

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM PRO TUNELY RADLICE V PRAZE FORMOU PRŮZKUMNÉ ŠTOLY

A PILOT GALLERY AS AN ENGINEERING GEOLOGICAL STUDY FOR RADLICE TUNNELS IN PRAGUE

Václav Dohnálek¹
Radovan Chmelář²
David Harant³

ABSTRAKT

Radlická radiála bude v budoucnosti propojovat nejdůležitější dopravní tepny města, vnější silniční a vnitřní městský okruh. Území, kterým má Radlická radiála od západu na východ projít, vytváří pro trasu specifické terénní i urbanistické podmínky. Proto více jak polovina z 5,5 km dlouhé trasy bude vedena tunely. Nejdelšími z nich jsou ražené tunely Radlice o délce 2220 m. Ty budou tvořeny severním a jižním tunelovým tubusem a dvěma vjezdovými a výjezdovými rampami. Raženy budou od východu převážně ve zdravých devonských a silurských horninách s polohami vápenců a nakonec v ordovických horninách. Velkým rizikem pro ražbu je výskyt až 100 m hlubokých krasových jevů. Ty způsobily mimořádnou událost při budování jiného podzemního díla, které se s tunelem mimoúrovňově kříží.

V současné době se provádí podrobný inženýrsko-geologický průzkum pro celou trasu Radlické radiály. Jeho součástí je i průzkumná štola dlouhá 850 m vedená v budoucí trase severní tunelové trouby Tunelů Radlice. Důležitou úlohou průzkumné štoly je mimo jiné lokalizace míst s možným výskytem krasových jevů. Získávaná data a informace z průzkumu budou sloužit jako podklad pro podrobnou projektovou dokumentaci tunelů Radlice.

ABSTRACT

In future, the Radlická radial will connect the two most vital of Prague's transport lines, the inner ring and city bypass. The area, which is being crossed from west to east, creates specific field and urban conditions. Therefore, most of the 5.5 km long route, will run through tunnels. Longest of these are bored tunnels. These consist of the southern and northern tunnel tubes and two in-out ramps. The tunneling from the east will go through generally healthy Devonian and Silurian rocks with occurrences of limestone, followed by Ordovician rocks. Up to 100 m deep karsts pose a significant threat for the work, since there has already been an accident during excavation of a different underground construction, which crosses the planned tunnel in different height.

A detailed geotechnical survey is being held in these days. A 850 m long pilot gallery represents a part of the survey and is located in the area of the future northern tunnel. The gallery's significant task, is to locate places with deep karst occurrences. The obtained data for the survey will be used for the detailed planning of Radlice tunnel.

¹Ing. Václav Dohnálek, Subterra a.s – Divize 1, Koželužská 2246/5, 180 00 Praha 8-Libeň, e-mail: vdohnalek@subterra.cz, tel.: +420 724 991893

²RNDr. Radovan Chmelář, Ph.D., PUDIS, a. s., Nad vodovodem 3258/2, 108 00 Praha
radovan.chmelar@pudis.cz

³Ing. David Harant, Subterra a.s – Divize 1, Koželužská 2246/5, 180 00 Praha 8-Libeň, e-mail: dharant@subterra.cz, tel.: +420 724 991893

1 Úvod

Radlická radiála je součástí systému nadřazených komunikací (NKS) hlavního města Prahy (obr. 1). Jedná se o dopravní stavbu prioritního významu, nezbytnou součást zvolené dopravní koncepce radiálně – okružního systému, který je dlouhodobě, již cca 30 let, připravován a po etapách realizován.



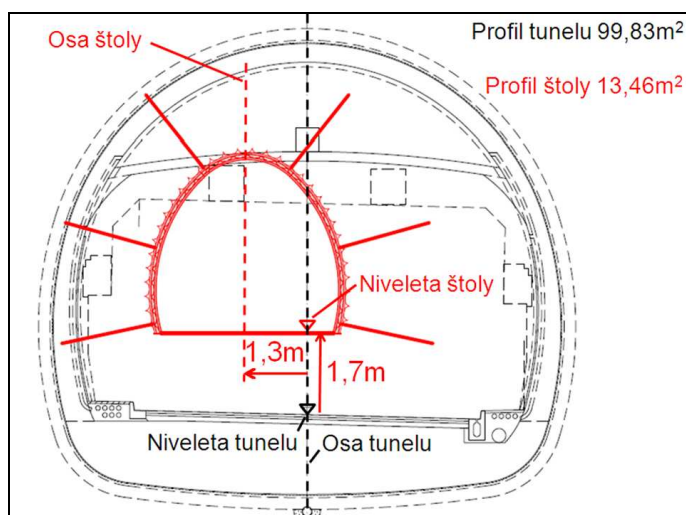
Obr. 1 Systém nadřazených komunikací hlavního města Prahy a situace Radlické radiály
Fig. 1 The system of main roads in the City of Prague and layout of the Radlice Radial Road

V rámci finální projektové přípravy stavby byly ve výběru dvě možné varianty budoucí stavby a to trasa městská, kdy by Radlická radiála měla vést co možná nejvíce ve stopě stávající ulice Radlická, nebo varianta segregovaná, tedy mimo obytnou zástavbu. Výslednou variantou je ta segregovaná vybraná na základě multikriteriálního hodnocení. Dále byla doporučena k dalšímu dopracování v rámci dokumentace vlivu stavby na životní prostředí (2009) a dokumentace pro územní rozhodnutí (2013). V současné době probíhají její úpravy na základě podnětů dotčených občanů a občanských sdružení. Předpoklad vydání územního rozhodnutí je cca 2016 - 2017.

Budoucí tunely Radlice budou tvořeny dvěma tunelovými tubusy a to severní (STT) a jižní (JTT) a vjezdy a výjezdy budou tvořeny dvěma rampami. Navrhovaná Celková délka ražených tunelových trub je 4 089 m a hloubených 616 m. Tunely budou řešeny konstrukčně nejen jako klenbové s rovným mezistropem pro odvodem zplodin nad komunikací. Z hlediska ochrany proti podzemní vodě půjde jak o tunely s uzavřenou tlakovou izolací, tak i s úseky tunelů s tzv. izolací deštníkovou.

Z pohledu šířkového uspořádání se jedná o tunely třípruhové a dvoupruhové, tedy s raženým profilem přesahujícím 120 m² při třípruhovém uspořádání. Raženy budou od východu dovrchně převážně ve zdravých devonských a silurských horninách s polohami vápenců a nakonec v ordovických horninách. Velkým rizikem pro ražbu je výskyt až 100 m hlubokých krasových jevů.

Z tohoto důvodu je v rámci inženýrsko-geologického průzkumu v současné době realizována průzkumná štola v předpokládané délce 850 m. Převažující plocha výrubu štoly je 13,46 m². Vede v profilu rampy G budoucího tunelu Radlice do oblasti za její křížení s kmenovým sběračem „P“, jenž štola výškově nadchází. O něm bude zmínka dále. Profil štoly je v převážné délce umístěn excentricky uvnitř kaloty budoucího profilu tunelu (obr. 2). Během následných ražeb tunelu Radlice bude celé ostění průzkumné štoly likvidováno.

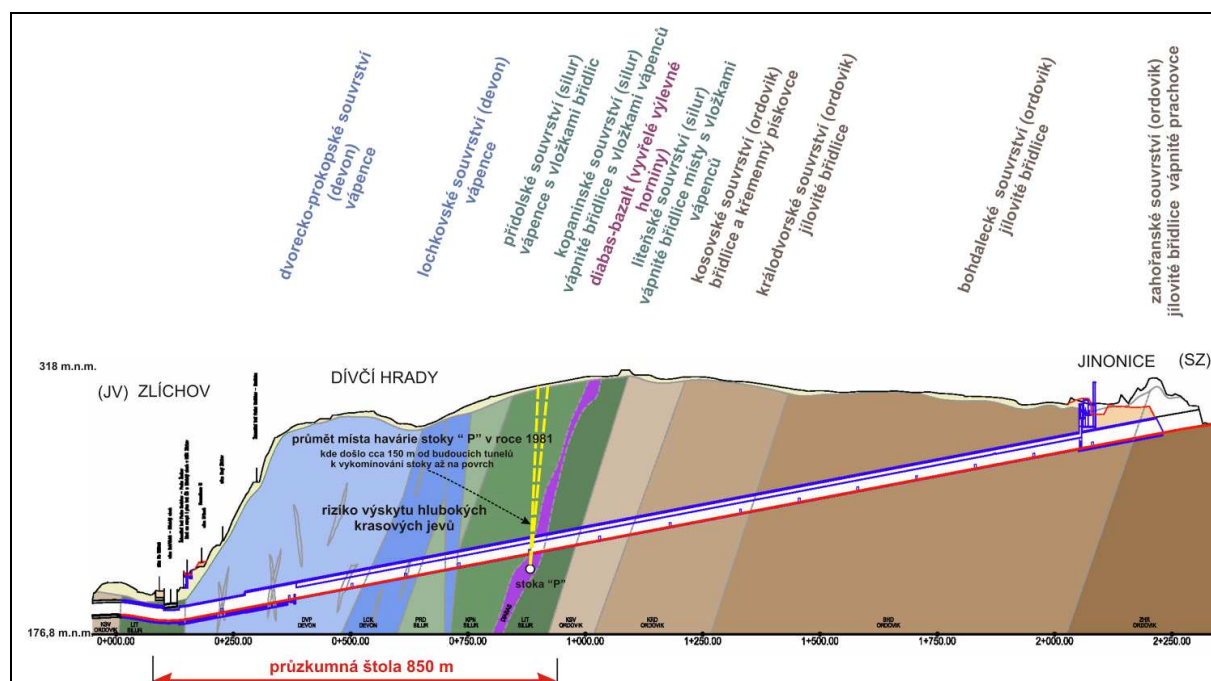


Obr. 2 Příčný řez budoucího tunelu s vyznačením polohy průzkumné štoly (červeně)
Fig. 2 Cross-section of the future tunnel within exploratory gallery (red color)

2 Předpokládané geologické a hydrogeologické poměry

Tunel Radlice je převážně umístěn do náhorní plošiny Dívčích hradů, která je omezena strmými údolími (např. známého Prokopského údolí) a především údolím Vltavy.

Předpokládaná geologická stavba okolí tunelu Radlice je z pohledu geologa „klasická“, neboť toto místo je také nalezištěm zkamenělin - působištěm otce české, ale i evropské paleontologie Joachima Barrande (1799–1883). Geologické poměry tunelu Radlice jsou dobře patrné z podélného geologického řezu (Obr. 3).



Obr. 3 Podélný geologický řez tunelu Radlice s vyznačením rozsahu průzkumné štoly
Fig. 3 Longitudinal section through the Radlice tunnel with the exploratory gallery

Horniny skalního podloží, ve kterých je tunel Radlice navržen, jsou horniny paleozoického stáří. Patří do regionálně geologického útvaru Barrandien. Jsou to od západu jednak horniny ordovické (bohdalecké, královské a kosovské souvrství), dále pak silurské (liteňské,

kopaninské a přídolské souvrství) a na východě horniny devonské (lochkovské a dvorecko-prokopské souvrství). V oblasti vyústění tunelů v oblasti Zlíchova, nejbližší k Vltavě, navazuje na devonské horniny ještě tektonická křa silurských hornin.

Jeden z mnoha argumentů pro výstavbu průzkumné štoly, byť v relativně známém prostředí pražského Barrandienu, byl možný výskyt krasových jevů značné velikosti. Toto riziko je známo díky ražby stoky „P“ v roce 1981, kdy bylo objeveno velmi výrazné a hluboké lokální před křídové zvětrání podél vertikálních krasových jevů ve skalním podloží (především na rozhraní devonských a silurských vápenců). Nafárání zmíněných hlubokých krasových jevů s výplní zvodněných nesoudržných zemin je reálným rizikem pro ražbu navržených tunelů Radlice. Příkladem takového rizika v těchto místech je havárie ražené stoky „P“ v úseku Hlubočepy – Radlice z roku 1981.

Kanalizační stoka „P“ jež je v úseku tunelů Radlice situovaná více než 100 m pod povrchem a kolmo mimoúrovňově protíná jejich budoucí trasu, ve staničení cca 800 m od šachty navržené průzkumné štoly. Mimořádná událost při ražbě kanalizační stoky „P“ (o výšce 3,5 m a šířce 3 m) se stala v roce 1981 a objevila v zájmové oblasti Dívčích hradů krasové porušení. Tyto krasové jevy, hluboké až 120 m a mocné až 30 m (ověřeno ve stoce „P“), byly vyplněné křídovými zvětralinami charakteru zvodnělých zemin (písky a jíly). Vlivem průvalu zmíněné zeminové výplně krasového útvaru došlo ke vzniku kaverny cca 800 – 1000 m³. Zával ve štole vytvořil plochý kužel, dlouhý 140 – 150 m (obr. 4 a 5). Těsně po průvalu byl odhadován dle čerpání podzemní vody přítok do štoly 50 – 60 l.s⁻¹. Tento přítok klesl za cca 10 dní na 13 l.s⁻¹. Přítok do štoly se nakonec ustálil cca 1 měsíc po úvodním závalu na 8 l.s⁻¹. Následně realizované průzkumné vrty z povrchu terénu v místě závalu sběrače „P“ v rámci doplňujícího IG průzkumu potvrdily existenci dalších velmi hlubokých krasových depresí v devonských vápencích na Dívčích hradech.



Obr. 4 a 5 Zával ve štole stoky „P“ a jeho detail
Fig. 4 and 5 Collapse of the sewer „P“ and the detail

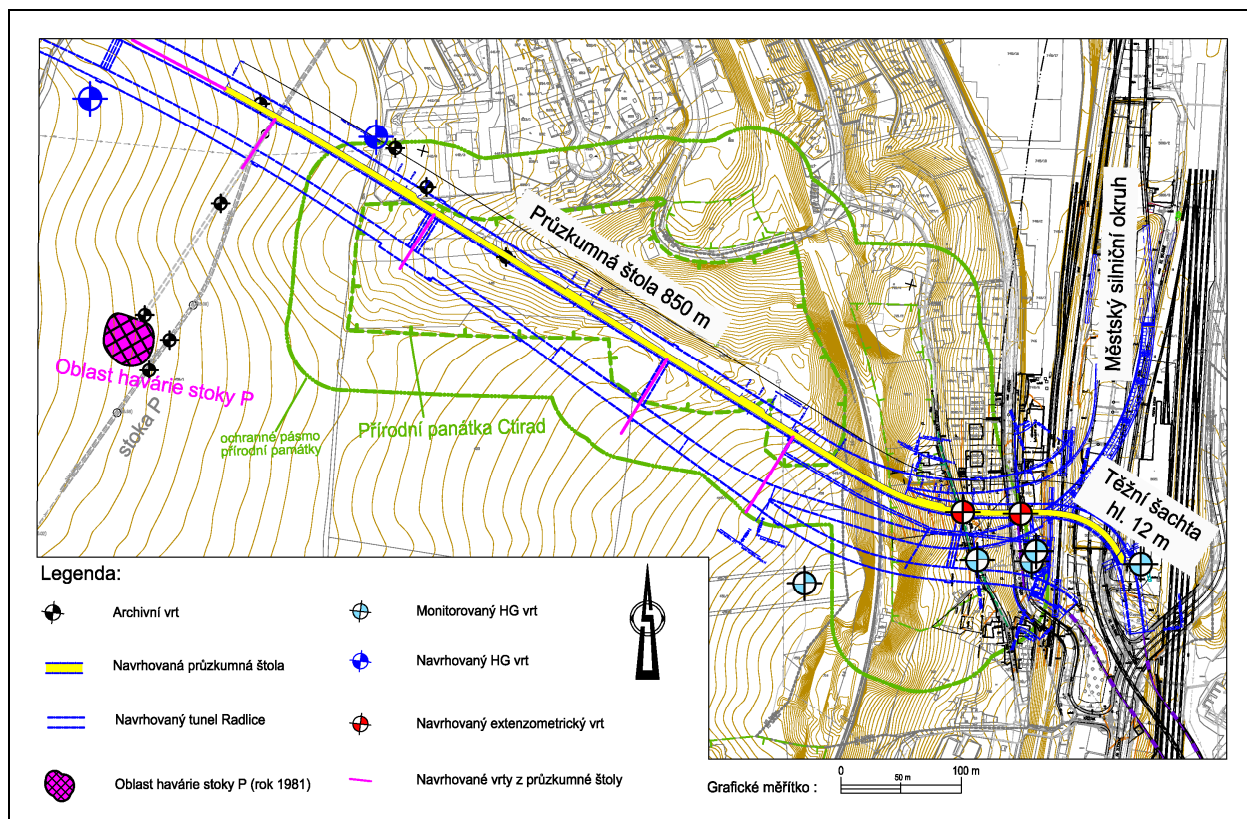
3 Inženýrsko-geologický průzkum pro Tunely Radlice

V rámci podrobného inženýrsko-geologického průzkumu, realizovaného pomocí průzkumné štoly v části tunelu Radlice, je v současnosti realizován komplexní soubor průzkumných prací a měření. Základní typy průzkumných prací zahrnují zejména detailní průběžnou geotechnickou a geologickou dokumentaci vlastní průzkumné štoly, včetně provádění strukturní analýzy horninového masivu metodou klíčových bloků. Dále pak

realizaci souborů presiometrických zkoušek ve vrtech a rozpěrných zatěžovacích zkoušek deskou ve štolě, doprovodných laboratorních zkoušek mechaniky skalních hornin a zemin (včetně technologických vlastností např. abrazivnosti, rozpojitelnosti), korozního průzkumu, hydrogeologického sledování a zejména různých geofyzikálních měření jak z průzkumné štolky, tak i z povrchu terénu.

Realizace podrobného inženýrsko-geologického průzkumu formou průzkumné štolky pro tunel Radlice je prováděna ve třech základních časových etapách:

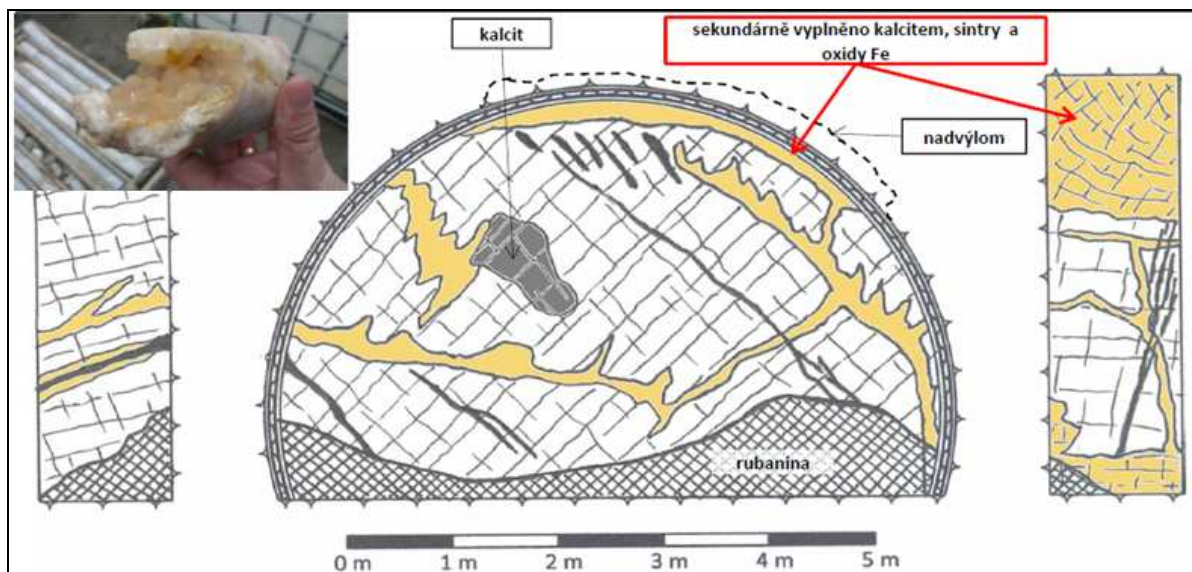
1. Průzkumné práce a měření před ražbou průzkumné štolky
2. Průzkumné práce a měření v průběhu ražby průzkumné štolky
3. Průzkumné práce a měření po vyražení průzkumné štolky



Obr. 6 Situace průzkumné štolky a navržených průzkumných prací
Fig. 6 Layout plan of the exploratory gallery for the Radlice tunnel

Průzkumné práce a měření před ražbou průzkumné štolky

Před zahájením razičských prací na průzkumné štolě bylo prováděno hydrogeologické sledování hladiny podzemní vody na již vybudované síti monitorovaných hydrogeologických vrtů (viz. obr. 6). Hladina podzemní vody v těchto vrtech je sledována již od roku 2009. Tato síť monitorovaných vrtů byla rozšířena o vrtky u konce průzkumné štolky. Souběžně proběhla i aktualizace pasportů studní a přirozených pramenů. V předpolí před ražbou průzkumné štolky byl vždy v předstihu proveden i soubor geofyzikálních měření z povrchu podél celé trasy průzkumné štolky. Tato měření zahrnují komplex geofyzikálních měření za použití seismických, geoelektrických, gravimetrických a georadarových metod. Cílem zmíněných měření je v předstihu před ražbou průzkumné štolky lokalizovat průběhy poruchových zón a především indikaci primárních krasových jevů (závrtů, korozních diskontinuit, kaveren s různou zeminovou výplní). Interpretace vyhodnocení geofyzikálních měření umožnila v předstihu stanovit úseky ražby s potenciálním rizikem možnosti nestability výrubu z hlediska nafárání zvodnělých i nezvodnělých poruchových pásem či krasových kaveren.

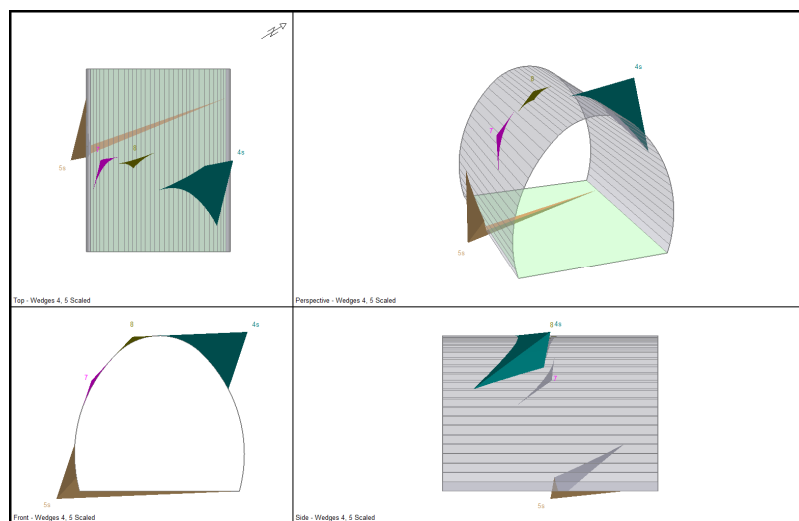


Obr. 7 Grafická část geologického popisu čela výrubu výhybny v dolomitických vápencích, (lochkovské souvrství – devon), v tunel metru štoly 499,85 m. Na fotografii vlevo nahoře je patrná krasová dutina, zastižena předvrtem, s vytvořenými krystaly kalcitu na stěnách dutiny.

Fig. 7 Geological scheme of gallery face in dolomitic limestone (Lochkov formation – Devon) tunnel meter 499,85. There is a picture from core drilling with karstic failure crystals of calcite on the left upside corner.

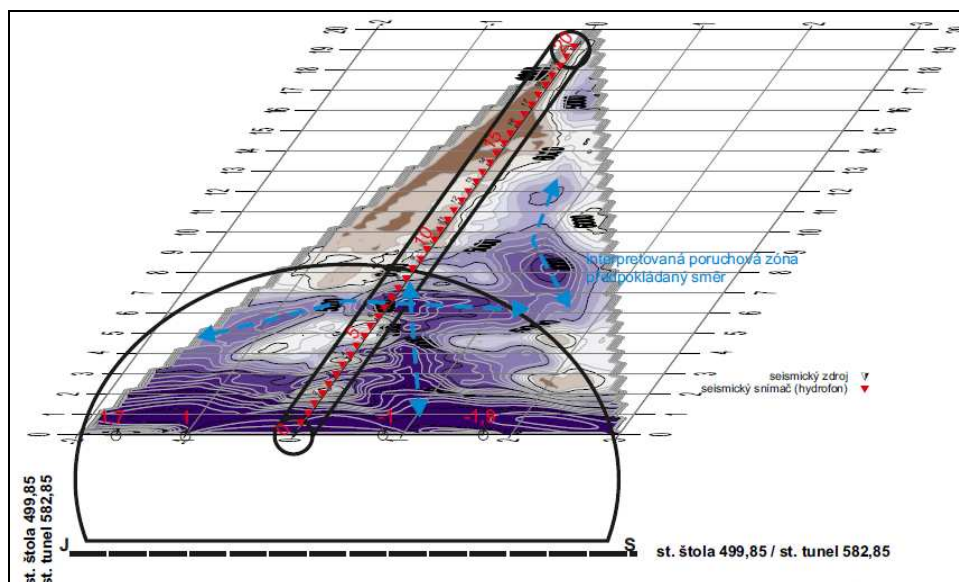
Průzkumné práce a měření v průběhu ražby průzkumné štoly

Základní činností podrobného inženýrskogeologického průzkumu pomocí průzkumné štoly je geotechnické a geologické sledování nezajištěného čela výrubu průzkumné štoly (grafická část tohoto měření je patrna na obr. 7). Tato činnost je prováděna každý záběr při nepřetržitém provozu a musí být prováděna velmi podrobně s ohledem na její využití k následné interpretaci (prognózu) složitých geologických poměrů do obou tunelů Radlice, ale i jako vstupní parametry pro zařazení horninového masivu do geotechnických tunelářských klasifikací QTS, RMR či GSI. Na základě vyhodnocení diskontinuit v horninovém masivu je průběžně prováděna strukturní kinematická analýza nezajištěného horninového masivu s ohledem na možné vyjíždění a vypadávání horninových bloků z nezajištěné části čela výrubu štoly (viz obr. 8) a následně predikce pro samotné tunely.



Obr. 8 Strukturní analýza horninového masivu metodou klíčových bloků
Fig. 8 Rock mass structural analyses with Key Blocks Method

V návaznosti na průběžně prováděné geotechnické a geologické sledování jsou operativně vyhodnocovány bezpečnostní jádrové předvrtů o délce 20 m v místech s předpokládaným zvýšeným geologickým rizikem pro ražbu štoly. U těchto jádrových předvrtů je prováděn geologický popis hornin, laboratorní zk. hornin, sledován přítok podzemní vody a prováděno geofyzikální měření (především měření seismická viz. obr. 9).



Obr. 9 Schematická projekce seismického rychlostního řezu z jádrového předvrtu a čela výrubu průzkumné štoly (Inset, s.r.o.)

Fig. 9 Seismic speed cross section scheme from drilled hole and gallery face (Inset, s.r.o.)

Do poloviny roku 2015 ražba průzkumné štoly probíhala od přístupové šachty na Smíchově nejprve v silurských horninách liteňského a kopaninského souvrství (střídání vápnitých prachovitých břidlic s pevností zdravé horniny 25 – 35 MPa a vložek vápenců s pevností 35 – 70 MPa), které tvoří tektonickou kru v oblasti budoucích zlíčovských portálů až po ul. Křížová. Dále po tektonické poruchové zóně s nižšími pevnostními i přetvárnými parametry, ražba pokračovala v pevných devonských horninách (tvořící terénní elevaci – vrch Dívčí hrady). Nejprve ve dvorecko-prokopských vápencích (souvrství prag) s pevností horninového materiálu 40 – 130 MPa, a posléze v kotýských vápencích (souvrství lochkov), s pevností horninového materiálu 52 – 125 MPa. Ve dvorecko-prokopských vápencích (místa s vložkami břidlic) byla zastižena i zajímavá poloha – žíla biotitického lamprofyru. Následující vápence lochkovského souvrství jsou však zde výrazně masivní, čisté, bez vložek břidlic, narůžovělé, až dolomitické. Na křížení puklin a podél souvislých diskontinuit jsou výrazně krasově alterovány až do hloubky štoly cca 90 m pod povrchem (patrné na obr. 11). Při ražbě byly zastiženy drobné rozevřené dutiny do 0,5 m, místa částečně vyplněné na stěnách krystaly kalcitu. Ve staničení 0,517 km (433,8 tunelových metrů) byla v pravé straně čela výrubu nafárána krasová puklina, částečně vyplněná písčitou a jílovitou výplní, ze které se otevřel soustředěný přítok podzemní vody cca 10 l/s (foto na obr. 10), jež velmi rychle způsobil částečné zatopení dna průzkumné štoly. Při dalších postupech se přistoupilo k systematické realizaci jádrových předvrtů, délky 20 m s překryvem cca 4 m. Krasová korozní alterace horninového masivu byla přítomná v celém úseku ražby ve vápencích lochkovského souvrství. Následně, při přechodu do silurských hornin přídolského (požárského) souvrství ve staničení 0,578 km (661 tunelových metrů), krasové porušení horninového masivu již mizí. Přídolské (požárské) souvrství je zde charakterizováno střídáním vápnitých prachovitých břidlic s pevností horninového materiálu 7 – 17 MPa a vápenců s pevností 61 – 115 MPa).



Obr. 10 Prítok podzemní vody z krasové pukliny v lochkovském souvrství, který způsobil částečné zatopení dna průzkumné štoly

Fig. 10 Groundwater inflow from karst crack in Lochkov formation which flooded gallery bottom

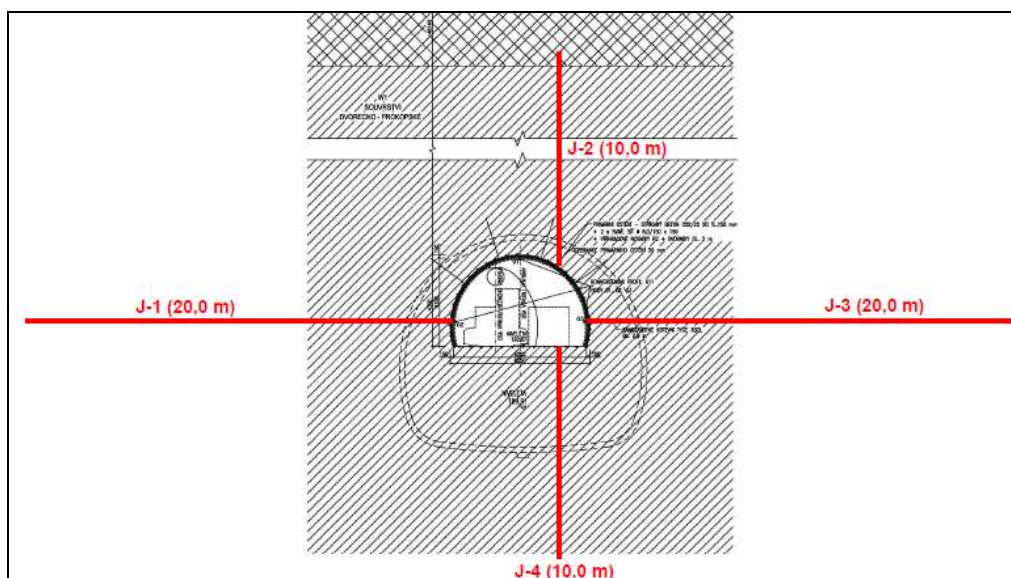


Obr. 11 Fotografie čela výrubu v devonských vápencích lochkovského souvrství, kde je patrné korozní krasové zvětření horninového masivu až do hloubek 90 m pod terénem

Fig. 11 Picture of gallery face in devon limestone of lochkov formation. There is seen 90 m deep karst failure on the picture.

S určitým odstupem za ražbou se realizují z průzkumné štoly (obdobně jako na průzkumných štolách Mrázovka, Blanka či tunelu Lochkov), radiální presiometrické vějíře, v rámci kterých se ve vrtech provádějí soubory presiometrických měření za účelem zjištění přetvárných vlastností horninového masivu. V trase průzkumné štoly je navrženo celkem 7 vrtných

profilů, v nichž jsou realizovány série presiometrických zkoušek pro vyšetření pevnostních a přetvárných vlastností horninové masivu v okolí tělesa průzkumné štoly i budoucího tunelu. Každý z presiometrických vějířů je umístěn v rovině kolmé na podélnou osu štoly a sestává ze 4 radiálně orientovaných vrtů o délce 7 – 20 m do obou stěn, stropu a počvy štoly. Následně je pak v těchto presiometrických vrtech realizován rovněž geofyzikální průzkum (vrtná georadarová měření, seizmocarotáž a seizmické prosvěcování mezi vrty – tomografie).



Obr. 12 Presiometrický vějíř ve výchybě – profil PP-3 (výchybna, km 0,270)
Fig. 12 Passing bay presiometric drill holes – profile PP-3 (stationing km 0,270)

Do poloviny roku 2015 byla uskutečněna měření ve 4 profilech PP-1 až PP-4, umístěných ve stratigraficky a strukturně odlišných typech geologického prostředí.

Profil PP-1 byl situován v prostředí složité geologické stavby souvrství liteňského a kopaninského (silur) s převládajícím vývojem zdravých prachovitofilovitých vápnitých břidlic a mikritických kalových vápenců s velkou až velmi velkou hustotou diskontinuit a často intenzivním tektonickým porušením. Hodnoty naměřených presiometrických modulů se zde pohybovaly v rozmezí $E_{\text{def,p}} = 63 - 619$ MPa s průměrnou hodnotou 168 MPa. Pro následné odvození doporučených hodnot modulu přetvárnosti E_{def} z naměřených presiometrických modulů bylo využito redukčních součinitelů vystihujících malé prostorové a časové měřítko presiometrické zkoušky, empiricky zjištěných v obdobných geotechnických podmínkách. Doporučená hodnota modulu přetvárnosti pro horninový masiv pak zde činila $E_{\text{def}} = 100$ MPa.

Profil PP-2 byl umístěn ve výrazně kompaktnějším prostředí dvorecko-prokopského souvrství (devon, částečně i přechod do tektonické kry siluru), ve vývoji zdravých mikritických kalových vápenců, s hustotou diskontinuit střední až velkou a naměřené hodnoty modulů zde činily $E_{\text{def,p}} = 438 - 2511$ (Ø 1400) MPa. Velikost výsledného modulu přetvárnosti pro horninový masiv zde byla doporučena hodnotou $E_{\text{def}} = 800$ MPa.

Profil PP-3 v prostředí dvorecko-prokopského souvrství (devon) a oblasti budoucích tunelových rozpletů byl charakterizován výskytem zdravých mikritických kalových vápenců s ojedinělými vložkami vápnitých břidlic a převážně velkou hustotou diskontinuit. Hodnoty naměřených presiometrických modulů se zde pohybovaly v rozmezí $E_{\text{def,p}} = 142 - 1247$ (Ø 678) MPa a pro horninový masiv zde byla doporučena hodnota modulu přetvárnosti $E_{\text{def}} = 540$ MPa.

Výrazně nejkompaktnější prostředí pak bylo paradoxně zastiženo v místě vějíře PP-4 u zdravých dolomitických vápenců lochkovského souvrství (devon), i když částečně po

puklinách krasově alterovaných. Byly zde naměřeny hodnoty presiometrických modulů v intervalu $E_{\text{def,p}} = 720 - 4924$ ($\bar{O} 2770$) MPa a pro horninový masiv byla následně doporučena hodnota modulu přetvárnosti $E_{\text{def}} = 1660$ MPa.

Průzkumné práce a měření po vyražení průzkumné štoly

Po vyražení průzkumné štoly v celé své délce budou realizovány průzkumné vrty (vrtné profily) do oblasti jižního tunelu. Jejich umístění bude provedeno na základě vyhodnocení a interpretace geologických poměrů zastižených průzkumnou štolou (prozatím navrhované umístění viz. obr. 6). Tyto průzkumné vrty budou geologicky popsány, geotechnicky odzkoušeny a proveden v nich soubor geofyzikálních měření. Nejprve budou provedena georadarová a seismokarotážní měření obdobně jako ve vrtech presiometrických vějířů a následně bude provedeno mezi jednotlivými vrty vějíře seismické prosvěcování.

Z konce průzkumné štoly bude realizován, obdobně jako na průzkumné štole Blanka, 70 m dlouhý subhorizontální vrt ve směru ražby budoucího tunelu (viz. obr. 6). V tomto vrtu budou též geotechnické zkoušky a geofyzikální měření. Po vyražení průzkumné štoly budou v místech zpracovávaných statických výpočtů pro tunely Radlice realizovány v průzkumné štole rozpěrné zatěžovací zkoušky deskou a případně provedena další geofyzikální měření. V době po vyražení průzkumné štoly bude též nadále pokračovat jak měření hladin podzemní vody na síti monitorovaných vrtů, tak i měření celkového přítoku ze štoly.

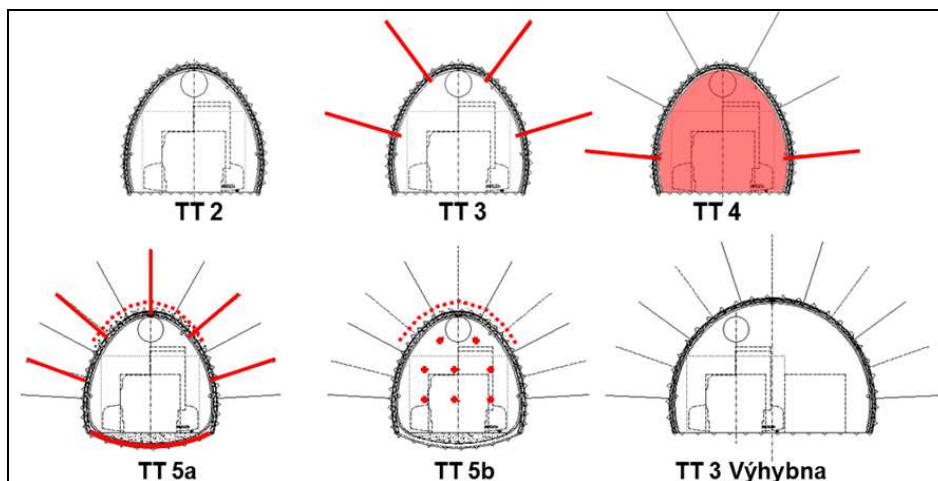
4 Průzkumná štola

Štola je ražena od září 2014. Z výškových důvodů její realizaci předcházelo hloubení těžní šachty hloubky cca 14 m jež svou geometrií respektuje technologii svislé dopravy a místní, stísněné podmínky. Trasa štoly nejprve podcházela Zlíchovský tunel (který je součástí Městského okruhu, a kde je již připraven zárodek rampy G tunelu Radlice) a dále pod ulicemi Křížová, Nový Zlíchov a nyní (8/2015) pokračuje ražbou pod volným terénem až do staničení km 0,932.20 kde by měla být ukončena.

Základní technické parametry průzkumné štoly:

Celková délka	850 m
Maximální podélný sklon díla	6,56 %
Plocha příčného řezu	13,46 m ² (23,35 m ² výhybna)
Maximální šířka výrubu	4255 mm (6550 mm výhybna)
Maximální výška výrubu	4335 mm (4300 mm výhybna)
Způsob realizace	NRTM
Způsob rozpojování	trhací práce
Doprava	kolová (nekolejová)

Z logistických důvodů je v trase průzkumné štoly realizováno 5 výhyben ve vzájemné vzdálenosti cca 150 m. Do výhyben je soustředěna realizace presiometrických vějířů. V trase ražené štoly bylo předpokládáno zastižení 5 technologických tříd (2, 3, 4, 5a a 5b, viz obr. 13.) dle geologických podmínek. Pro jejich určení při realizaci se využívá klasifikace QTS. Z důvodu předpokládaného výskytu krasových jevů je v každé čelbě vrtán bezjádrový vrt délky 3 m.



Obr. 13 Projektované Technologické třídy (zkr. TT) výrubu průzkumné štoly včetně zajištění. Červeně jsou zvýrazněny vyztužovací prvky, jež se aplikují navíc oproti třídě s nižším pořadovým číslem.

Fig. 13 Exploratory gallery design of Excavation support classes. Red highlighted reinforcing elements are applied in addition to a class with a lower number.

Od počátku byla navržená ražba rozdělena na dva úseky. První úsek byl od portálu v těžní šachtě do 53 tm (tunel metrů). V tomto úseku byla ražba prováděna pod ochranou stávajících konstrukcí, které byly připraveny v rámci výstavby Zlíčovského tunelu. Ražba zde byla prováděna se strojním rozpojováním, i když projekt trhacích prací umožňoval použití tzv. „opatrné trhací práce“ ve spodní polovině štoly. Nakonec nebyl tento způsob ražby použit. Druhý úsek ražeb od 53 tm do 850 tm již umožňuje použití trhacích prací v celé ploše čelby a omezením je pouze zastižená geologie. V počátcích tohoto úseku podcházela ražba dvě železniční trati přičemž, jako riziková se od počátku jevila trať bližší stavební jámě (obr. 13) z důvodu nízkého nadloží 11 m.

Použití trhacích prací je od samého začátku omezeno především dvěma faktory. V první řadě je to zvýšená seismická působící na okolní budovy. Nejvíce ohroženou stavbou z hlediska seismického zatížení byla již zmíněná železniční trať zhruba ve vzdálenosti 100 m od šachty. Druhým faktorem a v případě této stavby více omezujícím je hlukové omezení v nočních hodinách a to od 22:00 hodin do 6:00 hodin. Toto omezení klade velké nároky na koordinaci probíhajících prací, aby bylo možné v časovém rozmezí mimo noční hodiny střílet.

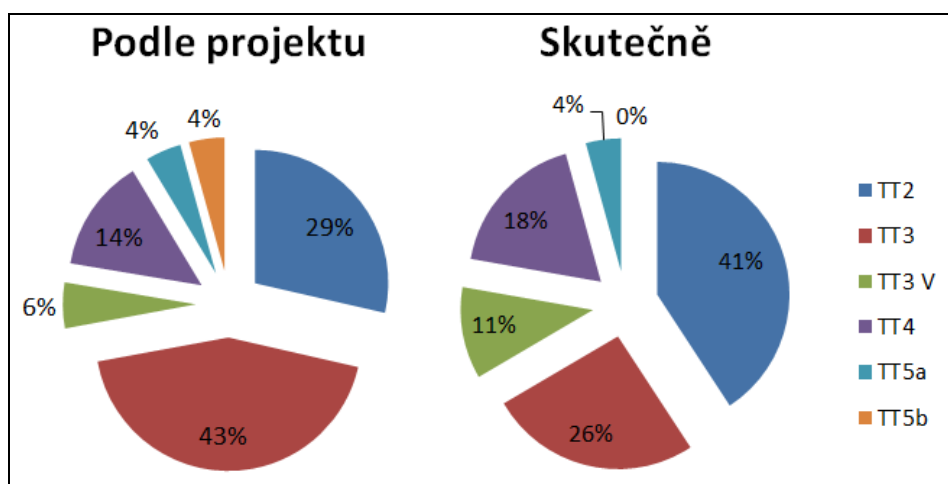
Novinkou v rámci podzemních staveb malého profilu v České republice a na Slovensku je použití zcela nového důlního ventilátoru s dvoustupňovým regulovaným pohonem Zitron gEL/dEL 7-74 G/GF. Samotný návrh způsobu větrání byl pro zajištění optimálního klimatu na pracovišti značně komplikovaný. Původně byla navržena nejčastěji používaná varianta sacího plechového lutnového tahu průměru 630 mm se čtyřmi důlními ventilátory APXE 630 zapojenými v sérii a pomocným foukacím lutnovým tahem s ventilátorem APXE 315 v blízkosti čelby. Tato varianta byla, vzhledem ke své neekonomičnosti několikrát revidována. Neekonomičnost spočívala zejména ve spotřebě elektrické energie a dlouhém času pro odvětrání po odstřelu. Výsledkem byl finální projekt větrání s lutnovým tahem průměru 700 mm kombinovaný a jeden dvoustupňový ventilátor Zitron a odprašovací jednotkou OM-800. Kombinovaný způsob spočívá ve využití foukacího větrání s ventilátorem umístěným na povrchu, pro ražbu prvních 300 m (po druhou výhybnu) a v následném přesunutí ventilátoru do podzemí (do druhé výhybny) před foukací tah. Před ventilátorem směrem k čelbě je tah sací, pro zbývajících 550 m štoly.

Realizace průzkumné štoly je v současné době (8/2015) ve své třetí třetině s předpokládaným dokončením do konce roku 2015. Poznatky nasbírané během ražeb jsou zhruba tyto.

Hornina (zejména vápence), ve které se razí je mnohdy až o 20 MPa tvrdší než bylo předpokládáno. To vede k větší spotřebě trhavin, než bylo předpokládáno. Je nutno prodlužovat a zvětšovat množství vrtů pro trhací práce. Původně bylo uvažováno s použitím pouze emulzních náložkovaných trhavin. Avšak jejich pracovní schopnost v takto pevných horninách není schopna uspokojivě horninu v malém uzavřeném profilu štoly rozpojovat bez velkých podvylomů a nadvylomů. Proto byla jako řešení použita trhavina typu dynamit prvně pro zálomy a nakonec i do obrysových vrtů. V nejtvrdších Lochkovských vápencích musel být používán pouze dynamit.

Ačkoliv je pevnost horniny větší, vlivem jejího rozpukání a výskytu krasového zvětrání není možné zvětšovat zabírku oproti projektem stanoveným délkám. Bezpečnostní bezjádrový předvrt v čelbě se ukázal několikrát býti dostatečně efektivním nástrojem pro predikci změn vlastností horniny. V případě zjištění výraznějších anomálií při jeho vrtání byl doplněn o jádrový vrt spolu s např. kamerovou zkouškou nebo měřením geofyzikálním, popř. jejich kombinací (obr. 9.).

Projekt a zejména smlouva o dílo zpočátku vytvářeli dojem pevně stanovených kvazihomogenních celků určující zastoupení jednotlivých technologických tříd v celé trase štoly sloužící sama o sobě jako průzkumné dílo. Geologická situace však záhy po začátku ražeb ukázala, že tento náhled byl chybný a byly vytvořeny podmínky pro operativní reakci na zastiženou geotechnickou situaci. Rozdíl v zastoupení jednotlivých technologických tříd je patrný na obrázku níže (obr. 14.). To vedlo k dosavadnímu bezpečnému a ekonomicky efektivnímu způsobu provádění prací za což patří dík zejména investorovi, dodavatelům geotechnického monitoringu, průzkumných prací, geologům a v neposlední řadě též projektantovi.



Obr. 14 Porovnání zastoupení jednotlivých technologických tříd výrubu zastižených při ražbě prvních 500 m štoly

Fig. 14 Compared representation of excavation support classes encountered during the excavation of the first 500 meters of the gallery

5 Závěr

I přes známost Pražské geologie v tomto případě přímo Pražského Barrandienu je stále toto území nevyzpytatelné a průzkum pomocí štoly přináší výsledky, které se liší od předpokládaných podrobnými geologickými průzkumy z povrchu. Viz. rozdíl podílu mezi předpokládaným zatříděním a skutečně zastiženým.

Toto dílo mimo jiné poukazuje na vhodnost používání průzkumných štol pro ověření inženýrskogeologických podmínek v místech budoucích tunelových staveb. Průzkum takto

provedený přináší nezanedbatelné množství informací a poznatků. V tomto konkrétním případě, kdy je velké riziko zastižení krasových jevů značné velikosti má průzkumná štola nenahraditelnou roli.

Ražba podzemního díla v městské zástavbě je vždy „oříškem“ v případě této štoly tomu není jinak. Již od samého počátku se stavba potýká s omezujícími podmínkami vyplývající právě z prostředí městské zástavby. I přes veškeré komplikace způsobené tímto faktorem je ražba úspěšná.

6 Seznam použité literatury

DOHNÁLEK, V., PANUŠKA, J., BUTOVIČ, A., CHMELAŘ, R., Radlická radiála – geotechnický průzkum a průzkumná štola Tunelu Radlický, Časopis Tunel, 2014, číslo 4.

MERTA, A., KOŘINEK, L., PETRŽILKA, V., Tunely na Radlické radiále jihozápadní město – Smíchov, Časopis Tunel, 2011, číslo 4, 9 stran.

CHMELAŘ, R., BUTOVIČ, A., KOLEČKÁŘ, M., Exploratory gallery of Radlice tunnel in Prague. In Proceedings of the World Tunnel Congress 2014 May 9th to 15th, 2014 - Iguassu Falls – Brazil (PAP547)

PÚDIS 1983. Zpráva o inženýrsko-geologickém sledování v průběhu výstavby nesídlíštního splaškového sběrače „P“ v úseku Hlubočepy - Radlice v Praze 5.

VIS 2006. Radlická radiála JZM – Smíchov, stavba 9567, tunel Radlice – Podrobný inženýrsko-geologický průzkum, průzkumná štola. Praha: VIS, a. s., 08/2006.

PUDIS 2007. Radlická radiála JZM – Smíchov – Inženýrsko-geologický průzkum (geologická rešerše) pro DUR.

PUDIS 2009. Předběžný inženýrsko-geologický průzkum pro průzkumnou štolu Radlice. Praha

PUDIS 2009. Podrobný hydrogeologický průzkum pro průzkumnou štolu. Praha.

PUDIS 2014-2015. Stavba č. 9567 Radlická radiála JZM – Smíchov – podrobný inženýrskogeologický průzkum Čtvrtletní etapové zprávy