

# POSLEDNÍ DESETILETÍ VE VÝVOJI PODZEMNÍHO STAVITELSTVÍ V ČR

## DEVELOPMENT OF UNDERGROUND CONSTRUCTION INDUSTRY IN THE CZECH REPUBLIC DURING RECENT DECADES

Jiří BARTÁK

V konvenční ražbě Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM) nahradila málo hospodárnou prstencovou (erektorovou) metodu a stala se výhradním a úspěšným postupem při výstavbě nových tunelů všech typů. Po roce 1990 bylo touto metodou realizováno patnáct velkých tunelů – osm železničních a sedm dálničních a silničních. V těžkých geotechnických podmínkách se projeví i jisté limity její bezpečné aplikace. Slibně se rozvíjející plnoprofilová strojní ražba však v období velkého rozmachu NRTM v 90. letech minulého století ztratila u nás kontinuitu se světovým vývojem a prakticky z realizační sféry velkých tunelů zmizela. Připravované významné a rozsáhlé dopravní stavby – metro a železniční tunely – nepochybně povedou k oživení této technologie a k nasazení moderních plnoprofilových tunelovacích strojů.

As far as conventional excavation is concerned, the New Austrian Tunneling Method (NATM) has replaced the rather uneconomical Ring Method (using erectors), to become the sole and successful technique in constructing new tunnels of all types. After 1990, fifteen large tunnels have been completed using this method – eight rail tunnels and seven motorway and road ones. Certain limits to the safe application of the method were encountered while working in difficult geotechnical conditions. On the other hand, the promisingly developing full-face mechanical excavation lost the continuity with the development in the world during the great NATM expansion period in the Czech Republic in the 1990s, virtually disappearing from the sphere of construction of large tunnels. The significant extensive transport-related construction projects being planned – metro and rail tunnels – will undoubtedly lead to a revival of this technique and the application of modern full-face tunnelling machines.

V roce 20. výročí „sametové revoluce“ není od věci si připomenout, jaký dopad měla tato podstatná politická a hospodářská změna do sféry podzemního stavitelství v České republice. Náhlé uvolnění, které se promítlo i do technického myšlení, umožnilo odpoutat se v této oblasti od již poněkud stnulých postupů souvisejících zejména s výstavbou metra a dohodou mezi vládami ČSSR a SSSR o spolupráci a technické pomoci při výstavbě podzemních tras MHD v Praze.

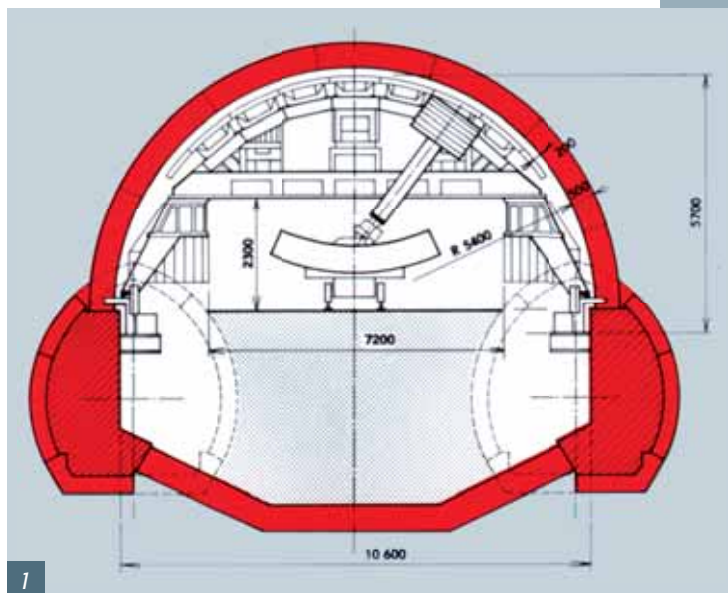
Objektivně je však nutno konstatovat, že v 70. a 80. letech používané technologie ražby – nemechanizované štíťování a prstencová (erektorová) metoda – které nahradily klasické pilířové systémy s výdřevou, byly v našich podmínkách velmi výkonné a vesměs úspěšně aplikované. Zejména prstencová metoda si pro

Obr. 1 Strahovský tunel v Praze – schema výstavby horní klenby pomocí erektoru

Fig. 1 Strahov tunnel in Prague – construction scheme of the vault with using erector

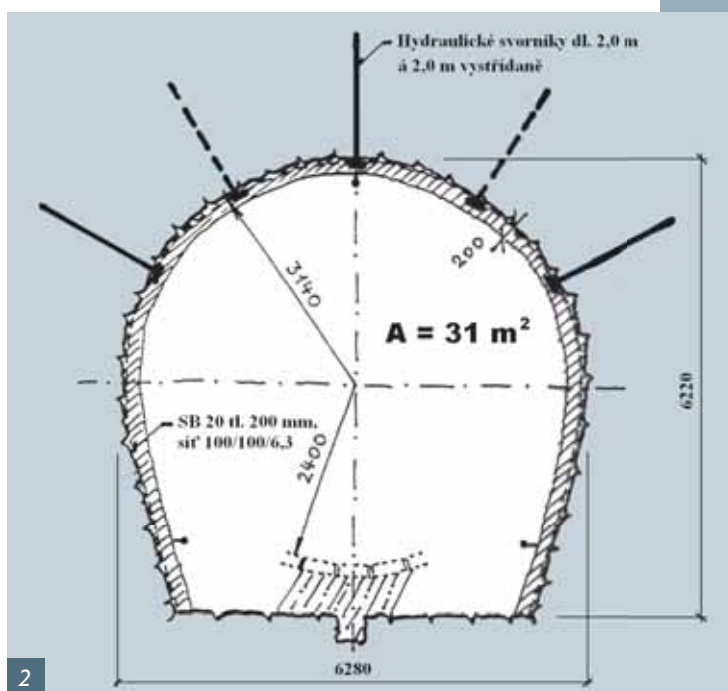
Obr. 2 Ražený přívaděč odpadních vod v Praze–Troja

Fig. 2 Waste water tunnel in Prague – Troja



svá mnohá zdokonalení (např. použití „pilot-štol“ různého umístění i tvaru, využití „metro-plechů“ a Bernold-plechů, stříkaného betonu, dlouhých čelbových kotev, řízeného výlomu apod.), vysloužila přídomek „pražská“ prstencová metoda. Poslední významnou stavbou, kde byly obě tyto technologie nasazeny, nebyla kupodivu žádná z částí pražského metra, ale Strahovský tunel (Metrostav a Vojenské stavby), který byl dokončen ve dvou troubách po dlouhých deseti letech výstavby až v prosinci roku 1997 (obr. 1).

Po roce 1989 se však náhle naskytl možnost inspirovat se při



výstavbě podzemních děl postupy, které v té době byly ve vyspělých tunelářských zemích již dokonale propracované a mnohokrát úspěšně vyzkoušené – Novou rakouskou tunelovací metodou a ražbou pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů.

#### NOVÁ RAKOUSKÁ TUNELOVACÍ METODA

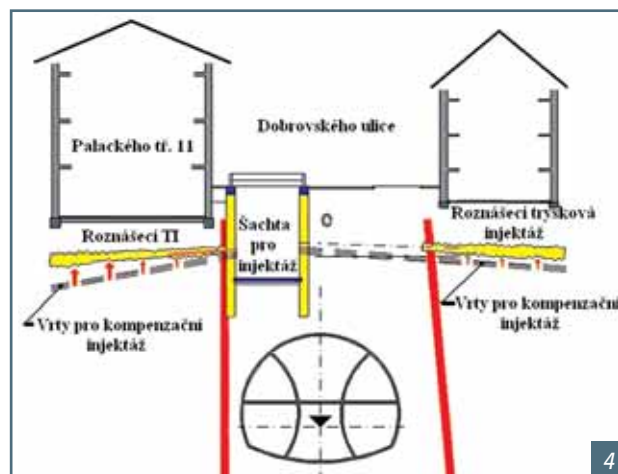
Pro české tunelářství se stala symbolem dějinné změny Nová rakouská tunelovací metoda (dále jen NRTM). Od 90. let minulého století až do současnosti nastalo velké a takřka výhradní zaujetí touto metodou. Podstatný atribut metody – observace chování a upravování původního návrhu konstrukce na základě analýzy vybraných monitorovaných veličin – byl významně podpořen ustanoveními nových evropských technických norem. Norma ČSN EN 1997-1:2004 s názvem „Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – část 1: Obecná pravidla“ totiž legalizuje jako jeden z možných přístupů navrhování geotechnických konstrukcí observační metodu.

Tento postup, v ČR v 90. letech zdánlivě nový a progresivní, byl v podzemním stavitelství aplikován již od zveřejnění zásad NRTM v 50. a 60. letech dvacátého století. Princip NRTM přímo vyžaduje, aby se v průběhu ražeb prováděly korekce původního návrhu vstrojení tunelu na základě prováděných deformačních měření, tzv. konvergencí primárního ostění. Obrovské množství úspěšných aplikací v cizině, a po roce 1990 i u nás, potvrzuje správnost geomechanického pojetí této adaptabilní tunelovací metody.

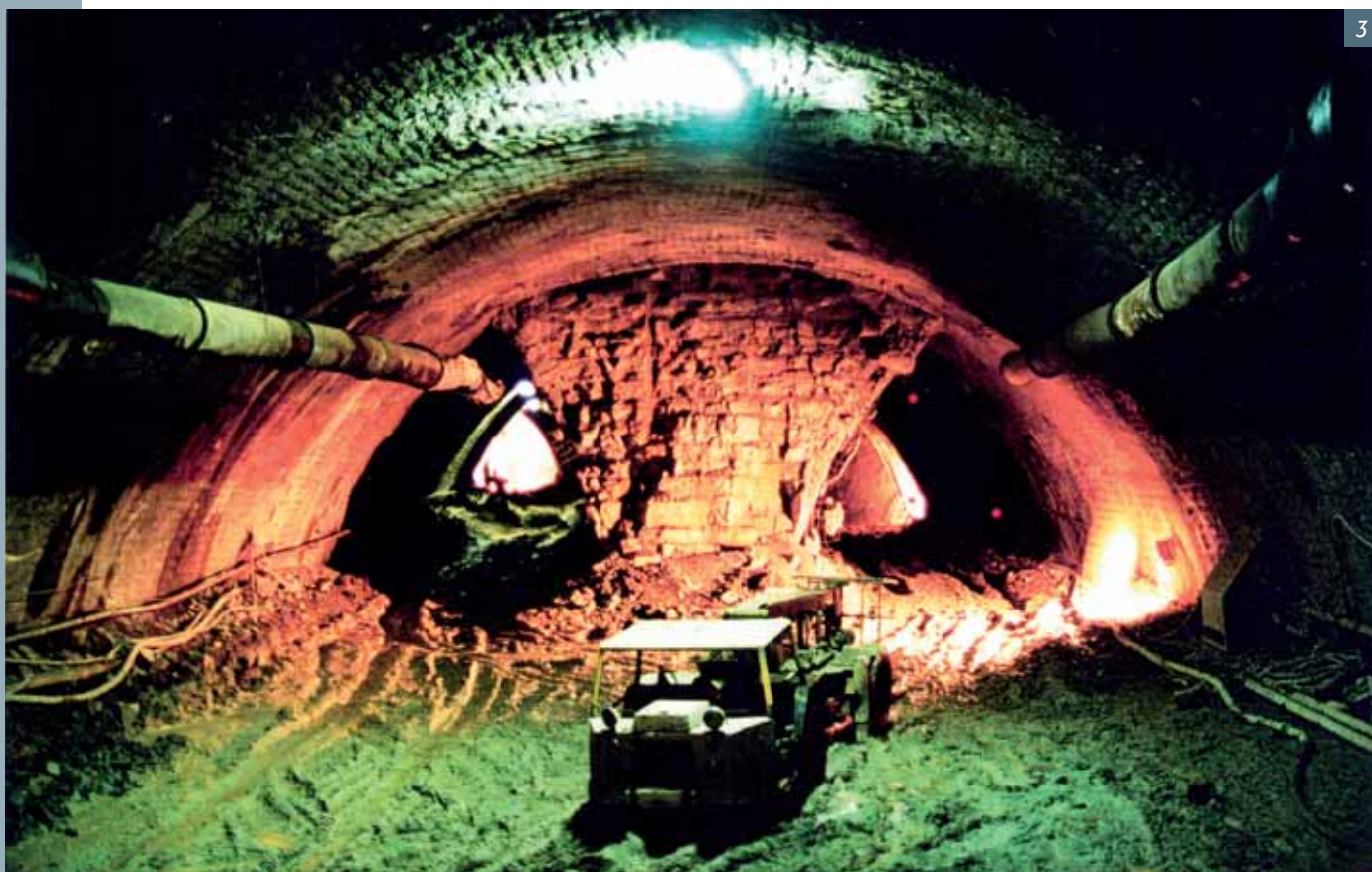
Není bez zajímavosti připomenout, že poprvé ve světě byla NRTM aplikována při výstavbě silničního tunelu Massenberga v rakouském Štýrsku (dokončen v roce 1963) – v masivu grafitických jílovitých břidlic dosáhly konvergence v kalotě hodnoty až 200 mm. V roce 1965 byl v Německu realizován

stejným postupem železniční tunel Schwaikheim – ve slínovcovém masivu dosáhly konvergence v kalotě k hodnotě 120 mm. Mimořádně náročná, ale současně poučná byla výstavba Tauernského a Katchberského tunelu na dálnici Salzburg–Villach v letech 1969 až 1975, kde se tuneláři v silně tlačivém masivu fylitických břidlic úspěšně vypořádali pomocí speciálních deformačních elementů s konvergenčními 270 mm v prvním případě, resp. až 700 mm v případě druhém.

Za první plnohodnotnou aplikaci NRTM v České republice lze pokládat výstavbu kanalizační stoky F a raženého přivaděče (obr. 2) do nové čistírny odpadních vod v pražské Troji v letech 1991 až 1994 (Vodní stavby). V masivu algonkických drobových břidlic měla maximální velikost konvergencí v kalotě hodnotu 22 mm. Z větších tunelů pak následovaly přibližně ve stejném



4



3

Obr. 3 Tunel Hřebeč – svislé členění kaloty u v opukovém masivu

Fig. 3 Tunnel Hřebeč – vertical face sequencing in the arenaceous marlit

Obr. 4 Královopolský tunel na VMO v Brně – schema kompenzační injektáže

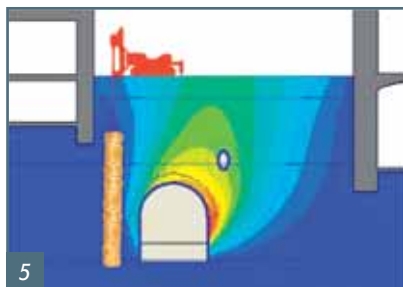
Fig. 4 Královopolský tunnel on the Large city ring in Brno – compensation grouting scheme

Obr. 5 Kolektor Vodičkova v Praze – odklonění poklesové zóny od zástavby pomocí clony z tryskové injektáže

Fig. 5 Utility tunnel Vodičkova in Prague – deflection of the tunnel deformation zone by jet-grouting screen

Obr. 6 Tunel Prackovice – přes 20 m vysoká jižní portálová stěna

Fig. 6 Tunnel Prackovice – the south portal wall over 20 m high



5



6

Tab. 1 Železniční tunely realizované v ČR pomocí NRTM po roce 1989

Tab. 1 Railway tunnel built by NATM in Czech Republic after 1989

Název tunelu	Rok uvedení do provozu	Počet kolejí	Koridor	Délka tunelu [m]	Pořadí realizace
Vepřek	2002	2	I, IV	390	1 (148)
Tatenice	2004	2	II, III	143	2 (149)
Krasíkovský	2004	2	II, III	1 101	3 (150)
Malá Huba	2005	2	II, III	324	4 (152)
Hněvkov I	2006	2	II, III	180	5 (153)
Hněvkov II	2006	2	II, III	462	6 (154)
Březno	2007	2	–	1 758	7 (155)
Vítkovské tunely	2008	2 x 2	I, III, IV	1 365 + 1 316	8 (156)

Celková délka 5 894 m

Tab. 2 Silniční tunely realizované v ČR pomocí NRTM po roce 1989

Tab. 2 Road tunnel built by NATM in Czech Republic after 1989

Název tunelu	Kraj	Rok uvedení do provozu	Počet tubusů	Počet pruhů v tubusu	Délka tunelu [m]	Pořadí realizace
Hřebeč	Pardubický	1997	1	3	355	1 (9)
Pisárecký	Jihomoravský	1997	2	2	513/500	2 (10)
Mrázovka	Hl. m. Praha	2004	2	2 až 3	1 300	3 (15)
Valík	Plzeňský	2006	2	2	390/380	4 (16)
Panenská	Ústecký	2006	2	2	2 168/2 116	5 (17)
Libouchec	Ústecký	2006	2	2	520/504	6 (18)
Klimkovice	Severomoravský	2008	2	2	1 088/1 077	7 (20)

Celková délka 6 334 m



7

Obr. 7 Tunel Blanka – první propad nadloží v květnu 2008  
Fig. 7 Tunnel Blanka – first inbreak of the overburden in May 2008

Obr. 8 Přehrada Písečnice u Chomutova – prorážka Demagu  
Ø 2,67 v r. 1974

Fig. 8 Dam Písečnice near of town Chomutov – break-through of the tunnel boring machine Demag in 1974

Obr. 9 Razič stroj RS 24 – 27

Fig. 9 Tunnel boring machine RS 24 – 27

Obr. 10 Mechanizovaný štít Priestley Ø 3,6 m

Fig. 10 Full-face shield machine Priestley Ø 3,6 m

Obr. 11 Mechanizovaný štít TŠčB-3 Ø 5,8 m

Fig. 11 Full-face shield machine TŠčB-3 Ø 5,8 m

Obr. 12 Otevřený štít s výložníkovou frézou RŠF-1

Fig. 12 Part heading shield machine RŠF-1 with a road header



8



9

období silniční tunely Hřebeč (Metrostav) a Pisárecký (Subterra), které byly uvedeny do provozu na konci roku 1997, a nejdelší mezistaniční úsek na trase IV.B pražského metra Hloubětín–Rajská zahrada, uvedený do provozu v roce 1998 (Metrostav).

Díky rozšíření NRTM došlo u nás k rozvoji řady postupů a technologií, souvisejících především s vyztužováním výrubu a stabilizací nadloží. Patří mezi ně zejména:

- výrazné zkvalitnění stříkaných betonů,
- zdokonalení typů svorníků a dlouhých předpínaných horninových kotev,
- zvládnutí ražby s různým členěním čelby; toto opatření je základní technologickou modifikací, která umožňuje ražbu velkých tunelových profilů v obtížných geologických podmínkách (obr. 3),
- účelné využívání doplňujících stabilizačních opatření před čelbou (jehlování, mikropiloty, subhorizontální trysková injektáž, vyztužování čelby),
- sanační injektáže z podzemí i z povrchu území,
- kompenzační injektáže (obr. 4).

Kompenzační injektáž je mimořádně technicky náročné, velmi nákladné, ale současně jedinečné opatření, které umožňuje deformačně zvládnout ražbu pomocí NRTM při nízkém a málo kvalitním nadloží tunelu pod zástavbou. Kompenzační injektáž spočívá v řízené redukci deformací nadloží nad raženým tunelem. Předem připravená struktura nadloží (vytvoření zpevněné zóny v masivu nad horní klenbou ostění a pod základovou spárou povrchové zástavby) a předem vybudovaný systém šachet s vříví horizontálních vrtů pro tlakovou injektáž umožňují průběžně vyrovnávat deformace nadloží v podélné i příčné poklesové zóně raženého díla. Výsledky průběžného přesného měření deformací povrchové zástavby jsou bedlivě vyhodnocovány a na jejich základě probíhá počítačově řízená tlaková injektáž nadloží, která včasnými reaktivními zdvihy kompenzuje „nastartované“ deformace zástavby. Tímto postupem lze účinně omezit jak absolutní velikost deformací ve vznikající poklesové kotlině, tak sklon svahů poklesové kotliny.

Použití kompenzační injektáže je pro svou náročnost i ve světě málo čtené, a je proto velmi dobrou vizitkou našeho tunelářství, že byla již dvakrát úspěšně použita. V menším rozsahu při podchodu zástavby v ulici Ostrovského při ražbě tunelu Mrázovka v Praze, v podstatně větším rozsahu při právě probíhající ražbě Královopolského tunelu v Brně.

Teoreticko-statické zvládnutí NRTM bylo umožněno mimořádně rychlým vývojem numerického matematického modelování a dostupností potřebného kvalitního softwaru. Většinou používaná metoda konečných prvků umožňuje i v 2D verzi simulaci prostorové napjatosti v oblasti čelby tunelu, velmi kvalitní a názorné je stanovení vlivu deformací na povrchovou zástavbu (obr. 5).

Vysoké úrovně bylo dosaženo v provádění a organizaci geotechnického monitoringu. V současnosti je u velkých staveb již pravidlem dostupnost údajů pro vybrané účastníky výstavby v on-line režimu, což umožňuje pro zainteresované osoby a orgány nejoperativnější využití monitorovaných veličin pro vyhodnocení a eventuální úpravy postupu tunelování.

Pomocí NRTM byla do současné doby v ČR úspěšně dokončena celá řada významných staveb – osm železničních tunelů (tab. 1) v celkové délce 5 894 m (včetně 613 m dlouhé části jinak nejdelšího železničního tunelu Březno – 1 657 m) a sedm silničních tunelů (tab. 2) v celkové délce 6 334 m (včetně nejdelšího silničního tunelu v ČR Panenská – 2 168 m). Ve stadiu výstavby pomocí NRTM je v současnosti železniční tunel Jablunkovský na III. koridoru a tři tunely silniční – tunel Prackovice na dálnici D8 v Českém Středohoří dlouhý 270 m (obr. 6), Královopolský tunel na Velkém městském okruhu v Brně dlouhý 1 240/1 260 m a rozsáhlý tunelový komplex Blanka na Městském okruhu v Praze dlouhý 5 502/5 489 m. V blízké budoucnosti bude zahájena ražba tunelu Radejčín délky 620 m, který je posledním budovaným tunelem na dálnici D8. Propojením úseku Lovosice–Řehlovice přes chráněnou krajinnou oblast České Středohoří dojde k velmi potřebnému zprovoznění celé dálnice D8 mezi Prahou a hranicemi s Německem ve směru na Drážďany.

Přes nesporné úspěchy při mnohočetném nasazení NRTM se ve velmi těžkých geologických podmínkách a nízkém nadloží ukázaly i jisté limity její použitelnosti, při snaze o současné zachování přiměřené hospodárnosti. Velmi přesvědčivým dokladem tohoto tvrzení je dvojnásobný propad nízkého a zvodnělého nadloží v pražské Stromovce při ražbě tunelu Blanka na městském okruhu (obr. 7).

Bezpečné dokončení prací v podzemí si vyžádalo u obou tunelových trub rozsáhlé sanace nadloží mikropilotami a několika typy injektáže (trysková, tlaková cementová a tlaková chemická), včetně průkazného ověření jejich kvality. Vlastní ražba byla prováděna ve zvláštní třídě, v níž byla použita většina známých doplňujících stabilizačních opatření, např. velmi krátké záběry, svisle členěná kalota, vícenásobné mikropilotové „deštníky“ nad výrubu a ochrana čelb stříkaným betonem. V současné době se ražba nejobtížnějšího úseku dostala do závěrečné fáze pod bývalou Šlechtovou restaurací.

#### PLNOPROFILOVÉ TUNELOVACÍ STROJE

Pro pokračování velmi dobré úrovně našeho podzemního stavitelství je proto bezpodmínečně nutné doplnit cyklickou ražbu NRTM moderní technologií kontinuální ražby pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů, které se mohou uplatnit ve formě štítů s tlakovou kontrolou v čelbě především v mnohostranně



10



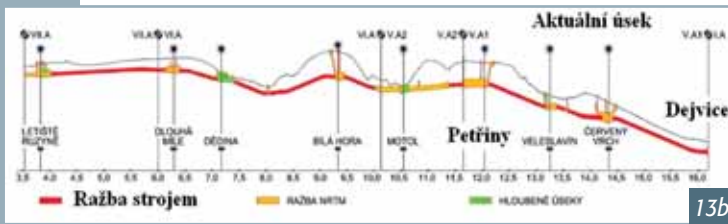
11



12



Obr. 13 Pražské metro – prodloužení linky „A“  
Fig. 13 Prague Metro – extension of the line „A“



Obr. 14 Ejpovický železniční tunel – schematic podélný řez  
Fig. 14 Railway Ejpovice tunnel – schematic longitudinal section

Obr. 15 Železniční tunel Praha–Beroun  
Fig. 15 Railway tunnel Prague – Beroun

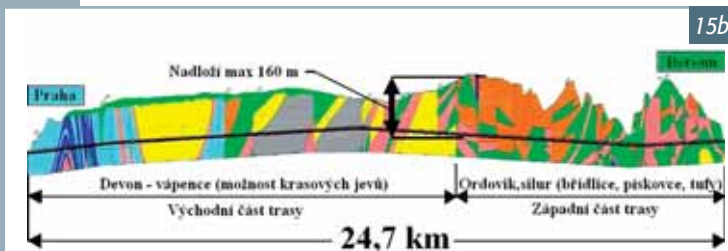
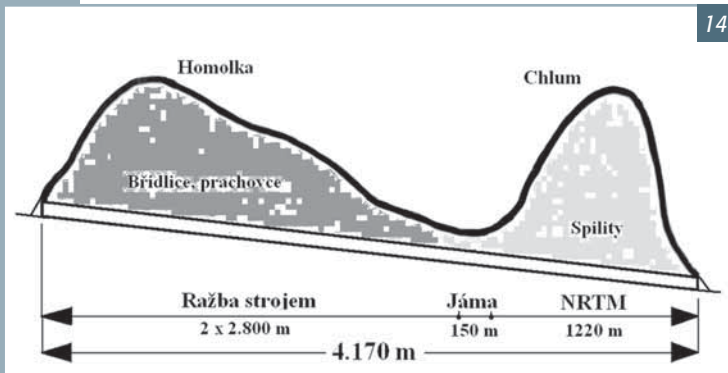
obtížných podmínkách (mělké tunely, tlačivé zeminy, podzemní voda, povrchová zástavba), v nichž použití NRTM představuje často velmi obtížný „souboj s přírodou“. Nicméně použití určitých typů těchto strojů je možné i v pevných skalních horninách (Tunnel Boring Machines – TBM), včetně skalních hornin s poruchovými pásmy (TBM se štítem).

### Historické nasazení v ČR

Ve světě nejrozšířenější metoda výstavby tunelů pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů v pevných skalních horninách ani v tlačivých, případně zvodněných zemínách, nenašla zatím v současnosti v České republice uplatnění. Při tom se i u nás v 60. až 90. letech minulého století tato moderní technologie slibně rozvíjela. Připomeňme nejdůležitější počiny v této oblasti plnoprofilového tunelování v letech 1970 až 1993:

#### Protagonisté:

- Výstavba dolů uranového průmyslu (v současnosti Subterra, a. s.)
    - razičí stroje Demag Ø 2,67 m (obr. 8)
    - razičí stroje vlastní konstrukce RS 24 – 27 a RS 37 – 40 Ø 2,7 až 3,8 m (obr. 9)
  - Inženýrské a průmyslové stavby (v současnosti Skanska, a. s.)
    - mechanizované plnoprofilové štíty Pristley Ø 2,4 a 3,6 m (obr. 10)
    - mechanizovaný plnoprofilový štít Westfalia Lünen Ø 1,6 m
  - Metrostav (v současnosti Metrostav, a. s.)
    - mechanizovaný plnoprofilový štít TŠČB-3 Ø 5,8 s ostěním z pressbetonu (obr. 11)
    - otevřený štít s výložníkovou frézou RŠF-1 Ø 5,8 m (obr. 12)
- Přehled nasazení použitých tunelovacích strojů:
- Razičí stroje:
    - **DEMAG Ø 2,67 m:** VD Přísečnice v roce 1974 – **1. nasazení tunelovacího stroje v ČR**, VD Dřínov, VD Josefův důl, VD Slezská harta, kabelové tunely Praha – celkem 23 041 m
    - **VZUP RS Ø 2,6 až 3,8 m:** kabelové tunely a stoky v Praze, VD Josefův Důl, VD Slezská Harta, Brněnský oblastní vodovod (úseky Běleč I a II, Svařec, Bystrc–Bosonohy), důlní otvůrka Figaredo (Španělsko) – celkem 43 644 m
  - Mechanizované štíty plnoprofilové (menší):
    - **PRISTLEY Ø 2,4 a 3,6 m:** kabelový tunel Žižkov, kolektor Žižkov, tepelný napáječ Malešice
    - **Westfalia Lünen Ø 1,6 m:** kanalizace Chodov, Kyje, Prosek
  - Mechanizované štíty plnoprofilové (větší):
    - **TŠČB-3 Ø 5,8 m s ostěním z pressbetonu:** trasa „A“ pražského metra – oba traťové tunely pod Vltavou Klárov–Staroměstská v roce 1973 – **1. nasazení plnoprofilového mechanizovaného štítu v ČR**, pravý tunel trasy „A“ v úseku Staroměstská–Můstek, trasa „B“ – levý traťový tunel v úseku Můstek B–Florenc B, celkem cca 3 500 m
  - Štít s výložníkovou frézou RŠF-1:
    - trasa „B“ – traťový tunel v úseku Florenc B–Invalidovna, celkem cca 2 000 m.



Z uvedeného výčtu je patrné, že světový „mainstream“ plno-profilového tunelování zdaleka nezůstal v „předrevoluční“ ČR bez povšimnutí a zdálo by se naprosto logické, že v nových podmínkách bude tento trend úspěšně pokračovat, opak však byl pravdou. I když možnost nasazení moderních tunelovacích strojů při výstavbě dlouhých tunelů byla i u nás zvažována (např. u tunelového komplexu Blanka na Městském okruhu v Praze), k žádné realizaci v „porevolučních“ dvaceti letech nedošlo. Důvody jsou zřejmě z podstatné části ekonomické povahy – velká počáteční investice na pořízení tunelovacího stroje je možná poněkud demotivující, takže NRTM byla v našich poměrech, charakterizovaných relativně krátkými tunely, zřejmě oprávněně preferována. Jistou roli může hrát i dlouhodobá ztráta kontaktu s touto technologií; zkušenosti se ztratily s odchodem jejich nositelů z oboru.

### Výhledy v nasazení v ČR

Poněkud asymetrický stav v našem podzemním stavitelství, spočívající ve zcela výhradním zaujetí Novou rakouskou tunelovací metodou, se v nejbližších letech nepochybně změní a k nasazení plno-profilových tunelovacích strojů dojde. Vážnými adepty na jejich první nasazení jsou, díky svým délkám, traťové tunely na prodloužení linky „A“ pražského metra, železniční Ejpovický tunel a podzemní stavba světových parametrů – železniční tunel mezi Prahou a Berounem:

#### • Prodloužení linky „A“ pražského metra v úseku Dejvice–Motol

Z celého 12,7 km dlouhého prodloužení Dejvice–letišť Ruzyň se jedná o úsek V. A1 Dejvice–Petřiny, tvořený dvěma jednokolejnými tunely délky 4,54 km (obr. 13). Odtěžování rubaniny i doprava železobetonových tubingů do podzemí se předpokládá z obslužné šachty na Petřinách.

#### • Železniční Ejpovický tunel na III. tranzitním koridoru ČD

Z celkové délky Ejpovického tunelu 4 170 m se předpokládá nasazení tunelovacího stroje na úsek pod kopcem Homolka, tvořený dvěma jednokolejnými tunely délky 2 800 m. Navazujícími úseky jsou hloubená jáma (délky 150 m) a klasicky ražený tunel pod kopcem Chlum délky 1 220 m (obr. 14).

#### • Železniční tunel Praha–Beroun na III. tranzitním koridoru ČD

Tunel délky 24,7 km bude v celé délce realizován pomocí plno-profilových tunelovacích strojů, pouze rozpletové úseky na pražské straně budou raženy pomocí NRTM. Vybraná severní trasa tunelu (obr. 15) se v maximální možné míře vyhýbá pro tunelování nevhodné oblasti Barrandienu, v níž je velmi pravděpodobný výskyt nebezpečných krasových jevů (závrty a kaverny).

Uvedené stavby, jejichž zahájení lze očekávat v dohledném časovém horizontu jednoho až pěti let, představují velkou výzvu pro renomované tunelářské firmy naše i zahraniční. Vytváření pracovních týmů v našich velkých stavebních společnostech, které se věnují přípravě nasazení plno-profilových tunelovacích strojů v rámci zmíněných i dalších zakázek, je důležitým krokem v zajištění naší schopnosti i v této oblasti konkurovat zkušeným zahraničním firmám.

Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.  
Stavební fakulta ČVUT v Praze  
Katedra geotechniky  
Thákurova 6, 166 29 Praha 6  
e-mail: bartakj@fsv.cvut.cz

Ražený tunel, Mosty u Jablunkova | FIRESTA-Fiiser, rekonstrukce, stavby a.s., Brno



#### Přednosti:

- hydraulické ovládání formy včetně pojezdů
- ocelová forma pro velké zatížení a velké počty nasazení
- samonosná konstrukce bednicího pláště formy
- trojrozměrná konstrukce k přenosu horizontálních sil
- stavěcí ocelové čelní bednění variabilní k tvaru klenby
- bezpečnost v každém ohledu

## Tunelové ocelové bednění PERI s hydraulickým ovládáním



bednění  
lešení  
služby

[www.peri.cz](http://www.peri.cz)

CZ PERI09.141