

MONITORING PŘI VÝSTAVBĚ TUNELŮ DOBROVSKÉHO V BRNĚ

Ing. David Rupp

GEOtest, a.s.

Ing. Jaroslav Lossmann

Arcadis Geotechnika, a.s.

Monitoring during construction of Dobrovského tunnels in Brno

The Dobrovského Tunnel is a new part of the Great Urban Ring in Brno. The tunnel passes under a densely populated part of the City in a shallow overburden. The geological conditions consist of Neogene clays and Quaternary deposits. Extremely difficult conditions and location enforced use of special technologies in terms of design and monitoring. The article presents basic ideas of observatory method in urban area.

1. ÚVOD

Tunely Dobrovského, jinak rovněž známé pod označením Královopolské tunely byly dne 31. 8. 2012 slavnostně otevřeny a zprovozněny k předčasnému užívání a staly se součástí tzv. Velkého městského okruhu – VMO Brno. VMO je jednou z nejvýznamnější části komunikačního systému města Brna a zároveň v úseku VMO Dobrovského i součástí republikové silniční sítě I/42 a mezinárodní silniční sítě E461. Úsek s Královopolskými tunely navazuje na trasu od Pražské radiály, přes MÚK VMO Hlinky a VMO Žabovřeská. Velký městský okruh za stavbou VMO Dobrovského pokračuje úsekem VMO MÚK Sportovní a VMO Lesnická.

Rozhodující část stavby je tvořena dvěma paralelními dvoupruhovými tunely. Tunel I má celkovou délku 1 239 m. Ražená část má délku 1 053 m a hloubené části budované v zapážených stavebních jámách délky 134 m v Žabovřeskách a 52 m v Králově Poli.

Tunel II má celkovou délku celkem 1 258 m a směrově je trasován tak, aby co nejméně podcházel povrchovou zástavbu. Ražená část má délku 1 060 m a hloubená délku 149 m v Žabovřeskách a 49 m v Králově Poli.

V prostoru ulic Dobrovského a Slovinská je vybudováno Technologické centrum tunelů s velínem, rozvodnou a vyústěním vzduchotechniky.

Stavba VMO Dobrovského B zahrnuje rovněž mimoúrovňové křižovatky (MÚK) VMO Žabovřeská – Hradecká a Hradecká – Královopolská v Žabovřeskách a část větví MÚK Dobrovského – Svitavská radiála přímo souvisejících s předpolím tunelů v Králově Poli.

Stavbě předcházely v letech 2001 – 2003 podrobný geotechnický průzkum, v rámci kterého byly kromě vyhloubení inženýrskogeologických vrtů v linii tunelových trub i vyraženy tři průzkumné štoly s cílem zjistit geotechnické podmínky horninového prostředí v trase tunelů. Štoly sloužily rovněž k ověření zvolené technologie ražení a zjištění účinků stavby na městskou zástavbu. Dvě štoly v délce 831 byly vyraženy v profilu tunelu II a jedna štola v délce 365 metrů v profilu tunelu I.

V roce 2006 byla zahájena stavba tunelů Dobrovského a souvisejících křižovatek. Samotná ražba tunelů začala v lednu 2008 a trvala do dubna 2010. První čelba byla při ražbě tunelu I zdokumentována dne 12.4.2008 a v případě tunelu II dne 14.1.2008.

Ražba tunelu I byla dokončena 19.3.2010 a tunelu II dne 5.4.2010. Do srpna 2012 probíhaly navazující stavební práce v podobě hydroizolací, výstavby sekundární obezdívky, vozovky, elektroinstalací a technologií.



Obr.1. Pohled na stavební práce v tunelové trouby II v úseku před demontáží dočasné výztuže primární obezdívky dílčích výrubů.

2. SPECIFIKA VÝSTAVBY

Výstavbu Královopolských tunelů je třeba s ohledem na kombinaci nepříznivých faktorů ovlivňujících její průběh, považovat za výjimečný projekt, a to nejenom v měřítku České republiky. Aspekty mající vliv na průběh prací jsou především geologické podmínky, nízké nadloží, hustá povrchová zástavba a velikost příčného profilu.

Ražba tunelů probíhala převážně v prostředí jemnozrnných zemin - neogenních jíílů. Jedná se o marinní třetihorní sedimenty, které se nacházejí prakticky v celé rozloze Brna a jsou nazývány jako tzv. „brněnské tégly“. Jííly dosahují převážně tuhé a pevné konzistence a jsou vysoce plastické. Hlavní nepříznivou vlastností těchto zemin je jejich nízká pevnost, která neumožňuje vytvoření přirozených horninových kleneb. Prakticky veškerá zatížení tedy musí přenést ostění tunelu. Další nepříznivou vlastností jíílů jsou jejich výjimečně dlouhé deformační procesy. V místech, kde ražba tunelů procházela ve vrstvách, většinou zvodnělých štěrku a písků nebo v jejich těsné blízkosti, navíc hrozila dotace výrubu spodní vodou a průvaly těchto zemin z čelby tunelu s následnými nepříznivými dopady na vlastní ražbu i na povrch nad tunelem.

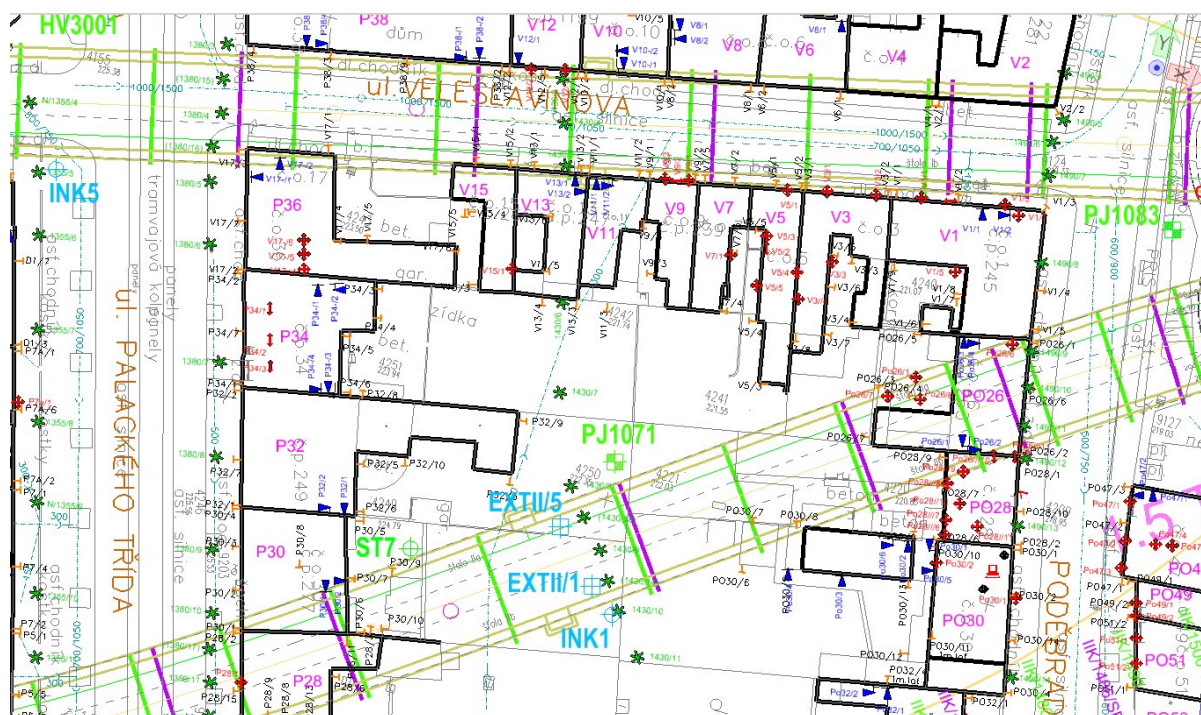
Nadloží se v trase tunelů pohybuje pouze v rozmezí 5 až 20 m, což při šířce výrubu 14 m a v kombinaci s výše uvedenými pevnostními charakteristikami nadloží vrstev vylučuje vytvoření horninové klenby. Veškeré objemové ztráty vznikající v průběhu ražby tunelu se projeví v plné míře na poklesové kotlině na povrchu.

Tunely přímo či v těsné blízkosti podcházejí desítky obytných a dalších, často několikapatrových budov v mnohdy ve špatném statickém stavu. V zájmové oblasti je dále velká hustota vedení inženýrských sítí (včetně plynovodů) a dopravních tras včetně křížení s tramvajovými tělesy. Poklesy na povrchu nad tunelem iniciované ražbou mohly vyvolat výrazné poškození nadzemních objektů s rizikem vzniku havarijních stavů. Kromě deformací které předpokládal statický výpočet, bylo však možné očekávat i zvýšené deformace v případě nestandardního vývoje.

Příčný profil výrubu činil 130 m² v základním profilu a 142 m² v nouzovém zálivu. Konstrukce ražených tunelů byla navržena dvouplášťová s mezilehlou uzavřenou tlakovou hydroizolací ze svařované folie PVC. Tunelová konstrukce je budována z primárního nosného ostění a sekundárního trvale nosného ostění.

3. MONITORING

Královopolské tunely byly prováděny tzv. Observační metodou, kdy je průběh výstavby kontinuálně monitorován a účinky razících prací na povrchovou zástavbu jsou průběžně porovnávány s předpoklady projektu. V případě odlišností od předpokladu jsou přijímána okamžitá opatření pro minimalizaci vlivu ražby na povrch. Z těchto důvodů byly kladeny vysoké nároky na rozsah, kvalitu, operativnost a komplexnost geotechnického monitoringu.



Hydromonitoring

Monitoring hladiny podzemní vody v trase ražené části tunelu včetně oblasti Technologického centra a hloubených příportálových úseků tunelu v Žabovřeskách a Králově Poli. Monitoring kvality podzemních vod v rozsahu základních fyzikálně chemických analýz.

Konvergenční měření

Měření konvergenčních profilů na primárním ostění tunelů TI, TI, tunelových spojek a větracího kanálu. Měření konvergenčních profilů na sekundárním ostění ražených tunelů a jejich hloubených úseků.

Geodetická měření v podzemí

Kontrolní měření tuhých prvků primárního ostění – nosníků HBX. Kontrolní měření sekundárního ostění (dilatačních celků) ražených a hloubených úseků tunelu (Žabovřesky, Královo Pole, vzduchotechnického kanálu).

Nivelační měření bodů poklesové kotliny

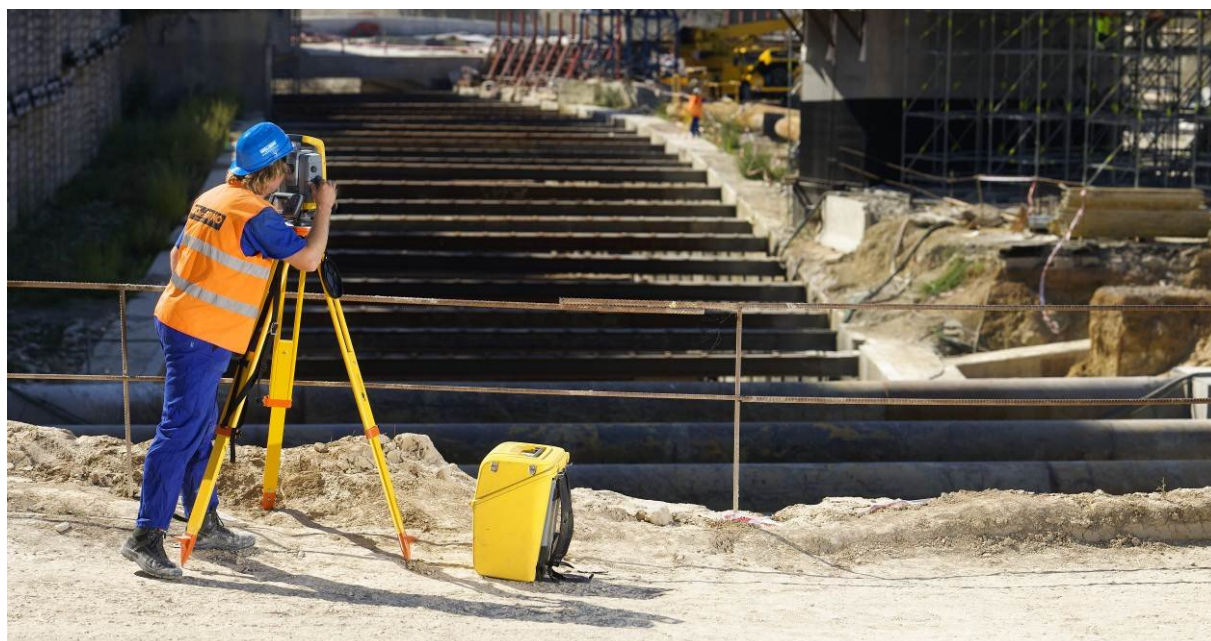
Výšková měření bodů v profilech napříč poklesovou kotlinou situovaných převážně kolmo k ose tunelových trub.

Extenzometrická měření

Měření svislých deformací v extenzometrických vrtech v okolí výrubu (měření posunů masivu v horninovém prostředí podél vrtů).

Inklinometrická měření

Monitorování vodorovných deformací ve vrtech v trase tunelových trub, v trase hloubeného úseku tunelu Žabovřesky (v oblasti obytných objektů Voroněžská a Záhřebská), sled stability betonových konstrukcí definitivního i provizorních portálů a hloubeného úseku tunelu TII na Žabovřeské straně pomocí inklinometrických pažnic instalovaných před betonáží. Monitoring stability podzemních stěn jámy Technologického centra.



Obr.č. 2 Geodetická měření pilotových stěn hloubené části tunelu II na žabovřeské straně

Geodetická měření na povrchu

Monitoring betonových konstrukcí v hloubených úsecích tunelu v Králově Poli a Žabovřeskách, včetně monitoringu zajišťovaných svahů v oblasti stavebních jam, dále monitoring betonových konstrukcí Technologického centra a tramvajových kolejí v ulicích Palackého a Jana Babáka. Nedílnou součástí geodetických prací bylo zaměřování nových prvků monitoringu – dokumentovaných vrtů a periodická měření zhlaví extenzometrických vrtů.

Měření napětí na kotvách

Monitoring změn napětí kotev v betonových konstrukcích v hloubeném úseku tunelu v Žabovřeskách a Králově Poli, sled napětí na kotvách v severní stěně Technologického centra v místě průchodu tunelu TI.

Seismická měření a seismický průzkum

Monitoring objektů, resp. oblasti nadzemní zástavby s možností negativního ovlivnění stavební činností při realizaci Technologického centra a hloubení podzemních stěn.

Nivelační, náklonoměrná a deformetrická měření

Monitoring výškových posunů sledovaných objektů, změn sklonu sledovaných stavebních konstrukcí a sled deformací (posunu na trhlinách) v zónách předpokládaného negativního ovlivňování stavbou tunelů.

Sledování a nivelační měření inženýrských sítí

Monitoring výškových posunů vytypovaných šachet vodovodních či kanalizačních potrubí a šachet kabelovodů procházející přes poklesovou kotlinu v zóně ohrožení.

Vizuální kontrola technického stavu potrubí

Monitoring technického stavu hlavních kanalizačních řadů vedených podélně nebo příčně v území dotčeném poklesy od ražby tunelů v zóně ohrožení.

Sledování vývoje poruch na ohrožených nadzemních objektech

Periodické a mimořádné prohlídky objektů v zóně ohrožení v poklesové kotlině i mimo poklesovou kotlinu a na objízdných trasách.

Hluková měření

Měření hluku zaměřená na monitorování vlivů stavební činnosti související s ražbou tunelu na povrchu a při ústích podzemních staveb.

Měření vibrací působících na člověka

Monitoring vibrací a posouzení jejich vlivu na osoby na pracovištích ve vytypovaných objektech zejména v době průchodu ražby a provádění bouracích prací v tunelu.

Tenzometrická měření na rozpěrácích Technologického centra

Měření sil na vybraných dočasných ocelových rozpěrácích stavební jámy Technologického centra pro možnost včasného reagování na deformace stěn dodatečným opatřením.

Kontrola úniků plynu

Monitoring úniků zemního plynu v období ražby tunelů v objektech nadzemní zástavby v zóně ohrožení poklesovou kotlinou a kontinuální sled výskytu metanu ve sklepních prostorách vybraných stavebních objektů pomocí automatických detekčních stanic.

Tenzometrická a teplotní měření

Tenzometrická měření a měření teplot na sekundárním ostění pro doplnění informací o stavu napjatosti obezdívky a zatížení teplotním spádem.

4. POSTUPY HODNOCENÍ PRŮBĚHU VÝSTAVBY

Sběr naměřených hodnot, jejich centrální evidence a archivace byly uskutečňovány v kanceláři geomonitoringu. Kancelář monitoringu zodpovídala za koordinaci měření, jejich vyhodnocení a vypracování podkladů pro jednání Rady monitoringu (RAMO). Rada fungovala jako poradní orgán správce stavby. Na zasedání RAMO probíhalo komplexní hodnocení průběhu výstavby tunelu ve vztahu k bezpečnosti a ekonomice výstavby, zejména vůči varovným stavům na povrchu a v podzemí. RAMO vydávalo doporučení týkající se mimo jiné i provádění monitoringu. Výsledky měření a dílčí závěry monitoringu byly sdíleny prostřednictvím databázového systému BARAB v síti internet, který byl zpřístupněn všem zainteresovaným osobám.

5. ZÁVĚR

Ražba Královopolských tunelů představuje rozsáhlé dílo realizované v relativně nepříznivém horninovém prostředí pod hustě zastavěnou městskou částí. Určitá časová prodleva od dokončení průzkumných štol v roce 2003 po zahájení ražby tunelů v roce 2008 na jedné straně způsobila pokles stability masívu v okolí jejich výrubů a při přestrojování primární obezdívky vznikaly místy nezáviněné nadvýlomy, na druhé straně však způsobila též příznivou změnu hydrogeologických poměrů. Během ní pravděpodobně došlo k částečnému odvodnění neogenního masívu a tím i k zlepšení jeho stability v nových výrubech tunelových trub.

Obecně lze průběh ražby tunelových trub a následné stavební činnosti zhodnotit jako úspěšné nejen proto, že během ražby nedošlo k žádné mimořádné události. Oproti dříve realizovaným podzemním dílům (primárním kolektorům) v obdobném prostředí brněnských neogenních jíílů byly dopady ražby na povrchovou zástavbu významně menší a v jejím průběhu nebylo třeba přistupovat k výraznějším bezpečnostním a havarijním opatřením v podobě omezení dopravy, stěhování obyvatel ohrožených budov, haváriím inženýrských sítí (plyn, voda apod.) a demolici budov. Průběh ražby ukázal, že průzkumné, projekční i technologické práce byly nastaveny efektivně a měly hlavní podíl na bezproblémovém vyzmáhání tohoto zatím největšího podzemního liniového díla ve statutárním městě Brně.

Ing. David Rupp

GEOtest, a.s.

mobil: +420 724 205 943

e-mail: rupp@geotest.cz

Ing. Jaroslav Lossmann

Arcadis Geotechnika, a.s.

mobil: +420 724 112 473

e-mail: lossmann@arcadisgt.cz