Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě
Český svaz stavebních inženýrů
Svaz podnikatelů ve stavebnictví v ČR

04/17
MK ČR E 17014

časopis stavebnictví

Časopis stavebních inženýrů, techniků a podnikatelů • Journal of civil engineers, technicians and entrepreneurs



stavební konstrukce

archeologický park v Pavlově
rekonstrukce Negrelliho viaduktu

cena 68 Kč
www.casopisstavebnictvi.cz

text Libor Mařík | grafické podklady archiv autora



▲ *Tunel Libouchec, 2006, začlenění pražského portálu do krajiny*

55. let Nové rakouské tunelovací metody, možnosti použití v ČR, 1. díl



Ing. Libor Mařík
Studoval na FSv ČVUT v Praze obor konstrukce a dopravní stavby se specializací na geotechniku. Po profesních začátcích ve firmě METROPROJEKT nastoupil k firmě ILF Consulting Engineers, s.r.o., a od roku 2005 k organizaci IKP Consulting Engineers, s.r.o. Nyní pracuje jako hlavní projektant ve firmě HOCHTIEF CZ a.s. Je členem předsednictva České tunelářské asociace ITA-AITES a výboru České betonářské společnosti ČSSI.
E-mail: libor.marik@hochtief.cz

V letošním roce slaví Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM) 55 let od svého vzniku. Bez nadsázky lze říci, že zcela novým přístupem k horninovému masivu jako součásti nosného systému ostění–hornina, používáním subtilního a tím i poddajného ostění ze stříkaného betonu, vyztužováním horninového prstence systémovým kotvením a variabilitou nasazených prostředků k zajištění stability výrubu způsobila revoluci v konvenčním tunelování.

Klasické tunelovací metody používané před érou NRTM zajišťovaly stabilitu výrubu masivním podepíráním vyrubaných prostor výdřevou a jejím postupným nahrazením kamennou obezdívkou. Horninový masiv byl uvažován pouze jako zdroj zatížení horninovým tlakem, kterému bylo třeba vzdorovat obezdívkami v tloušťkách v řádu decimetrů, až metrů. Ražba probíhala u větších profilů po dílčích výrubech a stav techniky nedovoloval provádění prací s dostatečnou rychlostí, a tím i šetrně s ohledem na porušení horninového masivu v okolí výrubu. S každým dílčím výrubem docházelo k degradaci masivu v jeho okolí, a tedy i ke zhoršování podmínek pro další ražbu. Vývoj techniky v první polovině 20. století umožnil rychlejší rozpojování rozpojování horniny i odtěžování rubaniny a především provádění systémového kotvení a podepírání výrubu stříkaným betonem. Rychlejší pracovní postupy a způsob stabilizace horninového masivu ve velmi krátké době po provedení záběru umožnily zásadní změnu v chápání úlohy horninového masivu. Z původní role „nepřítele", který byl zdrojem mnohdy destruktivních tlaků na výdřevu i definitivní obezdívku, se hornina stala stavebním materiálem a „pomocníkem", který svou schopností přenášet určitou část zatížení zcela změnil technologické postupy ražby i způsob zajištění stability výrubu. Masivní výdřevu nahradilo systémové kotvení a primární ostění ze stříkaného betonu.

I když pokusy s nasazením stříkaného betonu a kotvení horninového masivu započaly již koncem druhé světové války, první zmínky o úspěšném použití kotvení a stříkaného betonu jako systému pro zajištění stability výrubu pocházejí z let 1954 až 1956, kdy byly touto metodou prováděny hydrotechnické štoly projektů Prutz-Imst, Schwarzach a Kaunertal. Zkušenosti z výstavby těchto štol poskytly základ pro definování principů NRTM. Tuto metodu oficiálně představil prof. Rabcewicz na geomechanickém kolokviu v říjnu roku 1962 v Salzburgu.

- Prvním silničním tunelem vyraženým podle principů NRTM je tunel Massenberg (1964 až 1965) na obchvatu města Leoben v Rakousku.
- Prvním železničním tunelem vyraženým NRTM je tunel Schwaikheim (1965) v Německu.

Úspěšná ražba tunelu proběhla podle projektové dokumentace zpracované duchovním otcem NRTM prof. Ladislausem von Rabcewiczem a neméně významnou osobností průkopníků této metody prof. Franzem Pacherem.

Počátky NRTM jsou spojeny s ražbou tunelů ve skalních horninách. Že je možné principy NRTM použít i v nesoudržných zeminách, prokázala až ražba metra ve Frankfurtu nad Mohanem. Po definování základních principů se NRTM dále rozvíjela a byla nasazována na projekty alpských dálničních tunelů v Rakousku (např. tunely Tauern a Arlberg) nebo železničních tunelů na trati Hannover – Würzburg v SRN.

V České republice historie NRTM tak daleko nesahá. Poválečný politický vývoj způsobil mimo jiné i izolaci stavebních oborů od moderních technologií používaných v zemích za železnou oponou. Stejně tomu bylo i v oblasti tunelového stavitelství. Výstavba silničních i železničních tunelů se výrazně omezila. Zelenou dostala pouze výstavba metra v Praze spojená nejen s řešením dopravní situace v hlavním městě, ale i jako strategická stavba koncipovaná v období studené války pro účely civilní obrany. Traťové tunely i stanice metra byly navrhovány jako kryty před hrozbami jaderné války, součástí tras byly podzemní nemocnice, hygienické buňky i prostory pro těla zemřelých. Pro ražbu tunelů v tomto období byla typická prstencová tunelovací metoda s ražbou na plný profil a okamžitým uzavíráním líce výrubu prefabrikovaným litinovým, nebo později železobetonovým ostěním. Počet projektových kanceláří i stavebních firem zabývajících se výstavbou tunelů bylo možné spočítat na prstech jedné ruky.

Počátky úvah o změně tunelovací metody a využívání NRTM jsou spojeny s politickým vývojem po roce 1989. Otevření hranic bylo však jen podmínkou nutnou, nikoli postačující. Absence profesních kontaktů se západním světem i jazyková bariéra komplikovala v počátcích přístup k novým informacím. V České republice neexistovala odborná literatura, odpovídající technické normy ani předpisy. Na velmi nízké úrovni bylo vybavení výpočetní technikou i potřebnými programy. Hlad po informacích zprvu vedl k návštěvám staveb prováděných NRTM nedaleko od hranic republiky. Jednalo se především o tunely na vysokorychlostních tratích v SRN a stavbu metra ve Vídni. Infocentra zřízená pro styk stavby s veřejností a řada k tomu určených propagačních materiálů sloužila jako jedny z prvních informací o NRTM. Nová tunelovací metoda byla zpočátku obestřena tajemstvím a velkou dávkou alchymie. V počátku devadesátých let 20. století zpracoval tým Výzkumného ústavu inženýrských staveb Brno pod vedením prof. Jiřího Mencla státní výzkumný úkol Modernizace oboru podzemních staveb k dosažení vyspělé zahraniční úrovně, jehož dílčím úkolem bylo navrhování podzemních staveb s využitím samonosnosti horniny. Nestačilo však jen vybavit projektové kanceláře programy a počítači, zajistit projektantům přístup k informacím nebo modernizovat strojový park stavebních firem pro nasazení nové technologie. Bylo především třeba změnit myšlení lidí, kteří se dosud pohybovali ve světě masivních konstrukcí, mohutných staničních pilířů a průvlaků. Bylo nutné znovu získat „inženýrský cit“, pěstovaný po desetiletí ve zcela jiných podmínkách. Přijmout myšlenku, že horninový masiv není nepřítel, který chce tunel poškodit, ale mnohdy kvalitní stavební materiál, který při vlídném zacházení může převzít nosnou funkci a spolu s kotvami a primárním ostěním zajistit potřebnou stabilitu výrubu. Zatímco moderní vybavení projektových i stavebních firem bylo pouze otázkou investičních nákladů, změna myšlení znamenala dlouhou cestu s mnoha úskalími. Některá z nich přetrvávají dodnes a přístup k nim mohou odborníci z tunelářské praxe chápat odlišně. Jedná se zejména o tuto problematiku:

- zohlednění prokotvené oblasti v matematických modelech;
- stanovení zatížení primárního ostění;
- zohlednění příhradových nosníků při dimenzování primárního ostění;
- stanovení zatížení sekundárního ostění;

Nejdiskutovanější otázkou je však zřejmě životnost a dlouhodobá funkce primárního ostění.

Pro úspěšnou aplikaci NRTM je třeba splnit následující podmínky:

- vytvoření právních a technických podmínek umožňujících ražbu tunelů pomocí NRTM;
- dostatečný průzkum prostředí a vytvoření prognózy chování horninového masivu při ražbě v celé délce tunelu;
- kvalitní projektová dokumentace, v níž je navrženo pro jednotlivé geotechnické typy horninového prostředí odpovídající způsob zajištění stability výrubu;
- zadávací dokumentace postihující specifika NRTM, především možnost operativně měnit způsob zajištění stability výrubu s ohledem na skutečně zastižené geotechnické podmínky a transparentně stanovující podmínky pro provádění a proplácení provedených výkonů;
- stavební firma s odpovídajícím technickým vybavením a zkušeným personálem pro vedení stavby a provádění jednotlivých prací při ražbě tunelu;
- zkušený tým geotechniků na straně investora i zhotovitele, který na základě sledování geotechnických podmínek při výstavbě a interpretace výsledků geomonitoringu dokáže správně předvídat chování horninového masivu v každém záběru ražby;
- technický dozor investora, který zajistí stálou kontrolu při provádění jednotlivých prací v podzemí, dosažení kvality požadované v zadávací dokumentaci a bude schopen posoudit oprávněnost prováděných činností s ohledem na konkrétní geotechnické podmínky;
- smluvní podmínky umožňující optimalizaci technického řešení během výstavby s cílem vynaložení pouze nezbytně nutných investičních nákladů pro bezpečné provedení díla v požadované kvalitě a motivující zhotovitele k provádění těchto optimalizací.

I tyto faktory prošly v průběhu času vývojem a jejich dodržení i kvalita provádění dotváří celkový obraz o úrovni tunelového stavitelství v České republice.

Počátky NRTM v České republice

V České republice se o NRTM začíná hovořit ve druhé polovině osmdesátých let minulého století. I když v té době probíhala ražba III. vinohradského železničního tunelu pomocí prstencové metody a výstavba Strahovského automobilového tunelu pomocí pološtítu a také prstencové metody, začala si tunelářská veřejnost pomalu existenci NRTM uvědomovat. Na pražské konferenci Podzemní stavby 1988 se objevil příspěvek Ing. Šťastného z firmy VUES Brno s názvem Zaměření výzkumu a otázky zavádění NRTM na podzemních stavbách v ČSSR, který uváděl hlavní principy tunelovací metody a upozorňoval na disproporce mezi úrovní tunelového stavitelství v ČR a ve světě. Určité prvky NRTM se již v tomto období použily při výstavbě kaveren podzemní čistírny odpadních vod v Peci pod Sněžkou, přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně a na stavbě pražských a brněnských kolektorů.

Traťový tunel pražského metra na trase IV.B-05

Prvním liniově raženým objektem pomocí NRTM byl traťový tunel pražského metra na trase IV.B-05 mezi stanicemi Kolbenova – Hloubětín. Jednalo se o část levého jednokolejného traťového tunelu o ploše výrubu 28 m^2 v délce 347 m. Před zahájením ražby tohoto tunelu byl pomocí prstencové metody paralelně vyražen pravý tunel v osové vzdálenosti cca 21 m, takže byly poměrně dobře známy geotechnické poměry. Ražba probíhala v prostředí prachovitých břidlic záhořanských vrstev. Úsek byl v projektu rozdělen do tří technologických tříd výrubu s tloušťkou primárního ostění pouze 30 mm, 80 mm a 100 mm. Sekundární ostění z vodostavebného betonu B30 o tloušťce 350 mm bylo betonováno do posuvného bednění po blocích betonáže délky 9 m. Spáry mezi bloky betonáže byly těsněny těsnicími pásy. Ražba tunelu byla součástí experimentu prováděného v rámci státního výzkumného úkolu Modernizace oboru podzemních staveb k dosažení světové úrovně a byla mu věnována mimořádná pozornost i z hlediska geotechnických měření. Z celkové délky traťových tunelů v tomto úseku 2 × 1410 m bylo pomocí NRTM následně vyraženo celkem 2120 m.

Tunel Hřebeč

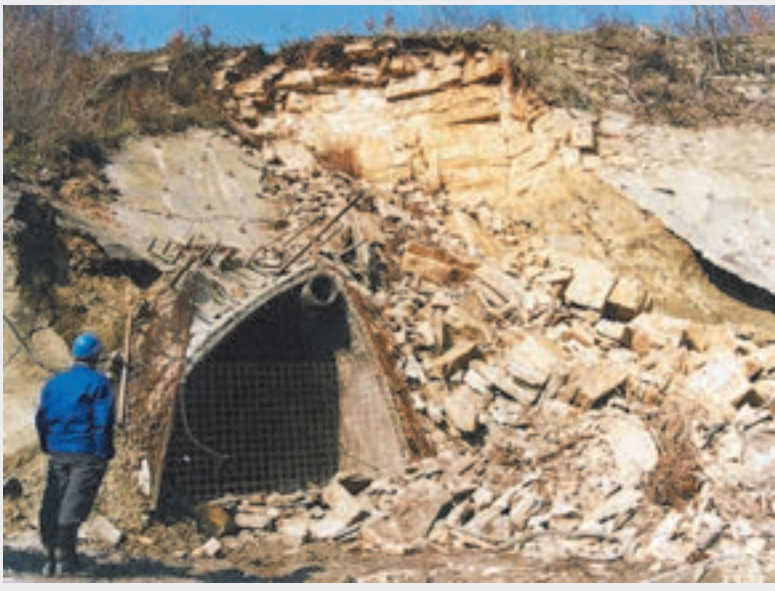
První nasazení NRTM na silničním tunelu se uskutečnilo na tunelu Hřebeč na silnici I/35 spojující Svitavy a Moravskou Třebovou. Že se nejednalo o jednoduchou úlohu, napovídají základní parametry tunelu. Tunel byl navržen jako třípruhový s šířkou jízdního pruhu 3,65 m. Při ploše výrubu 150 m^2 až 160 m^2 se výška nadloží pohybovala od 5 m do 18 m. Východní portál tunelu byl navíc situován do dlouhodobě nestabilního sesuvného území. O historii svahových pohybů svědčilo i zakřivení kmenů stromů východního svahu.

Z geologického hlediska tvořily horninový masiv kvartérní sedimenty, opuky, slínovce a v nejnižších polohách jílovce. Z celkové délky tunelu 354 m bylo pomocí NRTM vyraženo 270 m. Vzhledem k podélnému sklonu tunelu 6,3 % byla ražba zahájena dovrchně od východního portálu s vertikálním členěním plochy výrubu. Kalota severní boční štoly byla v profilu tunelu vyražena jako průzkumná v délce cca 50 m s dvouletým předstihem před zahájením ražby tunelu. Ta byla zahájena až v červnu 1994. Po zaražení jižní boční štoly byl v oblasti portálu ponechán mezilehlý horninový pilíř, v hoře byly propojeny oba boční výruby a vyražen byl tak plný profil kaloty. Ražba pak probíhala s horizontálním členěním jak západním, tak východním směrem. Primární ostění tunelu tvořil stříkaný beton tloušťky 200 mm až 500 mm podle technologické třídy výrubu, výztužné příhradové rámy a ocelové sítě. Kotvení bylo prováděno hydraulicky upínatelnými kotvami.

V roce 1995 došlo na východním portále ke skalnímu zřícení, které bylo iniciováno kolapsem pilíře mezi vertikálně raženými bočními štolami. Nejprve došlo k nárůstu deformací na vnitřním boku severní štoly, její počva byla na nižší úrovni než následně vyražené jižní boční štoly. Po prolomení primárního ostění a natlačení horniny pilíře do prostoru boční štoly následovalo skalní řícení bloků opuky nad profilem tunelu a destrukce ostění obou bočních štol. V prostoru kaloty zůstala uvězněna tunelovací technika, osádka stačila před havárií tunel opustit. Aby bylo možné zjistit rozsah poškození uvnitř tunelu, byla z povrchu území vyhloubena šachta a následně přístupová štola do prostoru kaloty tunelu. Po místním šetření bylo zjištěno, že primární ostění kaloty zůstalo neporušeno a je schopno i nadále zajistit stabilitu výrubu. Stroje v prostoru kaloty zůstaly nepoškozené. Směrem k východnímu portálu byl tunel zavalen skalními bloky opuky. Klenba kaloty v prostoru tunelu byla před odtěžováním závalu podepřena rovnaninou ze železničních pražců. Následně byla zajištěna stabilita východního portálu systémem kotev a postupným odtěžováním závalu. Nad tunelem byly vytvořeny železobetonové



▲ *Tunel Hřebeč, 1997, zajištění západního portálu s blízkým kostelem*



▲ *Tunel Hřebeč, 1997, zřícení východního portálu v průběhu ražby*

prahy rozepřené ocelovými troubami a vytvořeno „falešné“ primární ostění. Současně probíhala úpadní ražba vertikálním členěním od západního portálu s minimálním nadložím cca 5 m zeminy.

Situaci komplikoval i nedaleko stojící kostelík, jehož konstrukce byla již před výstavbou tunelu značně zchátralá. Stavební jáma západního portálu byla zajištěna kotveným záporovým pažením, nad profilem kaloty byl vytvořen ochranný mikropilotový deštník. Úpadní ražba probíhala bez větších komplikací a tunel byl v celé délce úspěšně vyražen. Po instalaci mezilehlé izolace probíhala betonáž sekundárního ostění tloušťky 500 mm. Vzhledem k vedení trasy ve složeném

směrovém oblouku 250 m a 500 m byla použita délka bloku betonáže jen 5 m. Dokončením tunelu v listopadu 1997 jeho smolná historie neskončila. V jarních měsících roku 1999 došlo na západním svahu v oblasti portálu k proudovému sesuvu půdy. Sesuv postihl jižní bok tunelu a způsobil nesymetrické zatížení ostění hloubené části tunelu, na které konstrukce tloušťky 600 mm nebyla dimenzována. V ostění vznikly trhliny a výztuž na vnitřní straně byla na mnoha místech přerušena. Trhliny bylo nutné sanovat injektáží a ostění na vnitřním líci zesílit pomocí uhlíkových lamel. Další mohutný sesuv doprovázený skalním řícením vrstev opuky postihl východní portál v dubnu 2006. Materiál tentokrát severního boku tunelu zavalil silnici před portálem téměř v celé šířce a znemožnil provozování tunelu. Sesuv neměl na konstrukci ostění negativní vliv, bylo však nutné materiál odtěžit a stabilizovat svah konstrukcí z vyztužené zeminy.

Tunel Vepřek

Prvním tunelem v síti Českých drah raženým NRTM byl tunel Vepřek na I. tranzitním koridoru v úseku Praha – Děčín – Drážďany. Je pojmenován podle obce ležící na břehu Vltavy cca 40 km severně od Prahy. Stávající trať v místě původně vedla podél řeky a směrové poměry nedovolily dosažení požadované traťové rychlosti 160 km/h. V počátečních fázích projektování tunelu se počítalo s jeho prováděním v hluboké stavební jámě. Dokumentace pro územní rozhodnutí ještě sledovala čtyři varianty jeho hloubení. Ražená varianta byla bez podrobnějšího posouzení vyloučena jako neekonomická. Ke změně přístupu došlo až před zpracováním projektu pro stavební povolení. Po podrobnějším prostudování inženýrsko-geologických poměrů, s ohledem na výšku nadloží, která dosahovala až 20 m, dále vzhledem k vysokému objemu výkopů (340 000 m^3) i zásypů (240 000 m^3) byla k variantám hloubeným navržena i varianta tunelu raženého pomocí NRTM. Na základě podrobného technicko-ekonomického posouzení variant byla pro další projektování zvolena varianta ražená pomocí NRTM. V rámci projektu byl proveden podrobný geotechnický průzkum.



▲ *Tunel Vepřek, 2002, stavební jáma pražského portálu hloubky 30 m*

V dané lokalitě se pod vrstvou sprašových hlín nacházely slínovce se zónou silného zvětrání až do hloubky cca 13 m. Pod touto úrovní se již nacházely slabě zvětralé slínovce s velkou hustotou diskontinuit cca 150 mm až 250 mm. Délka úseků prováděných v otevřené stavební jámě byla 58 m v oblasti pražského portálu a 60 m v místě děčínského portálu. Stabilita stavební jámy hluboké až 30 m byla po dobu výstavby zajištěna svahováním, stříkaným betonem se sítěmi a kotvami SN délky 4 až 6 m osazovanými do vrtů vyplněných

inzerce

Zbavte se staré!
VYHRAJTE NOVOU FASÁDU
a další výhody Baumit.



Soutěž

www.vyhrajte-fasadu.cz

Hlavní cena
- **voucher v hodnotě 100 000 Kč na novou fasádu**
- hlavní cenu vyhlašujeme 28. června 2017

Další výhry
- **150 výher dle vlastního výběru**
- losujeme každý týden
- čím dříve se přihlásíte, tím více šancí máte

Jistá odměna
- **pro 1 000 nejrychlejších**

Baumit
baumit.com

cementovou zálivkou. Ostění hloubených tunelů bylo navrženo jako monolitické se spodní klenbou. Rozhraní mezi hloubeným a raženým úsekem tunelu bylo situováno do míst, kde mocnost nadloží neklesala pod 6 m, přičemž kritickým místem nebyl vrchol tunelu, ale jeho bok přivrácený k řece Vltavě.

Ostění raženého tunelu bylo navrženo jako dvouplášťové s mezilehlou, deštníkovou izolací v oblasti horní klenby a boků. Spodní klenba tunelu nebyla izolována. Ražená část tunelu délky 272 m byla rozdělena na základě prognózy do tří technologických tříd výrubu. Primární ostění tvořil stříkaný beton se sítí, kotvami SN a příhradovými ramenáty. Zpočátku byla používána suchá směs a beton byl stříkán „z ruky". Později zhotovitel nasadil zkušebně manipulátor na mokrou směs. V oblasti ohrožené nestabilitou přístropí se stabilita výrubu zajišťovala předráženými ocelovými jehlami. Po instalaci polyetylenové hydroizolační fólie probíhala betonáž monolitického, sekundárního ostění v blocích betonáže délky 10 m. V každém druhém bloku betonáže byl situován záchranný výklenek sloužící jako úkryt pro personál provádějící údržbu v tunelu. Výpočet primárního ostění byl proveden metodou konečných prvků jako 2D model se zohledněním jednotlivých fází výstavby při členění výrubu na kalotu, jádro a počvu.

Výstavba byla zahájena na podzim roku 2000 prováděním přístupových komunikací a odtěžováním stavebních jam na obou portálech. Vzhledem k reliéfu terénu se jednalo o náročné práce vyžadující přesné dodržování projektem předepsaných postupů. Ražba kaloty tunelu byla zahájena začátkem roku 2001. Původně předpokládané rozpojování horniny tunelovým bagrem nahradily postupně trhací práce. Hornina byla pevná, ale silně rozpukaná, což vedlo k tvorbě nadvýlomů. Přítoky do čelby byly minimální a neovlivňovaly její stabilitu. Délka záběru se pohybovala od 1,0 m do 1,7 m, naměřené deformace výrubu při ploše výrubu více než 100 m^2 nepřesáhly 30 mm. Velmi dobře probíhala úprava prvků zajištění stability výrubu podle skutečně zastižených geotechnických podmínek. Na základě výsledků geomonitoringu a posouzení stability tunelu došlo v některých úsecích ke zkrácení délky kotev, vypuštění vnitřní vrstvy sítí, nebo výztužných rámů v ostění jádra tunelu. Z dnešního pohledu nebyl tunel po technické stránce ničím výjimečný. Jeho jedinečnost spočívala v prvním nasazení NRTM na železničním tunelu v České republice.

V průběhu výstavby probíhaly velké diskuze o interpretaci výsledků geotechnického monitoringu, možnosti či nemožnosti měnit projektem definované prvky zajištění stability výrubu a způsobu proplácení prací i použitých materiálů, které přesně neodpovídaly projektu. Zcela nový musel být přístup technického dozoru investora i evidence skutečně provedených prací při výstavbě tunelu. Ražba, betonáž sekundárního ostění i další práce proběhly bez velkých problémů a stavba byla v roce 2002 uvedena do provozu. V roce 2004 byl tunel Vepřek oceněn za uplatnění nových technologických postupů a přínos ke zkvalitnění parametrů železničních koridorů titulem Dopravní stavba roku.

NRTM z hlediska právních předpisů

NRTM je považována za metodu umožňující operativně reagovat na skutečně zastižené podmínky při ražbě. Efektivní využití investičních nákladů je podmíněno možností upravovat podle geotechnických podmínek technologické třídy výrubu a použít jen takové prvky jeho zajištění, které jsou nezbytně nutné pro bezpečnou ražbu, případně umožňují řídit deformace nadloží s ohledem na zástavbu a inženýrské sítě v zóně ovlivněné ražbou. Aby bylo možné úpravy zajištění výrubu aplikovat v praxi, je tomu nutné přizpůsobit zadávací dokumentaci stavby a vytvořit odpovídající rámec zákonů, vyhlášek, technických i smluvních předpisů.

Ražba tunelů spadá v České republice jako činnost prováděná hornickým způsobem do kompetence Českého báňského úřadu. Projektování a ražba tunelů tak probíhá z hlediska bezpečnosti práce podle zákonů a vyhlášek vydávaných Českým báňským úřadem. Jedná se zejména o zákon č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a státní báňské správě, a vyhlášku č. 55/1996 Sb., o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí. Oba předpisy byly v roce 2012 přepracovány a s přispěním tunelářské komunity i zástupců Českého báňského úřadu se do nich částečně podařilo implementovat požadavky na ražbu tunelů pomocí NRTM. Zákon v § 5b uvádí, že projektovou dokumentaci tunelů může vypracovat pouze osoba s osvědčením odborné způsobilosti báňského projektanta. Nově definuje požadavky na komplexnost projektové dokumentace a statické výpočty, u kterých klade důraz na jejich kontrolovatelnost. Zadavateli projektu zákon nepřímo ukládá povinnost poskytnout takové podklady, aby podle nich zpracovaná projektová dokumentace umožnila bezpečné provedení a užívání podzemních děl a staveb v souladu s jejich účelem.

Velkých změn ku prospěchu použití NRTM doznala vyhláška č. 55/1996 Sb. V textu se objevují termíny, které v předchozí verzi zcela chyběly. Především se jedná o pojem observační metoda, který připouští změnu způsobu zajištění stability výrubu na základě geotechnických podmínek skutečně zastižených při ražbě. Nejedná se pouze o NRTM, ale obecně o tunelovací metody, které využívají sledování projevů horninového masivu k optimalizaci postupu ražby. To je v českém právním prostředí zcela nová situace. Stejně důležité je i zavedení pojmu technologická třída výrubu, která je definována jako soubor stavebních opatření a technologických postupů vedoucích k dosažení požadované stability výrubu a ovlivněných objektů

▼ *Tunel Vepřek, 2002, pražský portál po dokončení*



▼ *Tunel Mrázovka, 2004, vertikální členění výrubu*



v konkrétních geologických a inženýrsko-geologických podmínkách. Zásadní význam pro projektování i provádění tunelů pomocí NRTM má § 16 vyhlášky č. 55/1996 Sb., kde se hovoří o rozdělení horninového masivu do kvazihomogenních celků, ke kterým je přiřazen způsob zajištění stability výrubu i technologický postup provádění ražby. Tím se ustupuje od původní představy, kdy projekt přesně definoval v celé délce tunelu způsob jeho provádění a v případě odchylky od projektu musel být přepracován. V některých případech se pak zcela v rozporu s principy NRTM v projektové dokumentaci objevovaly i výkresy polohy jednotlivých ocelových rámů primárního ostění, rozkreslené předem na celou délku tunelu bez ohledu na nejistotu v podobě geologických anomálií apod.

Současná vyhláška umožňuje zatřiďovat horninový masiv do technologických tříd výrubu podle skutečně zastižených podmínek při ražbě. Zatřídění provádí autorizovaný geotechnik na základě hodnocení chování horninového masivu při ražbě a na základě interpretace výsledků geomonitoringu. Ražbu v konkrétní technologické třídě výrubu schvaluje závodní, tj, osoba zhotovitele, která ze zákona plně odpovídá za bezpečnost práce při ražbě. V rámci přípustných změn uvedených v projektové dokumentaci lze modifikovat i jednotlivé prvky zajišťující stabilitu díla (tloušťka a způsob vyztužení primárního ostění, délka a počet kotev apod.) v konkrétní technologické třídě výrubu.

Správným rozhodnutím je i vytvoření úzké vazby mezi geotechnickým monitoringem a projektovou dokumentací tunelu. Požadavky na rozsah a náplň geomonitoringu určuje v projektové dokumentaci báňský projektant s ohledem na složitost geotechnických poměrů v trase tunelu. Jeho účast na stavbě byla před uvedením vyhlášky v platnost zpravidla závislá jen na vůli investora. Ten vyzýval projektanta k návštěvě stavby v rámci provádění autorského dozoru. V současnosti je účast projektanta na stavbě tunelu vázána požadavkem § 18c vyhlášky č. 55/1996 Sb., který mu ukládá za povinnost stavbu kontrolovat minimálně jednou týdně a výsledek kontroly zapsat do knihy kontrol. Užší vazba projektanta a reálného prostředí stavby je prospěšná pro obě strany.

Někteří investoři zadávají inženýrsko-geologický průzkum současně s projektovou dokumentací tunelu. To má za následek, že projektant dostává v průběhu zpracování projektové dokumentace pouze dílčí výsledky průzkumu a jeho celkové výsledky se odevzdávají v nejhorším případě až současně s projektovou dokumentací tunelu. Vyhláška v současné době ukládá objednateli projektové dokumentace zpracování inženýrsko-geologického průzkumu jako podkladu, který musí být proveden a vyhodnocen před zahájením prací na projektu. Jeho výsledky pak musí poskytnout dostatek informací pro zpracování projektové dokumentace. To přispívá k lepší informovanosti projektanta o horninovém masivu a snižuje riziko nehospodárného nebo naopak nebezpečného návrhu tunelu.

Změnil se i přístup k varovným stavům, které signalizují jiné než v projektové dokumentaci očekávané chování horninového masivu. Zatímco původní znění vyhlášky č. 55/1996 Sb. vyžadovalo pouze uvedení hodnoty varovného stavu, její nové znění už připouští v § 28 i stanovení průběhu sledované veličiny v čase, což je z bezpečnostního hlediska výrazně příznivější situace. Pouhá maximálně přípustná hodnota sledované veličiny (zpravidla deformace výrubu) nezohledňovala časový průběh, jakým se veličina k limitní hodnotě blížila. Podle původního znění vyhlášky bylo dokonce nutné při překročení varovného stavu ražbu zastavit. Tato situace mohla být v některých případech nebezpečná. Nové pojetí varovného stavu dokáže predikovat atypické chování horninového masivu při ražbě mnohem dříve a efektivně nasadit doprovodná opatření tak, aby se minimalizovalo riziko vzniku mimořádné události nebo havárie v tunelu. Projekt by měl nově definovat nejen varovné stavy, ale zároveň navrhnout i doprovodná opatření nasazená při jejich dosažení. Ta by



▲ *Tunel Malá Huba, 2005, napojení tunelu na most přes Moravskou Sázavu*



▲ *Tunel Hněvkovský I., 2006, spodní klenba hloubeného úseku tunelu*

měla nepříznivý vývoj z hlediska stability výrubu nebo poškození objektů v nadloží včas eliminovat.

Zákony a vyhlášky Českého báňského úřadu definují práva a povinnosti báňského projektanta nebo organizace, která tunel razí. Nijak však neupravují práva a povinnosti investora. Realizační dokumentace bývá obvykle součástí dodávky tunelu, takže práva i povinnosti se ve smyslu báňských předpisů týkají pouze jedné ze stran zúčastněných při výstavbě. Jedinou povinností investora je včasné zajištění výsledků inženýrsko-geologického průzkumu.

Významnou roli při ražbě tunelů hraje rozdělení rizik mezi investora a stavební firmu. Tato problematika pro konkrétní podmínky ražby tunelů v právních předpisech v ČR podchycena není. Při ražbě se rozlišují dvě základní rizika, a to geotechnické a technologické. Podle rakouské praxe geotechnické riziko spojené s prozkoumaností daného prostředí, se získáním potřebných informací o skladbě horninového masivu a s jeho očekávaným chováním při ražbě tunelu nese investor. Ten zajišťuje zpravidla i projektovou dokumentaci, podle které se tunel staví. Stavební firma nese technologické riziko, které je spojeno s nasazením takové techniky a kvalifikovaného personálu, aby bylo možné tunel v podmínkách očekávaných průzkumem a podle předložené zadávací dokumentace bezpečně, hospodárně a včas vyrazit. To je v rozporu s běžně v ČR používanými podmínkami Červené knihy FIDIC, ve kterých se sice v článku 4.10 uvádí, že objednatel je povinen poskytnout zhotoviteli veškeré informace o geologických a hydrologických podmínkách na staveništi, za interpretaci výsledků průzkumu je však odpovědný zhotovitel díla.

K zajištění technické úrovně projektování i provádění tunelů slouží normy a technicko-kvalitativní podmínky. Jedná se zejména o normu ČSN 73 7507:2013 Projektování tunelů pozemních komunikací a ČSN 73 7508:2002 Železniční tunely. Obě normy procházejí nebo prošly procesem aktualizace s cílem zapracování změn souvisejících nejen s technickým pokrokem a vývojem v oblasti tunelů, ale i s požadavky obecně platných předpisů Evropské unie. Velkým problémem při aktualizaci norem pro silniční i železniční tunely je nalezení konsenzu mezi technickými nároky a nároky zástupců Hasičského záchranného sboru. Jejich požadavky v mnohém obecný rámec zajištění bezpečného provozu v tunelech překračují, a tím výstavbu tunelů výrazně prodražují.

Technické kvalitativní podmínky pro projektování a výstavbu silničních tunelů vydává Ministerstvo dopravy, odbor infrastruktury. Pro dokumentaci platí předpis TKP-D7 Tunely, podzemní stavby a galerie (tunelové stavby). Pro výstavbu silničních tunelů platí předpis TKP 24 Tunely. Pro projektování a realizaci staveb železničních tunelů platí předpis vydaný Správou železniční dopravní cesty, státní organizace (SŽDC), s označením TKP 20 Tunely. Aktualizace tohoto předpisu proběhla již v roce 2002, v souvislosti s výstavbou prvního železničního tunelu Vepřek raženého pomocí NRTM. Při výstavbě se ukázalo, že stávající předpisy brání nasazení NRTM, bylo proto nutné řadu problémů řešit přímo v projektové dokumentaci.



▲ *Tunel Libouchec, 2006, zajištění svahů stavební jámy stříkaným betonem*

Geotechnický monitoring a geotechnická služba

Ražbu tunelu pomocí NRTM bez provádění geotechnického monitoringu si lze jen obtížně představit. Postupy, kterými jsou v současnosti sledované veličiny měřeny, vyhodnocovány a zpřístupňovány jednotlivým účastníkům výstavby, se v počátcích používání této metody zdály spíše odvážnou fikcí než realitou. Dnešní metody monitoringu umožňují použití bezobslužných čidel s možností zasílání naměřených hodnot pomocí sítě GSM nebo bezdrátovým přenosem Wi-Fi. Měření deformací výrubu se stále zpřesňuje a doba od naměření veličin po jejich vyhodnocení se zkracuje. Data v grafické i číselné formě jsou dostupná na zabezpečených webech na internetu a umožňují volbou zobrazení sledovat konkrétní veličiny v potřebném měřítku i časovém intervalu od provedení záběru.

K nejčastěji sledovaným veličinám patří měření deformací výrubu v měřických profilech na primárním ostění, měření průběhu poklesové kotliny na povrchu území, měření deformací horninového masivu v okolí výrubu pomocí extenzometrů nebo inklinometrů. V některých případech se používá i sledování kontaktního napětí nebo napětí v ostění pomocí tlakoměrných podušek nebo tenzometrů. Interpretace výsledků těchto měření však bývá mnohdy problematická. Při ražbě tunelů v horninách citlivých na přítomnost podzemní vody je nutné v případě propojení tunelu s povrchovými zvodněmi vyhodnocovat závislost přítoků do výrubu na množství srážek na povrchu.

Provádění geotechnického monitoringu se v případě tunelů na pozemních komunikacích řídí technickými podmínkami TP 237 Geotechnický monitoring tunelů pozemních komunikací, který vznikl v roce 2007. Při definování rozsahu geotechnického monitoringu je potřeba mít stále na paměti, jak budou jeho výsledky použity při ražbě tunelů a co z bezpečnostního a ekonomického hlediska přinesou. Monitoring by rozhodně neměl být omezen pouze na měření a grafické vyhodnocování naměřených veličin, případně na pasportizaci čelby. Výsledky měření jsou pouze částí komplexního geotechnického sledování projevů ražby v zájmovém území. Geotechnik, který geotechnický monitoring provádí, by měl být přítomen na čelbě minimálně v případě, kdy probíhá ražba, vrtání pro osazování kotev, nebo vrtání pro trhací práce. Mechanizmus rozpojování, způsob rozpadu horniny při mechanickém těžení tunelovým bagrem, fragmentace horniny po odpalu, přítoky vody do čelby, vymývání jemné frakce z puklin, rychlost vrtání nebo postupná tvorba nadvýlomů po provedení záběru jsou indicie, které umožňují společně s naměřenými hodnotami deformací či napětí zpřesnit představu o reakci horninového masivu na ražbu. Cílem geomonitoringu je všechny sledované veličiny a jevy komplexně vyhodnotit a poskytnout tak potřebné informace pro další ražbu.

▼ *Tunel Libouchec, 2006, napojení stavební jámy jižního portálu na Knínickou estakádu*



V mnoha případech je skutečnost od této představy zcela odlišná. Ražba probíhá nejen bez účasti geotechnika, ale i technického dozoru investora. Geotechnik je přivolán až po odtěžení rubaniny a někdy i po zastříkání líce výrubu betonem. Tento způsob provádění geomonitoringu neposkytuje potřebné informace pro predikci chování horninového masivu.

Důvodem různých představ o obsahu a náplni geomonitoringu je nejasné definování kompetencí jednotlivých účastníků výstavby a rozhodování o zatřiďování do technologických tříd výrubu. Nejasná je i hranice mezi náplní geomonitoringu a funkcí geotechnika stavby. Tento pojem není dosud nikde přesně definován. V posledním znění vyhlášky č. 55/1986 Sb. se sice v § 4 objevuje pojem geotechnik, a to jako odborně způsobilá fyzická osoba oprávněná k zatřiďování horninového masivu do technologických tříd výrubu, jeho práva a povinnosti však nejsou nijak vymezeny. V § 28 vyhlášky se pouze uvádí, že zatřídění do technologických tříd výrubu provádí geotechnik, schválení jeho rozhodnutí je však opět na závodním, tj. na zástupci stavební firmy. Určení osoby geotechnika bude proto nutné definovat v zadávací dokumentaci stavby a jeho kompetence určit smluvním vztahem. Lze předpokládat, že bude zástupcem na straně investora, optimálně členem týmu geomonitoringu. Podporou tohoto předpokladu může být článek 3.7 předpisu TKP 237, který pojednává o součinnosti účastníků výstavby při provádění geomonitoringu. To opět souvisí s podmínkami nastavenými konkrétně v báňských zákonech a předpisech. Odpovědnost za bezpečnost provádění je v nich přisuzována pouze báňskému projektantovi a organizaci, která tunel razí. Paradoxně neukládá žádné povinnosti investorovi stavby. Vzhledem k tomu, že realizační projekt tunelu zajišťuje zpravidla stavební firma, leží na ní odpovědnost jak za projekt (báňský projektant), tak za realizaci (závodní). V praxi to vede k situaci, kdy je ze strany investora zasahováno do zatřiďování do technologických tříd výrubu pouze formou doporučení, tj. bez odpovědnosti za rozhodování. Další postup ražby pro každý záběr určuje záběrový list, který je podepsán ze strany geotechnika investora a závodního stavební firmy. Zatřiďování do technologických tříd výrubu probíhá bez přímé účasti projektanta, který není trvale přítomen na stavbě. Tento stav je bezkonfliktní, pokud ražba probíhá bez komplikací a nedojde při ní k mimořádné události. V případě havárie se postupuje podle platných zákonů a vyhlášek, tj. prověřuje se správnost projektové dokumentace a splnění technologické kázně ze strany stavební firmy. Úloha báňského projektanta při výstavbě tunelu byla a pravděpodobně i nadále bude velmi problematická. V přímém protikladu je jeho odpovědnost definována báňskými předpisy s možností tuto odpovědnost reálně naplnit ovlivněním postupu výstavby přímo na stavbě. I když nové znění vyhlášky č. 55/1996 Sb. přímo nařizuje účast projektanta na stavbě minimálně jednou týdně, nemůže tím



▲ *Tunel Panenská, hluboká stavební jáma jižního portálu*

být nahrazena jeho aktivní účast při každodenním zatřiďování do technologických tříd výrubu a hodnocení chování horninového masivu. I když má projektant díky modernímu vyhodnocování geotechnických měření a on-line přístupu k výsledkům možnost sledovat časový vývoj sledovaných veličin i hodnocení čeleb, nemůže operativně reagovat na vzniklou situaci v případě neočekávaného vývoje při ražbě. Právě tyto situace jsou z hlediska výstavby tunelu nejrizikovější.

Statické výpočty

Snad nejvíce tajemstvím opředenou oblastí NRTM je matematické modelování ražby tunelu a dimenzování primárního a sekundárního ostění. Faktem zůstává, že v době vzniku NRTM nebyly možnosti matematického modelování zdaleka na takové úrovni jako v dnešní době. Přesto nebo možná právě proto NRTM nahradila klasické tunelovací metody a z tunelu vytlačila masivní výdřevu, složité členění výrubu i mohutné konstrukce tunelového ostění. Čím menší byly možnosti nasazení výpočetní techniky a použití programů matematického modelování, tím větší byl při návrhu i realizaci tunelu podíl empirie založený na zkušenostech a znalostech chování horninového masivu při ražbě. V počátku devadesátých let 20. století, kdy se začala NRTM prosazovat na projektech tunelů v České republice, byla situace s dostupností výpočetní techniky a programového vybavení na velmi nízké úrovni.

Modelování primárního ostění pro ražbu členěným výrubem bylo za tohoto stavu problematické. Z toho důvodu docházelo při statických výpočtech v porovnání s reálným chováním tunelového ostění k výrazným zjednodušením a předmětem zájmu se stávala především statická analýza ostění se sledováním citlivosti vnitřních sil a deformací na změny geotechnických parametrů masivu nebo

inzerce

TECO
Advanced Automation

Zveme vás na
Specializované HW školení firmy Teco – SKUTEČNÁ AUTOMATIZACE budov, domů, strojů, procesů....
Termíny: Praha 2.–3. 5.2017
Brno 9.–10. 5. 2017

Program:
- Efektivní fotovoltaika a využití bateriových systémů pomocí Tecomat Foxtrot (NOVINKA)
- Jak jednoduše navrhovat systém Tecomat Foxtrot
- Jak efektivně využívat přednosti jednotlivých komponent systému
- Co vše lze na systému Foxtrot postavit a řídit?
- Postřehy, příklady z reálné praxe a zakázek

Více na www.tecoacademy.cz
nebo na musil@tecomat.cz



▲ *Tunel Valík, 2006, minimální vzdálenost tunelových trub*



▲ *Vítkovské tunely, 2008, ražená napínací komora trakčního vedení*



▲ *Tunel Klimkovice, 2008, montáž bednicího vozu ve stavební jámě*

vlastností materiálu ostění. Použitá tunelovací metoda, využívající zpravidla ražbu tunelu po dílčích výrubech, i použití primárního ostění ze stříkaného betonu vyžadovalo zohlednit ve výpočtech kromě nelineárního chování horniny, případně stříkaného betonu, i faktor času. V čase se měnila nejen hodnota zatížení líce výrubu a následně primárního ostění, ale i pevnostní charakteristiky a modul pružnosti betonu ostění. V oblasti čelby každého z dílčích výrubů bylo navíc nutné převést výrazně prostorovou úlohu spojenou s přeskupováním napětí v okolí výrubu na dvojrozměrnou úlohu, kterou bylo možné dostupnými prostředky řešit.

Směrnice pro navrhování ostění tunelů budovaných NRTM

Problematikou stanovení funkce zatížení a funkce únosnosti primárního ostění se v letech 1991 a 1992 zabýval kolektiv autorů Zapletal, Bucek, Barták ve Směrnici pro navrhování ostění budovaných NRTM. Tato směrnice zaváděla kromě pojmu časově závislá technologická zatěžovací funkce i pojem funkce únosnosti primárního ostění. Jednalo se o dvě hraniční křivky závislé na daném tvaru výrubu, na materiálových vlastnostech ostění a geotechnických parametrech horninového masivu. První křivka udávala hodnotu zatížení, které by v daném časovém okamžiku mohlo na dosud nezatížené ostění dolehnout, aniž by došlo k vyčerpání jeho únosnosti. Druhá křivka popisovala v každém okamžiku hodnotu zatížení, které naopak udržuje primární ostění neustále v mezním stavu únosnosti. Křivky nazvali autoři na počest profesora Jiřího Mencla první a druhou Menclovou mezí. Všechny funkce zatížení ostění ležící pod první Menclovou mezí jsou zaručeně únosné, všechny funkce zatížení ležící nad druhou Menclovou mezí jsou zaručeně neúnosné. Oblast mezi těmito křivkami vymezuje funkce zatížení jak únosné, tak neúnosné. I když je možné teorii použít i v případě ražby členěným výrubem, složitost postupu k dosažení výsledků to prakticky znemožňuje. Výpočet podle Menclových mezí byl použit při výpočtu primárního ostění u prvního nasazení NRTM na jednokolejném tunelu trasy IV.B-05 pražského metra.

Postupné zlepšování cenové dostupnosti osobních počítačů umožnilo tunelovým statikům použití sofistikovanějších programů a využití metody konečných prvků se zohledněním nelineárního chování horniny při modelování ražby tunelu. Ke zlepšení uživatelského komfortu a zrychlení složitých geotechnických úloh přispělo použití grafických preprocesorů a postprocesorů, které umožňují díky grafickému znázornění lepší kontrolu zadaných vstupních dat i názornější interpretaci výsledků výpočtů. V současné době umožňují programy matematické modelování ve 3D. To se využívá zejména u tvarově složitých podzemních staveb, kde by zjednodušení na 2D úlohu již výrazně ovlivnilo výsledky výpočtu. U standardních liniových podzemních staveb jsou výpočty prováděny stále jako rovinné.

U statických výpočtů geotechnických úloh spojených s modelováním ražby tunelu je třeba mít na paměti, za jakých předpokladů získané výsledky platí, jakých zjednodušení se projektant při modelování dopouští a s jakou přesností jsou vstupní hodnoty schopny postihnout reálné chování horninového masivu. Z toho důvodu je vhodné provádět parametrické studie a získat tak představu o citlivosti výsledků na změnu geotechnických parametrů. ■

Článek vychází na základě textu publikovaného v časopise Tunel 1/2013.

english synopsis

The New Austrian Tunnelling Method on its 55th Anniversary – the Past and Present, Part 1

This year, the New Austrian Tunnelling Method celebrates its 55th anniversary. It is no exaggeration to say that it led to a revolution in conventional tunnelling with its entirely new approach to the rock mass as part of the "support–rock" system, the use of thin and therefore flexible support in the form of shotcrete, the reinforcement of the rock ring with systematic anchorage and the variability of the means used to ensure extraction stability.

klíčová slova:
Nová rakouská tunelovací metoda

keywords:
The New Austrian Tunnelling Method