

PRŮZKUMNÉ ŠTOLY VYUŽITÉ PRO VÝSTAVBU DOPRAVNÍCH TUNELŮ V ČR

EXPLORATORY GALLERIES USED FOR CONSTRUCTION OF TRANSPORT TUNNELS IN THE CR

MARTIN SRB, MATOUŠ HILAR

1 ÚVOD

Provedení průzkumné štoly před ražbou tunelu je využíváno pro získání detailních geotechnických informací relevantních pro návrh a realizaci budoucího podzemního díla. V posledních dvaceti letech od roku 1990 byly v České republice zahájeny a dokončeny ražby 14 silničních a 13 železničních tunelů s celkem cca 35 km tunelových trub. U dvanácti z nich, a zároveň u všech delších tunelů, byly před zahájením stavby provedeny průzkumné štoly v částečné, nebo plné délce budoucích tunelů (obr. 1). Vzhledem ke zvýšené investiční náročnosti a prodloužení doby výstavby u tunelových projektů s průzkumnými štolami je nutné diskutovat otázku přínosu a vhodnosti těchto štol pro realizaci budoucích tunelů.

Následující článek přináší přehled silničních a železničních tunelových projektů a jejich průzkumných štol realizovaných pomocí NRTM v období 1990–2011 v České republice (obr. 1). Jsou prezentovány základní parametry štol a budoucích tunelů. Tunely jsou řazeny v chronologickém pořadí podle období výstavby. Protože ve zkoumaném období došlo také k řadě havárií během výstavby dopravních tunelů, což úzce souvisí s diskutovanou problematikou, tak jsou v článku uvedeny i výskyty významnějších havárií.

2 PŘEHLED DOPRAVNÍCH TUNELŮ S PRŮZKUMNÝMI ŠTOLAMI

2.1 Tunel Hřebeč (1995–1996, průzkumná štola 1994)

Tunel Hřebeč je obousměrný, třípruhový silniční tunel na silnici I/35 u Svitav o délce raženého tunelu 275 m. Tunel s nadloží do 20 m byl ražen ve složitých geologických podmínkách křídových sedimentů opuk, jílovců a pískovců.

Průzkumná štola byla provedena jeden rok před zahájením ražeb v rámci průzkumných prací. Profil průzkumné štoly byl navržen ve tvaru pravého bočního opěrového tunelu budoucího tunelového profilu a štola byla vyražena v délce 50 m od východního portálu dovnitř.

Ražba z východního portálu byla zahájena levým opěrovým tunelem na délku cca 80 m a poté propojením v hoře do průzkumné štoly, vytvořením profilu kaloty a ražbou kaloty zpět k východnímu portálu. Při přiblížení k portálu došlo k zavalení tunelu skalním zřícením portálu. Stavba tunelu byla závažně zdržena přibližně o jeden rok. Ražba po závalu byla prováděna ze západního portálu úpadně. Nezavalená část kaloty byla zpřístupněna šachtou z povrchu.

2.2 Tunel Mrázovka (1998–2002, průzkumné štoly 1995–1998)

Tunel Mrázovka zahrnuje dvě jednosměrné tunelové trouby ražené v třípruhovém profilu, dvoupruhové a jednopruhové části tunelu, rozplety, 5 tunelových propojek, dále objekty trafostanice a strojovny vzduchotechniky, která vyústíje do větrací šachty.

1 INTRODUCTION

Exploratory galleries are driven prior to constructing tunnels with the aim of gathering geotechnical information relevant to the design and implementation of the future underground working. During the previous 20 years, from 1990, driving of 14 road tunnels and 13 railway tunnels at the aggregate length of about 35 km was commenced and completed in the Czech Republic. Exploratory galleries were driven for twelve of them, among them all of the longest ones, before the commencement of the tunnel construction itself, running throughout the full tunnel length or along a part of the future tunnel length (see Fig. 1). Taking into consideration the increased project costs and extended construction time of the tunnelling projects comprising exploratory galleries, it is necessary to discuss the issue of the benefit and suitability of these galleries for the construction of the future tunnels.

This paper brings a summary of all road and railway tunnel projects and exploratory galleries driven for them by the NATM within the 1990 – 2011 period in the Czech Republic (see Fig. 1). They are presented by means of basic parameters of the galleries and future tunnels. The tunnels are arranged in a chronological order, according to the construction time. Since several incidents happened during the period of the transport tunnels construction being surveyed, which is a problem closely associated with the problems discussed in this paper, the more serious incidents are also mentioned.



Obr. 1 Orientační poloha silničních a železničních tunelů s průzkumnými štolami realizovaných NRTM v letech 1990–2010 na mapě ČR (1 – Panenská, 2 – Prackovice, 3 – Mrázovka, 4 – Valík, 5 – Slivenec SOKP 514, 6 – Komořany SOKP 513, 7 – Královopolský)

Fig. 1 Orientative locations of road tunnels and rail tunnels with exploratory galleries, built by the NATM from 1990 – 2010 in the map of the CR (1 – Panenská, 2 – Prackovice, 3 – Mrázovka, 4 – Valík, 5 – Slivenec SOKP 514, 6 – Komořany SOKP 513, 7 – Královo Pole)



Obr. 2 Průzkumná štola tunelu Valík
Fig. 2 Exploratory gallery for the Valík tunnel

Délka tunelu je přibližně 1300 m, celková délka ražených částí je přibližně 2200 m.

Průzkumná štola byla ražena před ražbou vlastní západní tunelové trouby v její ose směrem od severního portálu. U severního portálu byla štola situována uprostřed výšky profilu budoucího silničního tunelu a postupně přecházela do vrcholu jeho klenby. Vzhledem k různé relativní poloze štoly vůči tunelové troubě byl částečně změněn i její tvar (méně klenutý strop štoly umístěné ve vrcholu kaloty). Celková délka průzkumné štoly v ose západní tunelové trouby byla 800 m. V oblasti ulice Ostrovského a před rozpletem byla vyražena průzkumná štola i v ose východní tunelové trouby (ražba z budované západní trouby, délka cca 400 m). Z průzkumné štoly byla v několika oblastech provedena zpevňující injektáž.

Během ražeb západní a východní trouby v oblasti severního portálu deformace výrazně překračovaly předpokládané hodnoty, deformace ostění se však úspěšně podařilo stabilizovat.

2.3 Tunel Valík (2004–2005, průzkumná štola 2002)

Tunel Valík se nachází na dálnici D 5 z Prahy do Rozvadova na obchvatu města Plzeň. Dálniční tunel je 380 m dlouhý, tunel tvoří dvě tunelové trouby šířky 11,5 m. Trouby jsou umístěny těsně vedle sebe bez horninového pilíře, což vedlo k úspoře záboru pozemků, ale současně to znamenalo obtížnější ražbu. Ražené tunelové trouby mají délku 330 m. Ražba byla realizována ve zvětralých až silně zvětralých, tektonicky rozpukaných proterozoických břidlicích.

Průzkumná štola s profilem 15 m² byla budována v profilu budoucího středního tunelu s profilem cca 71 m² (kalota 50 m² a spodní klenba cca 21 m²) v celé délce tunelu (obr. 2). Ve středním tunelu byl vybudován monolitický betonový pilíř sloužící jako opěra pro primární ostění při ražbě vlastních tunelových trub.

Při ražbě středního tunelu se s postupem ražby odstraňovalo ostění štoly. Průzkumná štola, umístěná v profilu středního tunelu, měla příznivý vliv na ražbu středního tunelu, jelikož působila jako kotva zvyšující stabilitu čelby středního tunelu.

2.4 Tunel Panenská (2003–2005, průzkumná štola 2001–2002)

Tunel Panenská je součástí dálnice D 8, která vede z Prahy kolem Lovosic a Ústí nad Labem na státní hranici se SRN. Tunel má dvě dvoupruhové tunelové trouby spojené propojkami. Délka

2 SUMMARY OF TRANSPORT TUNNELS WITH EXPLORATORY GALLERIES

2.1 The Hřebeč tunnel (1995 – 1996, exploratory gallery 1994)

The Hřebeč tunnel is a bi-directional triple-lane tunnel on the I/35 road near Svitavy, with the length of the mined section of 275 m. The tunnel with the overburden up to 20 m high was driven in complicated geological conditions formed by Cretaceous sediments of cretaceous marl, mudstone and sandstone.

The exploratory gallery was carried out one year before the commencement of the tunnel excavation, within the framework of geological and geotechnical exploration. The profile of the exploratory gallery was designed to follow the shape of the right-hand side-wall drift within the future tunnel profile. The gallery was driven at the length of 50 m, uphill from the eastern portal.

The excavation from the eastern portal started on the left-hand side-wall drift at the length of about 80 m. Then it was interconnected inside the rock mass with the exploratory gallery, forming the top heading profile. The excavation proceeded back toward the eastern portal. When the portal was being approached, the tunnel collapsed as the result of a failure of the rock mass at the portal. The tunnel construction was delayed for approximately one year. After the collapse the excavation proceeded downhill from the western portal. The part of the tunnel which was not affected by the collapse was made accessible through a shaft sunk from the surface.

2.2 The Mrázovka tunnel (1998 – 2002, exploratory galleries 1995 – 1997)

The Mrázovka tunnel comprises two unidirectional tunnel tubes, each with a triple-lane profile, two-lane and single-lane sections, bifurcation chambers, 5 cross passages, a cavern for a transformer station and a cavern for ventilation plant, which is connected to a ventilation shaft. The tunnel is roughly 1,300 m long; the total length of the mined sections is about 2,200 m.

The exploratory gallery was driven prior to the western tunnel tube excavation, following the tunnel centre line, from the western portal. At the northern portal, the gallery excavation was situated at the centre of the future road tunnel and gradually passed to the vault crown. With respect to the varying relative position of the gallery relative to the tunnel tube alignment, the cross-section geometry was partially modified (the radius of the gallery vault was increased at the future tunnel top). The total length of the exploratory gallery running on the centre line of the western tunnel tube was 800 m. In the area of Ostrovského Street and before the bifurcation, an exploratory gallery was driven even on the centre line of the eastern tunnel tube (about 400 m long excavation starting from the western tunnel tube being carried out). Consolidation grouting was carried out from several locations of the exploratory gallery.

During the course of the excavation of both the western and eastern tunnel tubes in the area of the northern portal, deformations significantly exceeded the expected values. The contractor succeeded in stabilising them.

2.3 The Valík tunnel (2004 – 2005, exploratory gallery 2002)

The Valík tunnel is found on the D5 motorway from Prague to Rozvadov, on a by-pass around the city of Plzeň. This 380 m long motorway tunnel consists of two 11.5 m wide tunnel tubes. The tubes run side by side, without a rock pillar. This design led

raženého tunelu je cca 2 km. Tunel byl ražen v prostředí tektonicky porušeného rulového krystalinika prostoupeného žilnými tělesy žulových porfyřů.

Vlastní výstavbě tunelů Panenská předcházely podrobný geologický průzkum včetně ražby dvou průzkumných štol z severního a jižního portálu budoucího tunelu. Ražba průzkumných štol byla zahájena v září 2001 a dokončena v říjnu 2002. Plocha výrubu štol byla 23,5 m² a celková délka štol byla 300 m (150 m z každé strany). Ražba štol a tunelu probíhala bez výraznějších problémů.

2.5 Tunel Březno (2002–2007, průzkumná štola 1996)

Jednokolejný železniční tunel Březno se nachází na železniční trati na úseku Březno u Chomutova – Chomutov, celková délka raženého tunelu je 1478 m, celková délka tunelu je 1758 m. Tunel s nadloží do 30 m byl ražen v obtížných geologických podmínkách, které zahrnovaly převážně značně plastické jíly a jílovce. Hladký povrch četných diskontinuit způsoboval nízkou stabilitu oblasti nevyztuženého výrubu. Dalším významným faktorem bylo ovlivnění masivu v oblasti portálů předchozí důlní činností. Pokryvné útvary (šterkopísky) zasahovaly do hloubky cca 6 m. Stavba tunelu začala v roce 2002 pomocí metody obvodového vrubu s předklenbou (MOVP). V roce 2003 po vyražení 860 m tunelu pomocí MOVP došlo k závalu tunelu. Zbývající část tunelu byla vyražena tzv. sekvenční metodou (obdoba NRTM), v této části došlo ke dvěma závalům, které se propagovaly až na povrch. V místě zasypaného stroje Perforex byla zbudována úniková šachta. Tunel byl uveden do provozu v roce 2007.

V průběhu přípravy projektu byla v roce 1996 vyražena „průzkumná štola“ mimo trasu budoucího tunelu, ve východní části skryvkového řezu lomu Libouš. Tato štola měla ověřit především vlastnosti horninového masivu a jeho krátkodobé a dlouhodobé deformační vlastnosti, stanovit výpočtové parametry a umožnit vytvoření realistického numerického modelu.

2.6 Tunel Nové spojení – Vítkovské tunely (2005–2006, průzkumná štola 2002)

Železniční tunely nového spojení mezi Hlavním nádražím a stanicemi Libeň, Vysočany a Holešovice jsou tvořeny dvěma dvoukolejnými tunely délky 1250 m a 1150 m. Ražba probíhala v tektonicky ovlivněných vrstvách břidlic a křemenců bez větších problémů.

U západního portálu tunelů byla provedena 20 m hluboká šachta a z ní rozrážka, která měla zachytit předpokládaný styk odlišných geologických formací tzv. Pražského zlomu. Rozrážka umístěná do profilu kaloty budoucího jižního dvoukolejného tunelu byla cca 100 m dlouhá o velikosti příčného profilu 10 m². Realizace této průzkumné štoly byla provedena na žádost BÚ, Pražský zlom touto štolou zachycen nebyl.

2.7 Tunel Komořany SOKP 513 (2007–2009, průzkumná štola 2003–2004)

Tunel Komořany se skládá ze dvou jednosměrných tunelových trub, tunel tvoří část jihozápadního segmentu celého Silničního okruhu kolem Prahy (SOKP). Klesající tunelová trouba je dvoupruhová, stoupající trouba je třípruhová, délka ražené části tunelu je 1680 m. Geotechnické poměry pro ražbu byly příznivé, při ražbě byly zastíženy horniny ordovického souvrství, které jsou charakteristické flyšovým vývojem. Jedná se o nepravidelné střídání křemenců a břidlic. Výstavba tunelů byla zahájena v roce 2007 dovrchní ražbou nejdříve jižní třípruhové tunelové trouby z průzkumné štoly. Následně započala dovrchní ražba i severní dvoupruhové tunelové trouby.

to reducing the area of the total plan area of the permanent works but, at the same time, to more difficult tunnelling work. The mined tunnel tubes are 330 m each. The excavation passed through weathered to heavily weathered, tectonically fractured Proterozoic shales.

The exploratory gallery with the cross-sectional area of 15 m² was driven within the profile of the future central tunnel with the cross-sectional area of 71 m² (top heading 50 m² and invert about 21 m²), throughout the tunnel length (see Fig. 2). A concrete pillar fulfilling the role of a support for the primary lining during the excavation of the tunnel tubes themselves, was cast in the central tunnel.

The gallery lining was being removed during the course of the advancing central tunnel excavation. The exploratory gallery position within the central tunnel cross-section favourably affected the excavation of the central tunnel, acting as an anchor increasing the stability of the central tunnel excavation face.

2.4 The Panenská tunnel (2003 – 2005, exploratory gallery 2001 – 2002)

The Panenská tunnel is part of the D8 motorway leading from Prague around Lovosice and Ústí nad Labem to the border with the FRG. The tunnel comprises two double-lane tunnel tubes interconnected by cross passages. The mined section is about 2.0 km long. The tunnel was driven in an environment formed by a faulted gneiss crystalline complex with pervasive granitic porphyry vein bodies.

The construction of the Panenská tunnels construction was preceded by a detailed geological survey, inclusive of the excavation of two exploratory galleries, carried out from both the northern and southern portals of the future tunnel. The excavation of the exploratory galleries started in September 2001 and finished in October 2002. The excavated cross-sectional areas of the galleries were 23.5 m²; the aggregate length of the galleries was 300 m (150 m from each side). The excavation of the galleries and the tunnel proceeded without more significant problems.

2.5 The Březno tunnel (2002 – 2007, exploratory gallery 1996)

The Březno single-track railway tunnel is found on the track section between Březno u Chomutova and Chomutov. The total length of the mined tunnel and the total length of the tunnel are 1,478 m and 1,758 m, respectively. The tunnel with the overburden height up to 30 m was driven in complicated geological conditions, consisting mainly of highly plastic clays and mudstone. Polished surfaces of numerous discontinuities caused low stability of unsupported excavation. Another important factor was the effect of previous mining activities on the rock mass in the portal areas. The cover (gravel-sand) reached down to the depth of about 6 m. The tunnel construction started in 2002, using the Mechanical Pre-cutting Method (MPM). In 2003, after completing 860 m of the drive using the MPM, the tunnel collapsed. The remaining part of the tunnel was driven by a sequential method (an analogy to the NATM). Two collapses propagating themselves up to the surface happened on this section. An escape shaft was sunk in the location of the buried Perforex machine. The tunnel was commissioned in 2007.

During the project planning stage, in 1996, an “exploratory gallery” was driven off the alignment of the future tunnel, in the eastern part of the overburden slope of the Libouš opencast mine. The objective of this gallery was first of all to verify



Obr. 3 Průzkumná štola tunelu Komořany
Fig. 3 Exploratory gallery for the Komořany tunnel

Koncem roku 2007 započala úpadní ražba obou tunelových trub ze stavební jámy Cholupice, takže se razila současně ražba na 4 čelbách. Tunel byl uveden do provozu v roce 2010.

U dané stavby bylo rozhodnuto provést průzkumnou štolu v celé délce, protože nejobtížnější geotechnické poměry byly očekávány ve střední části, kde měla být také umístěna větrací šachta. Tvar štoly a její umístění v profilu tunelu se v průběhu přípravy upravovaly. Realizovala se štola o velikosti cca 25 m² soudkového tvaru, umístěná do osy kaloty třípruhového tunelu s nadvýšeným stropem, který zůstal jako „ztracený“ při ražbě plného profilu (obr. 3). Portály štoly byly posunuty až do míst hloubených portálů tunelu z důvodu plochy zařízení staveniště limitované výkupem pozemků, přístupem na ně a zpožděním přeložky frekventované komunikace Komořanská. Štola byla delší než ražený tunel v Cholupicích o 56 m a v Komořanech o 175 m. Součástí štoly byly také rozšířené úseky tvaru plného profilu kaloty o délkách přibližně 30 m.

2.8 Tunel Slivenec SOKP 514 (2006–2008, průzkumná štola 2004)

Tunel Slivenec se skládá ze dvou jednosměrných tunelových trub. Tunel je součástí Silničního okruhu kolem Prahy (SOKP). Levá (jižní) klesající tunelová trouba ražená délky 1290 m je dvoupruhá. Pravá (severní) stoupající tunelová trouba ražená délky 1240 m je třípruhová, sklon tunelu je cca 4 %. Obě tunelové trouby jsou propojeny sedmi propojkami ve vzdálenostech 200 m. Tunel byl ražen v ordovických a silurských horninách, které byly tektonicky porušeny a prostoupené zlomovými a vrásovými poruchami. V úvodní části úpadní ražby tunelu od portálu Lochkov byly zastíženy především vápnité břidlice, doplněné četnými vložkami vápenců, a posléze i bazaltové tufy. Druhá polovina ražeb probíhala střídavě v břidlicích, pískovcích, případně tufech. Tunel byl uveden do provozu v roce 2010.

Štola o profilu 25 m² soudkového tvaru byla navržena jako stropní v pravém stoupajícím třípruhovém tunelu na celou délku tunelu (obr. 4). Výška štoly odpovídala výšce budoucí kaloty a byla nadvýšena podobně jako u štoly SOKP 513. Ve štole bylo realizováno sedm zvětšených geotechnických profilů na celou šířku kaloty v délkách 12 až 42 m s plochou výrubu cca 66 m², které byly využívány po dobu ražby i jako výhybny. Ražba štoly byla realizována v roce 2004.

properties of the rock mass and short-term and long-term deformational properties of the mass, to determine calculation parameters and make the development of a realistic numerical model possible.

2.6 New Connection tunnels – the Vítkov tunnels (2005 – 2006, exploratory gallery 2002)

The rail tunnels providing a new link between Hlavní Nádraží, the main Prague station, and stations in Prague districts of Libeň, Vysočany and Holešovice. The project consists of two double-track tunnels 1,250 m and 1,150 m long, respectively. The excavation passed through tectonically affected shale and quartzite strata, without more significant problems.

A 20 m deep shaft was sunk at the western portal of the tunnels and an opening drift was driven from it. The drift was expected to encounter an anticipated interface between different geological formations of the Prague Fault. The opening drift driven along the top heading of the future southern double-track tunnel was about 100 m long, with the cross-sectional area of 10 m². This exploratory gallery was driven at the request of the Bureau of Mines; the Prague Fault was not encountered by the gallery.

2.7 The Komořany tunnel, constr. lot 513 of the Prague City Ring Road (2007 – 2009, exploratory gallery 2003 – 2004)

The Komořany tunnel consists of two unidirectional tubes; it is part of the south-western segment of the Prague City Ring Road project. The descending tunnel tube has two traffic lanes, while the ascending tube contains three lanes. The mined part of the tunnel is 1,680 m long. Geotechnical conditions were favourable for the tunnel excavation. Ordovician strata were encountered during the excavation, which are typified by the flysch background, i.e. the alternation of quartzite and shale. The tunnel construction started in 2007, driving the tubes uphill, first the southern triple-lane tunnel tube from the exploratory gallery. The uphill excavation of the northern, double-lane tube followed. At the end of 2007 the downhill excavation of both tunnels commenced from the Cholupice construction trench, which means that 4 headings were operating simultaneously. The tunnel was opened to traffic in 2010.

A decision regarding the particular construction was made that an exploratory gallery would be driven throughout the tunnel length because the most difficult geotechnical conditions were expected to be encountered in the central section, where a ventilation shaft was to be sunk. The geometry of the gallery cross-section and its position within the tunnel cross-section were adjusted during the planning phase. The gallery which was constructed was 25 m² in the barrel-shaped cross-section; it was driven along the top heading centre line of the future triple-lane tunnel top heading. The top of the gallery was higher than the top of the tunnel. The lining of the crown remained as a sacrificial structure when the full tunnel profile was being excavated (see Fig. 3). The gallery portals were shifted to the positions of portals of cut-and-cover tunnels because of the area required for the site facility, which was limited by the acquisition of land plots, access to them and a delay in the construction of a diversion of the busy Komořanská road. The gallery was longer than the mined tunnel by 56 m and 175 m in Cholupice and Komořany, respectively. Part of the gallery were approximately 30 m long sections where the profile was expanded to copy contour of the full tunnel top heading.

2.9 Královopolský tunel (2006–2010, průzkumné štoly 2002–2003)

Stavbu tvoří dva paralelní dvoupruhové tunely ražených délek cca 1050 m, které jsou součástí brněnského velkého městského okruhu (VMO). Ražba probíhala v tuhých až pevných plastických neogenních jílech pomocí mnohonásobného členění.

Součástí průzkumu bylo vyražení tří průzkumných štol přibližně trojúhelníkového příčného profilu v prostoru tunelových trub na bocích kaloty (obr. 5), které byly využity při následné výstavbě tunelového díla. Ražba štol probíhala z východního portálu a celková délka průzkumných štol činila přes 2 km (IIA 831 m, IIB 831 m a IB 365 m). Skutečné deformační chování (dlouhodobé, větší než očekávané deformace) průzkumných štol během realizace a především po ní bylo zohledněno v návrhu ražeb plných profilů.

2.10 Tunel Prackovice (2008–2009, průzkumná štola 2004–2005)

Tunel Prackovice je součástí dálnice D 8 v úseku průchodu Českým středohořím mezi Lovosicemi a Řehlovicemi. Tunel má dvě jednosměrné dvoupruhové tunelové trouby a jednu tunelovou propojku. Délka ražené části je cca 150 m, celková délka tunelu je 270 m.

Vlastní výstavbě tunelu Prackovice předcházela podrobný geologický průzkum včetně ražby průzkumné štoly ze šachty provedené v blízkosti severního (pražského) portálu. Ražba průzkumné štoly byla zahájena v prosinci 2004 a dokončena v červnu 2005. Plocha výrubu štoly byla 23,5 m², umístění v profilu budoucí kaloty levé (západní) tunelové trouby (obr. 6) a celková délka štoly byla 170 m. Ražba štoly a tunelu proběhla bez problémů, vyšší deformace jižního (pražského) portálu byly řešeny dodatečnými stabilizačními opatřeními.

2.11 Tunel Královská obora – Špelc (2007–2010, průzkumná štola 2002–2005)

Tunel Královská obora, který je součástí SZ části městského okruhu v Praze mezi Trojou a Letnou, je tvořen dvěma jednosměrnými 2–3pruhovými tunelovými troubami o délkách cca 2230 m.

Průzkumná štola o celkové délce 1950 m je ve své převážné délce vedena v profilu budoucí jižní tunelové trouby (JTT) a umístěna excentricky do vrcholu kaloty budoucího tunelu (obr. 7). Štola s profilem 10,5 m² byla realizována s kolejovou dopravou s výhybnami po 150 m. V úseku s nejnižším nadložím na úpatí svahu z Letné (oblast bývalé Šlechtovy restaurace) a také pod Vltavou byla průzkumná štola ražena i v profilu



Obr. 5 Průzkumná štola Královopolského tunelu
Fig. 5 Exploration gallery for the Královo Pole tunnel



Obr. 4 Průzkumná štola tunelu Slivenec
Fig. 4 Exploratory gallery for the Slivenec tunnel

2.8 The Slivenec tunnel, constr. lot 514 of the Prague City Ring Road (2006 – 2008, exploratory gallery 2004)

The Slivenec tunnel consists of two unidirectional tunnel tubes. The tunnel is part of the Prague City Ring Road project (PCRR). The 1,290 m long mined section of the left-hand (northern) ascending tunnel tube has two traffic lanes. The 1,240 m long right-hand (northern) ascending tunnel tube has three lanes. The longitudinal gradient is about 4 %. The tunnel tubes are interconnected by seven cross passages driven at 200 m spacing. The tunnel was driven through Ordovician and Silurian rocks, which are frequently tectonically broken and interspersed by faults and folds. In the initial section of the downhill excavation of the tunnel from the Lochkov portal, first of all cretaceous shales supplemented by numerous limestone interbeds, and later even basalt tuffs were encountered. The second half of the drives passed alternately through shales, sandstone or tuffs. The tunnel was inaugurated in 2010.

The gallery with the barrel-shaped cross-section of 25 m² was designed as a crown drift following the future right-hand ascending triple-lane tunnel throughout its length (see Fig. 4). The gallery height corresponded to the height of the future tunnel top heading, exceeding the top heading roof level similarly to the gallery for the PCRR 513. Seven 12 to 42 m long geotechnical sections with cross-sections expanded to the full width of the tunnel top heading (excavated cross-sectional areas of about 66 m²) were carried out in the gallery. Among other purposes they were used during the course of the excavation as passing bays. The gallery was driven in 2004.

2.9 The Královo Pole tunnel (2006 – 2010, exploratory galleries 2002 – 2003)

The construction comprises two parallel double-lane tunnels with the lengths of mined sections of about 1,050 m. The tunnels are parts of the Large City Circle Road (LCCR) in Brno. The excavation was carried out through firm to stiff plastic Neogene clays, using an excavation sequence divided into multiple headings.

The excavation of three exploratory galleries was part of the exploration. The galleries with roughly triangular cross-sections



Obr. 6 Průzkumná štola tunelu Prackovice
Fig. 6 Exploration gallery for the Prackovice tunnel

budoucí severní tunelové trouby (STT). V úseku s nízkým nadloží pod parkem Stromovka byla z průzkumné štoly dělána rozsáhlá sanační opatření pro zlepšení podmínek budoucích ražeb.

Během ražeb plných profilů došlo v oblasti Stromovky ke dvěma haváriím, které zdržely ražby a ovlivnily jejich další provádění.

2.12 Tunel Jablůnkov (2007 – nedokončen)

Výstavba nového tunelu Jablůnkov na železniční trati mezi Třincem a Čadcou (SK) spočívá v rozšíření stávajícího jednokolejného tunelu na tunel dvoukolejný v délce 565 m raženého (rozšiřovaného) úseku. Rozšíření bylo prováděno asymetricky s ponecháním původní pravé opěry tunelu.

Průzkumná štola se před ražbou tunelu neprováděla, ale současný tunel umožňoval zjištění geotechnických poměrů v ose díla (podrobnější podklady z ražby původního tunelu nebyly k dispozici).

Ražba kaloty byla provázena dvěma haváriemi, při ražbě opěrů a spodní klenby došlo k zavalení tunelu v délce cca 100 m.

3 TYPY PRŮZKUMNÝCH ŠTOL

Za průzkumné štoly označujeme tunelová liniová podzemní díla, která jsou zpravidla umístěna v profilu budoucího tunelu. Průzkumné štoly jsou součástí geotechnického průzkumu. Velikost těchto liniových podzemních staveb není omezena a název „štola“ je užíván i u profilů větších, než je obvyklá formální hranice 16 m².



Obr. 7 Průzkumná štola tunelu Královská obora
Fig. 7 Exploratory gallery for the Královská Obora tunnel

were driven on the sides of the future tunnel top heading (see Fig. 5). They were used during the subsequent construction of the tunnels. The galleries were driven from the eastern portal. The total length of the exploratory galleries exceeded 2 km (IIA 831 m, IIB 831 m and IB 365 m). The actual deformational behaviour (long term deformations larger than expected deformations) of the exploratory galleries during the construction and, first of all, after the construction, was allowed for in the design for the excavation of full profiles.

2.10 The Prackovice tunnel (2008 – 2009, exploration gallery 2004 – 2005)

The Prackovice tunnel is part of the D8 motorway in the section passing across the České Středoohoří highland between Lovosice and Řehlovice. The tunnel consists of two unidirectional tubes and one cross passage. The length of the mined part is 150 m, the total tunnel length is 270 m.

The Prackovice construction itself was preceded by a detailed geological survey, including the excavation of an exploratory gallery from a shaft sunk in the vicinity of the northern (Prague) portal. The excavation of the exploratory gallery commenced in December 2004 and was finished in June 2005. The cross-sectional area of the gallery was 23.5 m². The gallery alignment followed the future top heading of the left-hand (western) tunnel tube (see Fig. 6). The total length of the gallery was 170 m. Both the gallery and the tunnel were driven without problems; larger deformations of the southern (Prague) portal were solved by additional stabilisation measures.

2.11 The Královská Obora – Špelc tunnel (2007 – 2010, exploratory gallery 2003 – 2005)

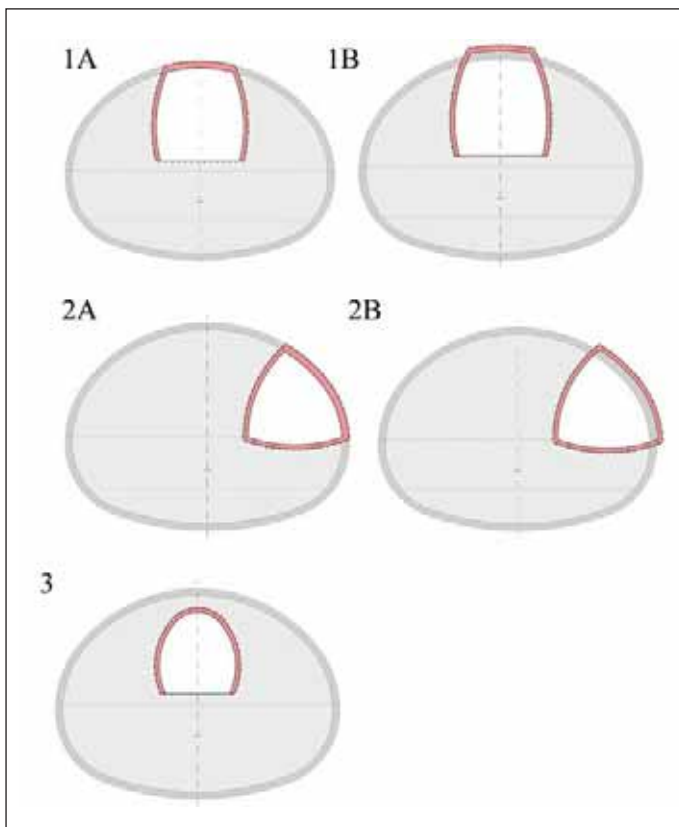
The Královská Obora tunnel, which is part of the NW segment of the City Circle Road (the inner ring) in Prague between Stromovka Park and Letná, consists of two unidirectional double- and triple-lane tunnel tubes with the lengths of about 2,230 m.

The exploratory gallery with the total length of 1,950 m runs along the prevailing proportion of its length within the profile of the future southern tunnel tube (STT); it is positioned eccentrically at the crown of the top heading of the future tunnel (see Fig. 7). The gallery with the cross-sectional area of 10.5 m² was constructed using rail-bound transport and passing bays provided at intervals of 150 m. In the section with the shallowest cover at the bottom of the slope from Letná, the exploratory gallery was even driven within the profile of the future northern tunnel tube (NTT). In the section with the shallow cover under Stromovka Park, extensive stabilisation measures designed to improve conditions for the future tunnelling were implemented from the exploratory gallery.

Two collapses happened in the area of Stromovka during the course of the excavation of the full profiles. They delayed the excavation and influenced the subsequent excavation procedure.

2.12 The Jablůnkov tunnel (2007 – not completed)

The construction of the new Jablůnkov tunnel on the rail track section between Třinec and Čadca (the SR) lies in enlarging the width of the existing single-track tunnel, converting it into a double-track tunnel with the length of the mined (expanded) section of 565 m. The expansion was carried out asymmetrically, leaving the original right-hand sidewall of the tunnel in place.



Obr. 8 Umístění a tvary průzkumných štol a jejich příklady (1 – SOKP 513, SOKP 514, 2 – Královopolský Brno, 3 – Mrázovka, Královská obora, Prackovice)

Fig. 8 Positions and geometries of exploratory galleries and their examples (1 – PCRR 513, PCRR 514; 2 – Královo Pole tunnel, Brno; 3 – Mrázovka, Královská Obora, Prackovice tunnels)

Z hlediska umístění byly v uváděných případech průzkumné štoly nejčastěji realizovány v následujících polohách a tvarech (obr. 8):

- 1 – Štola soudkovitého tvaru v ose kaloty – s nenadvýšeným (1A) či nadvýšeným (1B) stropem.
- 2 – Štola trojúhelníkového tvaru v oblasti opěrového (bočního) tunelu – s nenadvýšeným (2A) či nadvýšeným (2B) stropem.
- 3 – Štola podkovovitého tvaru v oblasti kaloty (s nadvýšeným či nenadvýšeným stropem).
- 4 – Štola umístěná mimo profil tunelu (paralelní s tunelem) využitelná při provozu tunelu pro účely úniku osob, větrání či odvodnění.
- 5 – Štola umístěná mimo profil tunelu (neparalelní s tunelem) sloužící během ražeb jako přístupová štola.

4 PŘÍNOS PRŮZKUMNÝCH ŠTOL PRO SNÍŽENÍ GEOTECHNICKÉHO RIZIKA

Z přehledu (tab. 1) vyplývá, že u všech tunelů v ČR s ražbami delšími než 1 km byla provedena průzkumná štola. Průzkumné štoly jsou považovány za nejpodrobnější způsob geotechnického průzkumu před zahájením ražby tunelu. Zajímavá je skutečnost, že skoro u všech větších závalů dopravních tunelů v ČR byla před zahájením ražby realizována průzkumná štola, v případě tunelu Jablůnkov byl k dispozici stávající tunel, pouze v případě tunelu Brusnice (Blanka – MyPra) nebylo provedeno žádné podzemní průzkumné dílo. Z této skutečnosti je zřejmé, že samotné provedení průzkumné štoly, často i s provedenou sanací horninového masivu, ještě nezaručuje úplnou bezpečnost ražeb.

Aby byla realizace průzkumné štoly přínosná z hlediska geotechnické bezpečnosti a zároveň ceny projektu, musí splnit následující požadavky:

No exploration gallery was driven prior to the tunnel excavation because the existing tunnel allowed the designer to identify geotechnical conditions on the tunnel centre line (more detailed technical background from the construction of the original tunnel was not available).

The excavation of the top heading was affected by two incidents. The tunnel collapsed during the bench and invert excavation at the length of about 100 m.

3 EXPLORATION GALLERY TYPES

Exploratory galleries are linear underground tunnel workings which are usually driven following the profile of the future tunnel. Exploratory galleries are parts of geotechnical investigation. Sizes of these linear underground structures is not limited; the term “gallery” is used even for profiles larger than the usual formal limit of 16 m².

From the aspect of their position, the exploratory galleries mentioned in this paper were most frequently driven in the following positions within the future tunnel cross-section, with the following geometries (see Fig. 8):

- 1 – A barrel-shape gallery following the top heading centre line – with its roof at the same level as the tunnel roof (1A) or higher than the tunnel roof (1B).
- 2 – A triangular cross-section gallery driven in the area of the sidewall drift – with its roof at the same level as the tunnel roof (2A) or higher than the tunnel roof (2B).
- 3 – A horseshoe shaped cross-section gallery driven within the area of the top heading – with its roof at the same level as the tunnel roof or higher than the tunnel roof.
- 4 – A gallery driven outside the tunnel profile (in parallel with the tunnel), which can be used during the tunnel operation for escape, ventilation or drainage purposes.
- 5 – A gallery running outside the tunnel cross-section (non-parallel with the tunnel), which is used during the tunnel excavation as an access gallery.

4 CONTRIBUTION OF EXPLORATORY GALLERIES TO REDUCING GEOTECHNICAL RISKS

It follows from the summary (see Table 1) that an exploratory gallery was carried out for all tunnels in the CR where the mined sections were longer than 1 km. Exploratory galleries are considered to be the most detailed way of geotechnical investigation available before starting the tunnel excavation. It is an interesting fact that an exploratory gallery was driven before commencing the tunnel excavation nearly in all cases of bigger collapses of transport tunnels in the CR; in the case of the Jablůnkov tunnel there was the existing tunnel available. The only case where no underground exploratory working was carried out was the Brusnice tunnel (Blanka – MyPra). This fact suggests that the excavation of an exploratory gallery itself, often combined with the stabilisation of the rock mass, does never guarantee complete safety of the excavation.

For the implementation of an exploratory gallery to be beneficial in terms of geotechnical safety and, at the same time, the construction cost, it must meet the following requirements:

- The level of geotechnical information necessary for a quality design and execution of the works must be improved (geotechnical parameters, deformational behaviour and rock mass stability, water inflows etc.).
- The above information must be made provisions for in the geotechnical design so that the work effectiveness is increased and all risks are diminished.
- A structure reinforcing the rock mass and increasing the stability of the excavation face, possibly even supporting a part of the top heading, must be created.

Tab. 1 Přehled silničních a železničních tunelů realizovaných v letech 1990–2010 v České republice
Table 1 Summary of road tunnels and rail tunnels constructed from 1990 to 2010 in the Czech Republic

Silniční tunely Road tunnels	Zahájení ražby Excavation commencement	Dokončení ražby Excavation completion	Délka ražeb (m) Excavation length (m)	Průzkumná štola Exploratory gallery	Havárie při ražbě Excavation incidents
Hřebeč	1995	1996	275	ano / yes	ano / yes
Pisárecký	1995	1997	600	ne / no	ne / no
Mrázovka	1999	2002	2 200	ano / yes	ne / no
Valík	2004	2005	660	ano / yes	ne / no
Panenská	2003	2005	4 000	ano / yes	ne / no
Libouchec	2005	2006	900	ne / no	ne / no
Klimkovice	2004	2006	1 740	ne / no	ne / no
SOKP 514	2006	2008	2 550	ano / yes	ne / no
SOKP 513	2006	2008	3 350	ano / yes	ne / no
Prackovice	2008	2009	300	ano / yes	ne / no
Královopolské	2006	2010	2 100	ano / yes	ne / no
Radejčín	2009	2010	1 150	ne / no	ne / no
Královská obora (Blanka, Špelc)	2007	2010	4 400	ano / yes	ano / yes
Brusnice (Blanka, Mypra)	2009	2011	1 100	ne / no	ano / yes

Železniční tunely Railway tunnels	Zahájení ražby Excavation commencement	Dokončení ražby Excavation completion	Délka ražeb (m) Excavation length (m)	Průzkumná štola Exploratory gallery	Havárie při ražbě Excavation incidents
Březno	2002	2006	1500	mimo tunel / outside tunnel	ano / yes
Vepřek	2003	2003	275	ne / no	ne / no
Krasíkov	2003	2003	1035	ne / no	ne / no
Tatenice	2003	2003	85	ne / no	ne / no
Malá Huba	2003	2004	300	ne / no	ne / no
Hněvkovský I	2004	2005	130	ne / no	ne / no
Hněvkovský II	2004	2005	430	ne / no	ne / no
Nové spojení	2005	2006	2400	ano / yes	ne / no
Zahradnický	2009	2010	1030	ne / no	ne / no
Olbramovický	2009	2010	480	ne / no	ne / no
Jablůnkov (rozšíření / expansion)	2009		610	stávající tunel existing tunnel	ano / yes
Tomický I.	2009	2010	325	ne / no	ne / no
Tomický II.	2010	2011	255	ne / no	ne / no

– podstatně zvýšit úroveň geotechnických informací potřebných pro kvalitní návrh a provádění (geotechnické parametry, deformační chování a stabilita horninového masivu, přítoky vody, atd.),
– tyto informace zohlednit v geotechnickém návrhu tak, aby zvýšily efektivitu provádění a zároveň snížily veškerá rizika,
– vytvořit konstrukci, která zpevňuje horninový masiv, zvyšuje stabilitu čelby, případně zajišťuje část přístropí,
– nezhoršit podmínky ražby v okolí štoly rozvolněním, deformacemi nebo vyplavováním jemnozrnných materiálů.
Správná realizace konvenčně ražených tunelů pomocí NRTM umožňuje flexibilní úpravy způsobu ražby, zajištění výrubu a provádění předstihových a sanačních opatření. Předpokladem

– Excavation conditions in the gallery surroundings must not be worsened as the result of loosening, deformations or suffusion.

Correct construction of conventionally driven tunnels using the NATM makes flexible adjustment of the excavation process, excavation support and execution of stabilisation measures in advance of the excavation possible. A prerequisite for the success is that organisational, demarcation of authority related and contractual conditions exist which permit it.

The question remains whether driving of exploratory galleries for tunnels excavated by the NATM in the CR is necessary from the general geotechnical viewpoint and whether it is beneficial.

je ovšem vytvoření organizačních, kompetenčních a smluvních podmínek, které to umožní.

Otázkou tedy zůstává, jestli je realizace průzkumných štol pro tunely ražené NRTM v ČR z geotechnického hlediska vůbec nutná a zdali je prospěšná.

5 PŘÍNOS PRŮZKUMNÝCH ŠTOL PRO PŘÍPRAVU A REALIZACI BUDOUCÍHO TUNELOVÉHO DÍLA

Příprava a realizace průzkumných štol může mít také jiné než geotechnické důvody, které mohou přinést řadu výhod:

- možnost faktického předstihového zahájení projektu realizací průzkumné štoly na základě báňských a ne stavebních předpisů,
- fixování trasy, styk s veřejností, společenská přijatelnost,
- snazší projednávání a průběh nutných správních procesů,
- předstihové vytvoření podmínek pro budoucí stavbu (zařízení staveniště, komunikace, doprava, energie, média),
- technologické výhody při ražbě (doprava v tunelu, větrání, přístup),
- bezpečnost ražeb (zvýšení stability čelby a přístropí, odvodnění, možnost zpevnění horninového masivu).

Jako hlavní nevýhody lze uvést následující aspekty:

- časová náročnost,
- zvýšení nákladů stavby (pokud výstavba štoly není kompenzována jejím přínosem).

Přínos (negeotechnický) realizované průzkumné štoly pro tunelový projekt a jeho přípravu může být z výše uvedených důvodů velmi významný.

6 ZÁVĚR

Realizace průzkumných štol u větších tunelových projektů v České republice se stala pravidlem. Pro plné využití všech výhod, které průzkumné štoly mohou přinést, je třeba jejich správné zařazení do procesu přípravy, a to především časově, aby získané geotechnické informace mohly být zpracovány a použity pro návrh a zadání projektu.

Zvýšená investiční náročnost při realizaci průzkumné štoly může být kompenzována výhodami, které se ale dají jen obtížně ekonomicky kvantifikovat. Rozhodnutí o realizaci průzkumné štoly na budoucích tunelových projektech v České republice by mělo být založeno na důkladném individuálním posouzení konkrétního projektu.

Tento příspěvek byl zpracován s podporou grantu TAČR TA01011816.

**ING. MARTIN SRB, srb@d2-consult.cz,
D2 Consult Prague, s. r. o.,**

**DOC. ING. MATOUŠ HILAR, Ph.D., hilar@d2-consult.cz,
D2 Consult Prague, s. r. o., a FSv ČVUT**

Recenzoval: doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.

5 CONTRIBUTION OF EXPLORATORY GALLERIES TO PLANNING AND CARRYING OUT FUTURE TUNNEL WORKINGS

Planning and execution of exploratory galleries may even have other reasons than geotechnical ones, which may bring about many benefits, such as:

- a possibility of starting the work on the project in advance by driving the exploratory gallery on the basis of mining regulations instead of building regulations
- fixing of the route, public relations, social acceptability
- easier negotiations and course of the administrative processes necessary
- creating conditions for the future construction in advance (site facilities, communications, transport, energies, media)
- technological benefits during the tunnel excavation (transport in the tunnel, ventilation, access)
- excavation safety (increased stability of excavation face and top heading, drainage, possibility of reinforcing the ground mass)

The following aspect can be presented as the main disadvantages:

- demands for time
- increased construction cost (unless the gallery construction is compensated for by its benefits)

For the above-mentioned reasons, the (non-geotechnical) benefit of a completed exploration gallery for a tunnelling project and its preparation can be very significant.

6 CONCLUSION

Driving exploratory galleries for larger tunnel construction projects in the Czech Republic has become a rule. To the full use of the advantages the exploratory galleries can provide it is necessary to incorporate them properly into the planning process, first of all in terms of time, so that the geotechnical information gained by the galleries can be processed and applied to the design and tender documents.

The increased investment demands during the course of an exploratory gallery can be compensated for by advantages, even though these advantages are hard to economically quantify. A decision on the construction of an exploratory gallery for future tunnel construction projects in the Czech Republic should be based on a thorough individual assessment of the particular project.

This paper was prepared with the support of the TAČR grant TA01011816.

**ING. MARTIN SRB, srb@d2-consult.cz,
D2 Consult Prague, s. r. o.,**

**DOC. ING. MATOUŠ HILAR, Ph.D., hilar@d2-consult.cz,
D2 Consult Prague, s. r. o., a FSv ČVUT**

LITERATURA / REFERENCES

Autorský kolektiv *Podzemní stavitelství v České republice*. Satra, 2007.

Autorský kolektiv *Tunel Mrázovka*. Satra, 2004.

Klepsatel, F., Kusý, P., Frankovský, M. *Prieskumné štolne pre výstavbu dopravných tunelov, áno–či nie?* Konferencie Geotechnické problémy liniových staveb. STU Bratislava, 1996.

Srb, M. SOKP 514, Tunel Lochkov – Nový model zadávacích podmínek pro výstavbu tunelů a zkušenosti z provádění průzkumné štoly pro ražby plných profilů, *Tunel* 2/2008.

Srb, M. *Průzkumné štoly a havárie tunelů*. Tunelářské odpoledne CzTA 3/2010, Ostrava.

Foto: M. Srb, P. Svoboda, časopis Tunel / Photo: M. Srb, P. Svoboda, Tunel journal