčního profilu. Tuto skutečnost je možno připsat uzavření celkového profilu po vyražení všech dílčích výrubů.

Obdobně, jako v případě inklinometrických měření bylo tabelárně provedeno porovnání předpokladů výpočtu se skutečně naměřenými hodnotami.

8 ZÁVĚR

V předcházejících kapitolách byly stručně shrnuty současné požadavky na geotechnický průzkum a monitoring podle platných předpisů. Dále byl na konkrétních případech realizovaných akcí zhodnocen systém a kvalita provedení GTP a monitoringu. V předcházející kapitole č. 7 bylo provedeno netradiční srovnání vybraných prvků monitoringu, které mělo za úkol, mimo jiné, ukázat účelnost porovnávaných prvků geotechnického sledování.

V této kapitole bude uveden princip optimalizace geotechnického průzkumu a monitoringu pro případ podzemních staveb, který ve svém konečném důsledku může vést ke zkvalitnění získávaných výsledků a v neposlední řadě k úspoře ekonomické. Současně budou vyzdvíženy prvky GTP a monitoringu, jež mají v případě podzemního stavitelství větší význam. Z hlediska etapovitosti průzkumu

se bude v následujícím textu hovořit zejména o etapě podrobného GTP. Samozřejmě budou uvedeny i doporučení ohledně etapovitosti GTP.

8.1 GEOTECHNICKÝ PRŮZKUM

Řada v současné době prováděných geotechnických průzkumů pro podzemní stavby je formálně naddimenzovaná. Na projektech GTP je patrné, že jejich zhotovitel jako by nebral v úvahu základní principy observační metody, případně její aplikace ve formě NATM.

Zadavatelem GTP je ve většině případů investor, který si nechá projekt zpracovat odbornou firmou. Před zahájením prací na projektu GTP je nutné, aby investor ve spolupráci se zhotovitelem projektu GTP definoval kvalitativně i kvantitativně geotechnická rizika. Hlavní rizika, která by měla do návrhu vstupovat jsou zejména:

- *Míra znalosti zkoumané lokality* – vychází z poznatků získaných z rešeršních prací případně z předcházejících etap průzkumných prací (předběžný průzkum).
- *Přístupnost pro přímá průzkumná díla z povrchu* – projektant musí zhodnotit zejména ekonomickou efektivitu a dopady na životní prostředí v případě obtížně přístupného terénu v nadloží tunelu či v příportálových oblastech.
- *Vliv podzemní stavby na objekty v nadloží* – zejména v případě tunelů prováděných v městském prostředí je nutno toto riziko hodnotit jako nejvýznamnější.

Výše uvedený výčet rizik můžeme označit souhrnným názvem „vstupní rizika GTP“.

Sofistikovaným zhodnocením vstupních rizik vytvoří zadavatel GTP relevantní podklad pro vypracování projektu GTP.

Projekt podrobného GTP musí být zpracován tak, aby podal dostatečné znalosti o geotechnických vlastnostech zkoumaného prostředí pro vypracování stupňů DSP/ZDS/RDS. V závěru projektu GTP by se měla objevit rozvaha o míře prozkoumání řešeného území s definicí předpokládaných nejasností - tzv. „výstupní rizika GTP“ (například návrh průzkumné štol, požití penetračních sond namísto vrtů, atp.). Zadavatel projektu GTP zhodnotí míru přijatelnosti výstupních rizik a případně předá projekt k přepracování.

Již ve fázi projektu GTP by měl jeho realizátor přihlídnout k možnosti doplnění geotechnických informací v rámci monitoringu budoucí stavby.

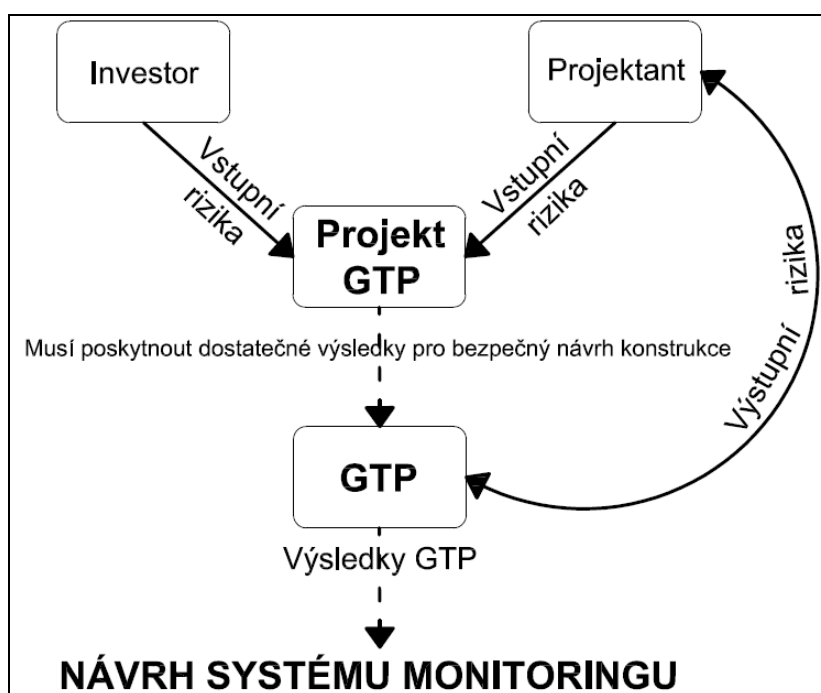
V případě provádění podrobného GTP je nutné, aby jeho zhotovitel aktivně komunikoval s jeho projektantem a zadavatelem a případné nejasnosti, nebo z průběhu prací vyplývající nedostatečnosti, průzkumu operativně řešit (například doplněním několika průzkumných sond).

V závěrečné zprávě z geotechnického průzkumu musí být, mimo obvyklých doporučení a výčtu zjištěných skutečností, i návrh geotechnického monitoringu. Zpracovatel závěrečné zprávy musí nahlížet kriticky na získané výsledky GTP a sám

navrhnout, jakým způsobem lze dosáhnout požadovaných doplňujících výsledků v průběhu provádění kontrolního sledování výstavby.

V případě podzemních staveb realizovaných podle principu observační metody by nemělo být obvyklé (jak je tomu doposud) provádění doplňkového průzkumu. Informace, které lze získat během doplňkových průzkumných prací, mohou být stejně dobře získány vhodným systémem monitoringu během výstavby. Doplňkový GTP by měl být realizovaný pouze v případě naprosto nedostatečného podrobného průzkumu. Investor a současně i projektant stavby by však neměl dopustit realizaci nedostatečného podrobného průzkumu již ve fázi jeho projektu.

Na obrázku 12 je schematicky naznačen navrhovaný přístup k optimalizaci GTP na základě předpokladu následného provádění kontrolního sledování během výstavby.



Obr. 12: Princip optimalizace geotechnického průzkumu

8.1.1 Zhodnocení metod a prvků geotechnického průzkumu

Součástí této dílčí kapitoly bude zhodnocení jednotlivých metod a prvků geotechnického průzkumu pro podzemní stavby, které byly definovány v kapitole 2. Kritéria hodnocení jsou kvalita získaných dat v korelaci s finanční náročností jednotlivých posuzovaných prvků. Zhodnocení bude provedeno tabelárně v tabulce IV, a v dalším textu okomentováno.

Tabulka IV: Zhodnocení metod a prvků GTP

Metoda	Prvek	Prozkoumanost						Ekonomické hledisko			Zhodnocení
		Geolog. vl.			Geotech. vl.			D	E	F	
		A	B	C	A	B	C				
Přímá	Vrt		■			■			■		Nutnost lab. zkoušek
	Hl.sonda		■			■		■			Nutnost lab. zkoušek
	Štola			■			■			■	Geotech. vl. pouze z pol. zk.
Nepřímá	Penetr.		■				■	■			Většinou pouze v zeminách
	Geofyz.		■		■				■		Základní znalost prostředí
Polní zkoušky	Vrty		■				■		■		Výhodou je IG vrt
	Povrch						■			■	Např. portály tunelu
	Podzemí						■			■	Náklady zvyšují průz. štoly

Vysvětlivky k tabulce; Odborná kritéria: A – nedostatečná informace, B – dobrá informace, C – nadstandardní informace. Ekonomická kritéria (hodnotí se kvalita získaných informací vůči finančním nákladům na jejich získání): D – ekonomicky nevýhodné, E – standardní, F – ekonomicky výhodné.

Obecně je známý fakt, že nejdůležitější součástí geotechnického průzkumu jsou přímá průzkumná díla. Nejběžněji jsou používány inženýrskogeologické a hydrogeologické průzkumné vrty, méně pak pro podzemní stavby hloubené (kopané) sondy. Problematika vrtů byla rozebírána v literatuře již mnohokrát, v rámci hydrogeologického průzkumu jsou nenahraditelné. V rámci geotechnického průzkumu jsou ovšem s výhodou zastupitelné penetračními sondami, které, bez nutnosti odběru vzorků a provádění laboratorních analýz, dávají informace o geotechnických vlastnostech horninového masívu v přirozeném uložení. Běžně jsou penetrace bohužel použitelné pouze v zeminách či poloskalních horninách. Dále je jako penetrační metoda doporučována standardní penetrační zkouška SPT jako doplněk při realizaci inženýrskogeologických průzkumných vrtů. Při návrhu podrobného GTP je doporučeno omezit vrtná díla na minimální možnou míru tak, aby těmito vrty byla popsána základní geologická skladba a zbytek nahradit penetračními sondami (ovšem umožňují-li to geologické podmínky).

Diskutabilní a často rozebíraná je problematika průzkumných štol. Nelze jednoznačně konstatovat, zdali průzkumné štoly realizovat či nikoli. Tyto by měly být provedeny vesměs pouze v takových případech, kdy je míra geotechnických

rizik spojených se stavbou tunelu vysoká. Jedná se o případy projektů tunelů v městských aglomeracích či v mimořádně složitých geotechnických podmínkách (např. nízké nadloží, silně tektonicky porušený masív, atp.). I v těchto případech by se mělo k realizaci průzkumných štol přistupovat velmi citlivě a zejména jejich délku omezit na nejnutnější míru tak, aby bylo možno prozkoumat geologicky nejsložitější úseky projektovaného tunelu, případně tak, aby bylo možno realizovat polní zkoušky v podzemí. Klasický případ neekonomického přístupu k průzkumným štolám je uveden v kapitole 6.1.2.

Geofyzikální průzkumné metody jsou v současnosti také přeceňovány. Svoje místo mají zejména v etapě předběžného průzkumu, kdy mají za úkol sdělit základní informace o geologickém prostředí. V etapě podrobného průzkumu musí být jejich nasazení opodstatněné a měly by být použity pouze speciální geofyzikální metody, jako například prozařování mezi vrty či štolami. Geofyzikální metody mohou být finančně nákladné a kvalita získané informace je diskutabilní.

Významnou součástí GTP z hlediska geotechnických vlastností zkoumaného prostředí jsou **polní zkoušky**. Výsledky polních zkoušek nelze ničím nahradit. Ovšem přistupovat vždy k nákladným zkouškám realizovaným v rozrážkách průzkumných štol nelze. V rámci GTP mají být provedeny zejména polní zkoušky ve vrtech, které podají dostačující informace o chování zkoumaného masívu a ze kterých lze bezpečně určit geotechnické vlastnosti zastižených zemin a hornin nutné pro návrh podzemního díla. Je nutné si uvědomit, že největším průzkumným dílem je právě samotný realizovaný tunel. Vhodně zvolený systém monitoringu nahradí průzkumné štoly a rozrážky pro polní smykové zkoušky v podzemí.

8.2 GEOTECHNICKÝ MONITORING

Z hlediska důležitosti je geotechnické sledování během výstavby přinejmenším na stejné úrovni jako geotechnický průzkum. V současné době je v platných předpisech [VII] [VIII] [X] [XI] observační metoda zakotvena jako možný způsob návrhu konstrukce. V praxi se ovšem na tuto skutečnost zapomíná a geotechnický monitoring je většinou omezen pouze na sběr dat bez hlubší geotechnické interpretace a bez závažných zásahů do realizace díla.

Jak bylo shrnuto v přecházející podkapitole 8.1 má geotechnický monitoring za úkol nahradit potřebu doplňkových průzkumů a osvětlit nejasnosti vyplývající z geotechnického průzkumu. I přes skutečnost, že toto není v současné praxi běžné, jsou však prováděna geotechnická sledování často naddimenzovaná. To je způsobeno zejména neodborným nakládáním s prvky monitoringu a jejich rozmístěním, ale současně i zbytečně vysokými nároky na geotechnický průzkum.

Princip optimalizace geotechnického průzkumu a monitoringu je jednoduchý. Kritický postoj investora a projektanta vůči zadání geotechnického průzkumu musí donutit projektanta GTP a jeho zhotovitele brát v úvahu základní principy

observační metody. Nejdůležitějším výstupem z GTP musí být návrh monitoringu, který doplní chybějící údaje, jež nebylo možno během průzkumných prací získat.

8.2.1 Zhodnocení metod a prvků geotechnického monitoringu

V rámci této podkapitoly bude provedeno zhodnocení jednotlivých metod a prvků geotechnického monitoringu pro podzemní stavby, které byly definovány v kapitole 5 a vyhodnoceny v kapitole 7. Zhodnocení je provedeno tabelárně v tabulce V, a v dalším textu okomentováno.

Tabulka V: Zhodnocení metod a prvků GTM

GTM	Prvek	Získaná data			Ekonom. hledisko			Zhodnocení
		A	B	C	D	E	F	
V podzemí	Sled ražby		■				■	Rozdílná četnost sledování
	KVG			■		■		Hlavní zdroj informací
	Napětí na ostění	■					■	Výsledky jsou diskutabilní
	Teplota		■			■		Podružné měření v ostění
Na povrchu	EXT		■			■		Hlavní zdroj informací
	INK	■				■		Určeno především pro jiné typy geotechnických úloh
	Klouzavé deformetry			■		■		Nahrazují EXT a INK
	Hydromonitoring		■				■	Nelze vyloučit
	Měření deformací na povrchu		■			■		Hlavní zdroj informací
	Sledování objektů v nadloží		■			■		Nelze vyloučit

Vysvětlivky k tabulce; Odborná kritéria: A – nedostatečná informace, B – dobrá informace, C – nadstandardní informace. Ekonomická kritéria (hodnotí se kvalita získaných informací vůči finančním nákladům na jejich získání): D – ekonomicky nevýhodné, E – standardní, F – ekonomicky výhodné.

Důležitým prvkem monitoringu je geologický a geotechnický sled ražby. Jedná se o kontinuální sledování výstavby, kdy by měly být kontrolovány předpokládané geologické podmínky za současné kontroly technologie provádění. Sled ražby nelze vypustit, nicméně nemusí být naddimenzovaný a je nutno dopředu určit již

v závěrečné zprávě z GTP, které úseky ražby je nutno bezpodmínečně sledovat resp. s jakou četností.

Hlavním zdrojem informací o chování systému horninový masív – tunelové ostění jsou konvergenční měření. Jejich důležitost i účinnost jsou názorně vysvětleny v kapitole 7.

Diskutabilní je měření napětí na ostění, zejména pak na kontaktu primární ostění – horninový masív. Tato měření jsou značně nákladná, zejména z hlediska přístrojového vybavení, a nákladnost měření zcela neodpovídá kvalitě získaných informací. Podle zkušeností cca 1/3 až 1/2 prvků měření bývá nefunkční.

Častým měřením prováděným v rámci geotechnického sledování jsou extenzometrická a inklinometrická měření. Obě tyto měření slouží zejména k ověření vlivu realizace tunelu na horninový masív a k zachycení účinků ražby v předstihu před jejím průchodem. Vzájemné porovnání jejich výsledků s naměřenými hodnotami v rámci konvergenčních měření jsou provedena v kapitole 7. V příloze č. 1 je jasně ukázáno, v jakém předstihu před průchodem ražby jsou získávány informace z těchto dvou měření. Z komparace v kapitole 7 je zřejmé, že účinnost zejména inklinometrických měření je značně diskutabilní. Tato měření jsou vhodná pro kontrolu deformací v rámci svahových pohybů či deformací pažení stavební jámy, ale v případě podzemních staveb mohou být vynechána nebo omezena na minimum.

S výhodou lze použít moderní klouzavé deformetry (někdy též nazývány jako 3D inkлина), které v sobě zahrnují výhody extenzometrických i inklinometrických měření. Jejich použití v našich podmínkách je zatím pouze v začátcích, nicméně tomuto prvku monitoringu by měl být věnován značný důraz při sestavování projektu geotechnického sledování. Jedná se však o nákladné měřicí prvky.

Při provádění průzkumných prací mají být realizovány pozorovacích hydrogeologické vrty, které budou sloužit dále během výstavby jako prvky hydromonitoringu. Finanční úsporu může znamenat využití stávajících studní jako prvků hydromonitoringu.

Neodmyslitelnou součástí monitoringu je sledování deformací na povrchu území v nadloží tunelu, zejména pak nivelační měření poklesové kotliny. Tvar i skutečnou velikost poklesové kotliny je nutné znát, zejména z důvodů zhodnocení vlivu ražby na objekty v nadloží.

LITERATURA

- [1] Amberg Engineering Brno a.s., Kosík, L., *Silnice I/42 Brno VMO Dobrovského B, Tunel I a II, ražená část, statický výpočet*, Brno, 2007
- [2] BARTÁK, J., *Vývoj podzemního stavitelství v České republice*, časopis Silnice Železnice, Praha, 2010
- [3] BLÁHA, P., ČERNÝ, V., DURAS, R., FOUSEK, J., HORSKÝ, O., *Geotechnical Surveys for the Feasibility Study for Bawanur Dam*, In: Hydro 2011 – Collection of contributions, Hydro 2011, London, 2011, počet stran 8
- [4] BLÁHA, P., ČERNÝ, V., DURAS, R., FOUSEK, J., HORSKÝ, O., LAZECKÝ, M., OPRCHAL, J., TÁBOŘÍK, P., PESHAWA, A., *Geotechnical Surveys for the Feasibility Study for Bawanur Dam Sites*, EGRSE, International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment, ČAAG, Praha, 2010, počet stran 14, ISSN 1803-1447
- [5] CREA Hydro & Energy, o.s.; Černý, V., Fousek, J., Vižďa, P., *Feasibility study a design for Bawanur Dam and Garmian Irrigation Canal*, Brno, 2013
- [6] ČERNÝ, V., *Geotechnický průzkum a projekt pro přehradu Bawanur a zavlažovací kanál v oblasti Garmian, region Kurdistán, Irák*, Zakládání staveb 2012, počet stran 6, ISBN 978-80-86604-59-6
- [7] ČERNÝ, V., *Geotechnický průzkum a projekt pro přehradu Bawanur a zavlažovací kanál v oblasti Garmian, v regionu Kurdistán, Irák*, Silnice a železnice, 2/2014
- [8] ČERNÝ, V., *Příklad využití MKP při navrhování komunálních podzemních staveb*, Odborný seminář doktorandů kateder geotechniky, ČVUT v Praze - FSv, Praha, 2007, počet stran 11, ISBN 978-80-01-03922-9
- [9] ČERNÝ, V., *Progresivní postupy navrhování a realizace komunálních podzemních staveb v intravilánu*, 10. Odborná konference doktorského studia, Sborník příspěvků, Sekce 2.6 – Geotechnika, VUT – FAST, Brno, 2008, počet stran 8, ISBN 978-80-86433-45-5
- [10] ČERNÝ, V., *Studie srovnání konvergenčních a inklinometrických měření na Královopolských tunelech v Brně*, Odborná konference doktorského studia, Sborník příspěvků, Sekce 2.6 – Geotechnika, VUT – FAST, Brno, VUT – FAST, Brno, 2010, počet stran 12, ISBN 978-80-214-4042-5
- [11] ČERNÝ, V., FOUSEK, J., *Problematika propustnosti horninového masívu v rámci geotechnického průzkumu pro přehradu Bawanur v Iráku*, Polní geotechnické metody 2012, počet stran 6
- [12] ČERNÝ, V.; RUPP, D., *Instrumentace a monitoring na souboru staveb Královopolských tunelů v Brně*, Stavební konstrukce z pohledu geotechniky (sborník), Brno, 2008
- [13] GEOTest, a.s., Černý, V., *Přelouč – penetrace, gt, Realizace a vyhodnocení penetračních zkoušek*, Brno, 2013

- [14] GEOTest, a.s., Černý, V., Hanák, J., *Býškovice – revitalizace rybníků, Závěrečná zpráva z GTP*, Brno, 2012
- [15] GEOTest, a.s., Černý, V., Hanák, V., Hubatka, F., *Dukovany – Edu, koncový jímač tepla, gt, Výsledky georadarového měření – 1. etapa*, Brno, 2014
- [16] GEOTest Brno, a.s., Kolektiv autorů, *Silnice I/42 Brno, VMO, Dobrovského B – monitoring, Závěrečná zpráva o geotechnickém monitoringu tunelu*, Brno, 2011
- [17] GEOTest Brno, a.s., Kolektiv autorů, *Silnice I/42 Brno – VMO Dobrovského A, průzkumné štoly. Podrobný geotechnický průzkum. Závěrečná zpráva*, Brno, 2003
- [18] GEOTest Brno, a.s., Kolektiv autorů, *I/42 VMO Žabovřeská, podrobný inženýrskogeologický průzkum pro tramvajový tunel*, Brno, 2008
- [19] HOEK, E., *Practical rock engineering*, Canada, 2007
- [20] HORÁK, V.; Kolektiv autorů, *Královopolský tunel Brno*, Brno, 2012
- [21] HORSKÝ, O.; BLÁHA, P., *Inženýrskogeologický průzkum pro přehrady*, Ostrava, 2008
- [22] KOLEKTIV AUTORŮ, *Zpravodaj Metro*, Technický odbor Metrostav, Praha, č. 2, ročník 1990
- [23] KŘIVINKA, G., *Projekt výškové budovy AZ Tower*, Časopis Stavebnictví, Praha, č. 06-07, ročník 2010
- [24] KOVÁRI, K.; Amstad, Ch., *Decision making and field measurements in tunnelling*, Tokyo, 1979
- [25] ROZSYPAL, A., *Geotechnické otázky hlubinných úložišť radioaktivních odpadů*, Časopis Tunel, ITA AITES, Praha, č. 3, ročník 2007
- [26] ROZSYPAL, A., *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*, Bratislava, 2001, ISBN 80-88905-44-3
- [27] SVOBODA, J., *Stavba dvoutubusového tunelu Valík, součást obchvatu Plzně na dálnici D 5*, Časopis Stavebnictví, Praha, č. 06-07, ročník 2007
- [28] TESAŘ, O., *Klasifikace skalních a poloskalních hornin*, Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb s.p., Praha, 1990
- [29] WONG, P.B., *Recommended Tunnel Construction Methods Study*, SF Subway Bulletin, San Francisco, U.S.A., březen 2004
- [30] ZÁZVORKA, P.; Vykydal, V., *Sedmý div České republiky*, Časopis Stavebnictví, Praha, č. 10, ročník 2007

Použité normy a předpisy:

- [I] ASTM D1586; *Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils*, 2004
- [II] ASTM 4633; *Test Method For Stress Wave Energy Measurment For Dynamic Penetrometer Testing Systems*, 2004

- [III] ASTM D6034; *Test Method (Analytical Procedure) for Determining the Efficiency of a Production Well in a Confined Aquifer from a Constant Rate Pumping Test, 2004*
- [IV] ASTM D6066; *Practice for Determining the Normalized Penetration Resistance of Sands for Evaluation of Liquefaction Potential, 2004*
- [V] EN 1990:2002; *Zásady navrhování konstrukcí*
- [VI] ČSN 73 6133; *Navrhování a provádění tělesa pozemních komunikací*
- [VII] ČSN EN 1997-1; *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla*
- [VIII] ČSN EN 1997-2; *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy*
- [IX] ČSN EN ISO 22476-2; *Geotechnický průzkum a zkoušení - Terénní zkoušky – část 12: statická penetrační zkouška s mechanickým hrotem*
- [X] TP 76 C; *Geotechnický průzkum pro navrhování a provádění tunelů pozemních komunikací*, Ministerstvo dopravy ČR, Odbor infrastruktury, platné od 1. ledna 2008
- [XI] TP 237; *Geotechnický monitoring tunelů pozemních komunikací*, Ministerstvo dopravy ČR, Odbor pozemních komunikací a územního plánu, platné od 1. července 2011

Internetové stránky:

- [a] www.mapy.cz (Mapový internetový portál provozovaný seznam.cz)
- [b] www.mestsky-okruh-brno.cz (Internetové stránky VMO Brno)
- [c] www.sisgeo.com (Internetové stránky italského výrobce geotechnických měřících zařízení SISGEO)
- [d] www.zakladani.cz (Internetové stránky akciové společnosti Zakládání staveb)

AUTOROVO CURRICULUM VITAE

Narozen 17. května 1983 ve Znojmě, svobodný, české národnosti

Vzdělání:

- 1998 – 2002 gymnázium ve Znojmě
2002 – 2007 magisterské studium, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, obor Konstrukce a dopravní stavby – geotechnika, státní zkouška – geotechnika

Další kvalifikace, kurzy:

- 2012 autorizovaný inženýr v oboru geotechnika č. 1005544

Pracovní zkušenosti:

- 2008 – 2014 GEOtest Brno, a.s., geotechnik specialista
2013 – 2014 AdMaS, junior researcher
2014 – dosud Arcadis CZ, a.s., zakázkový manažer

Zahraniční zkušenosti:

- 2010 – 2013 Irák – geotechnický průzkum pro přehradu Bawanur a zavlažovací systém
2010 – 2011 Bosna a Hercegovina – geotechnická část inženýrskogeologického průzkumu pro obchvat Zenice,

Účast na projektech, ostatní:

- 2009 Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, advanced geotechnical course, Erasmus 8203-0520/IP/ZILINA01
2013 Cena prof. Bažanta za přínos a rozvoj v geotechnice za rok 2013 za práci „Geotechnický průzkum pro přehradu Bawanur a zavlažovací systém v Iráku“, uděluje Česká geotechnická společnost a ČVUT v Praze
2013 – 2014 působil ve výzkumném centru AdMaS při VUT Brno na pozici junior researcher

ABSTRAKT

Předkládaná práce se zaměřuje především na problematiku geotechnického průzkumu a monitoringu pro podzemní liniové stavby. Zabývá se současnou praxí v provádění geotechnického průzkumu a monitoringu. Na základě zhodnocení poznatků získaných z konkrétních staveb v ČR (Královopolský tunel, tramvajový tunel VMO Žabovřeská) a na základě autorových praktických tuzemských i zahraničních zkušeností podává návrh na jejich vzájemnou optimalizaci za účelem zkvalitnění výstupů a snížení finančních nákladů.

ABSTRACT

The presented thesis focuses primarily on issues of geotechnical survey and geotechnical monitoring for underground line constructions. It deals with the current practice of geotechnical survey and monitoring. Based on the knowledge gained from specific buildings in the Czech Republic (Královopolské tunnels, tram tunnel Žabovřeská) and based on the author's practical local and foreign experience submits suggestions regarding their mutual optimization in order to improve outputs and reduce financial costs.