

TUNEL PRAHA – BEROUN A ZÁKLADNÍ PARAMETRY OBDOBNÝCH TUNELŮ

THE PRAGUE – BEROUN TUNNEL AND BASIC PARAMETERS OF SIMILAR TUNNELS

MATOUŠ HILAR, MARTIN SRB

1. ÚVOD

V současné době probíhá příprava výstavby vysokorychlostního železničního tunelu Praha – Beroun, který bude mít délku 24,7 km. Tento tunelový projekt nemá v České republice obdoby. V rámci dopravních tunelů v České republice se jedná o nejdelší a nejnákladnější tunel, s nejvyšším nadložím a s nejvyšší návrhovou rychlostí. Na větší tunelu je předpokládána u nás dosud nepoužitá ražba moderními plnoprofilovými tunelovacími stroji (TBM). Objem vytěžené rubaniny bude přibližně 6,5 mil. m³, způsob nakládání s rubaninou bude nutně vhodně vyřešit především z logistického a ekologického hlediska. Dále je očekávána možnost výskytu krasových jevů na části trasy ražené konvenčním způsobem (NRTM). Jedinečnost projektu v rámci ČR je důvodem pro zohlednění a využití zahraničních zkušeností při přípravě této stavby. Základní informace o připravovaném projektu a o obdobných stavbách v zahraničí přináší následující článek.

Investorem a zadavatelem projektu je SŽDC s. o. (Stavební správa Plzeň), hlavním projektantem stavby je SUDOP Praha a. s., projektantem tunelů ražených pomocí TBM je Metroprojekt Praha a. s. Technickým poradcem investora pro podzemní stavby je D2 Consult Prague s. r. o., geotechnickým konzultantem investora je SG-Geotechnika a. s.

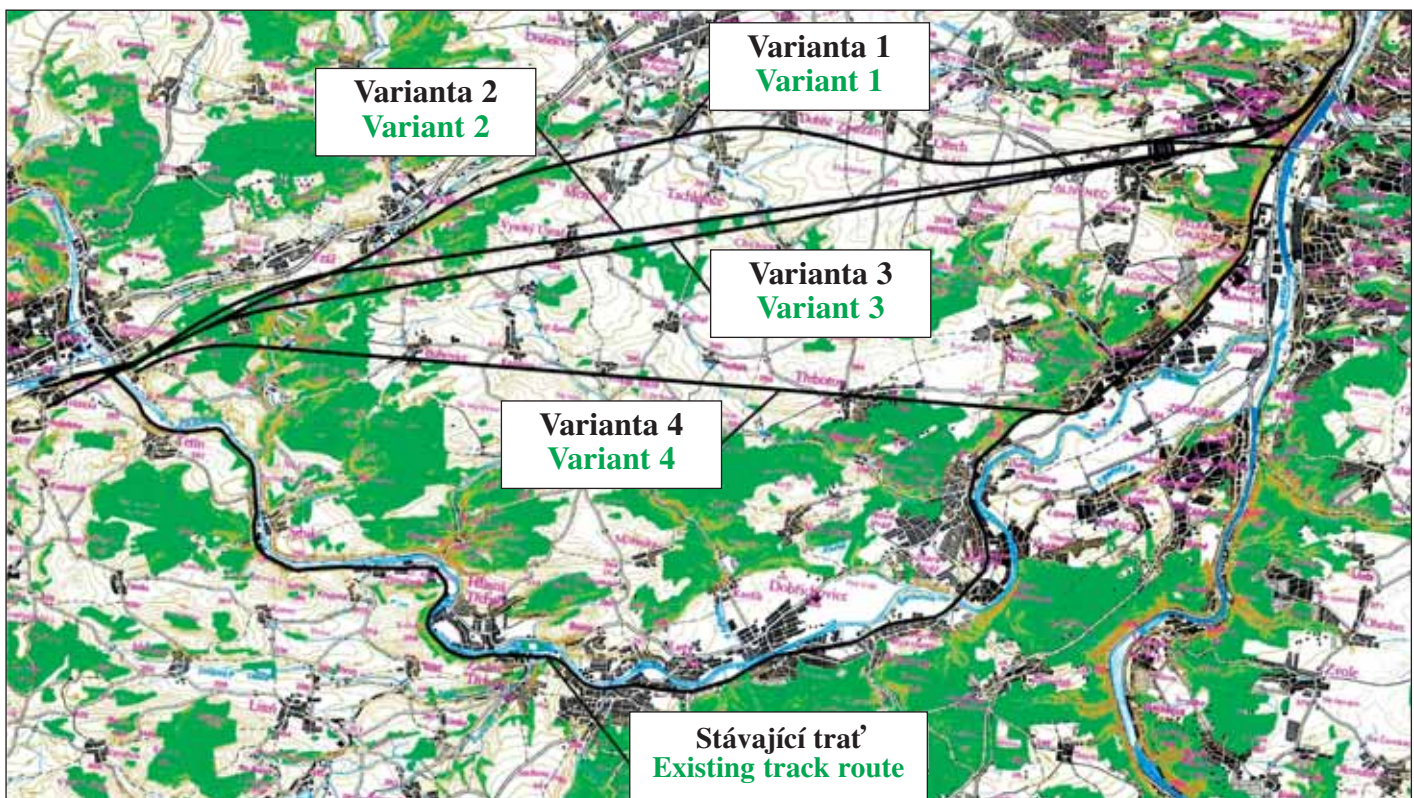
2. VÝVOJ PŘÍPRAVY TUNELU PRAHA – BEROUN

V rámci přípravy optimalizace tratí 3. tranzitního železničního koridoru byla v roce 2002 zpracována územně technická studie pro úsek

1. INTRODUCTION

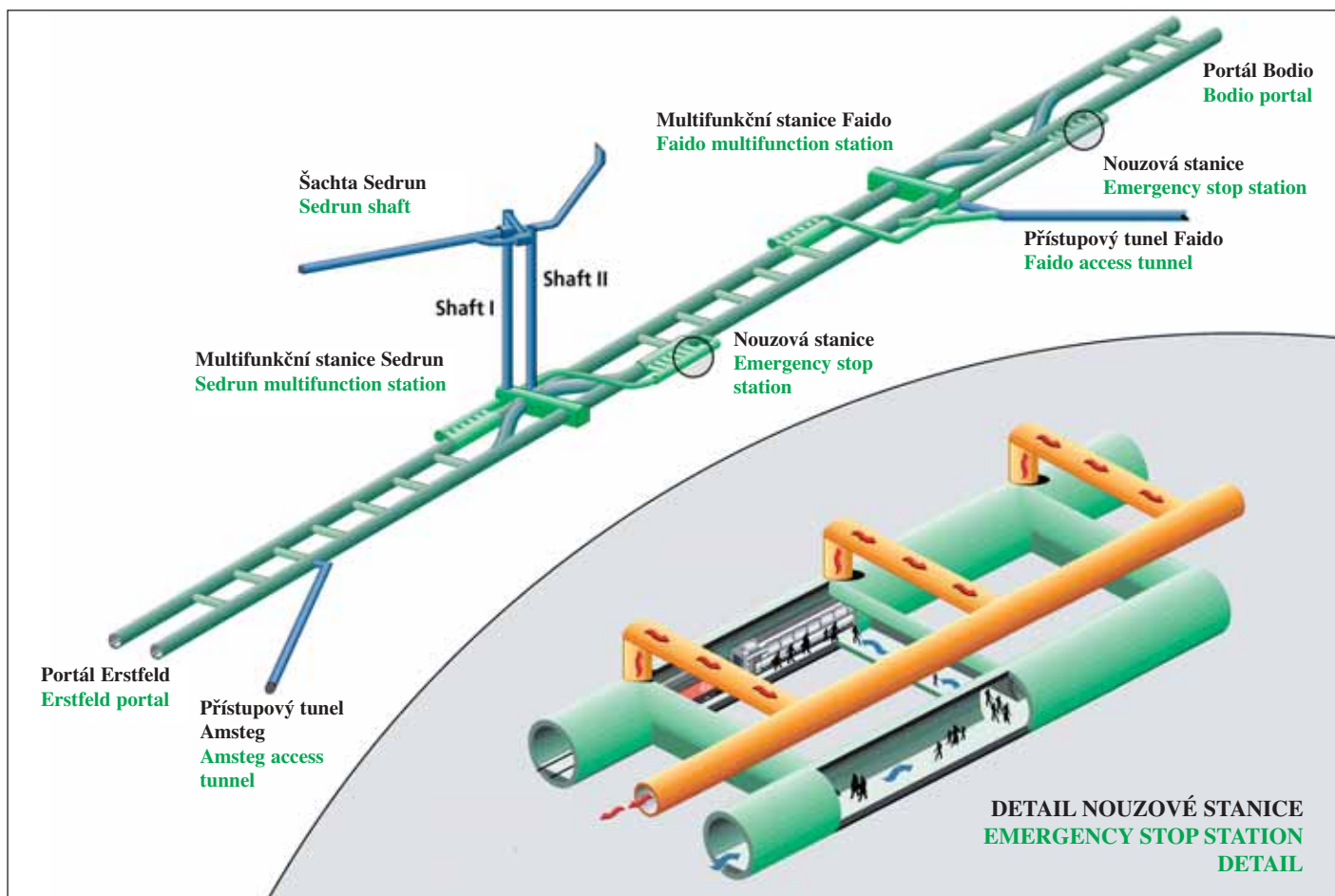
The construction of the 24.7km long Prague – Beroun high-speed railway tunnel is currently in the planning stage. This tunnelling project has no equivalent in the Czech Republic. Within the framework of transit tunnels in the Czech Republic, this is the longest and the most expensive tunnel, with the highest overburden and the highest design speed. The excavation method using modern tunnel boring machines, which has never been used in the Czech Republic, is expected to be applied to the major portion of the excavation. The volume of muck will reach approximately 6.5 million m³; the problem of muck handling will have to be appropriately dealt with, above all from the logistic and environmental points of view. In addition, the possibility of the occurrence of karst phenomena is expected within the section of the route which is to be driven traditionally, by the NATM. The uniqueness of this project within the framework of the Czech Republic is the reason why foreign experience should be taken into account and used in the project planning stage. This paper provides basic information about the project preparation and about similar projects existing abroad.

The project owner and client for the designer is Railway Infrastructure Administration, state organisation (Civil Engineering Administration Plzeň), the principal designer of the project is SUDOP Praha a.s., the designer for the TBM driven tunnels is Metroprojekt Praha a.s.; D2 Consult Prague s.r.o. is client's engineering consultant for underground structures; client's geotechnical consultant is SG Geotechnika a.s.



Obr. 1 Zvažované varianty trasy, zvolena byla Varianta 1 (Krása a spol. 2007)

Fig. 1 Route variants under consideration; winning Variant 1 (Krása et al. 2007)



Obr. 2 Gotthardský bázový tunel – uspořádání (www.alptransit.ch)
 Fig. 2 The Gotthard base tunnel configuration (www.alptransit.ch)

Praha Smíchov – Plzeň hl. n. V této dokumentaci byla navržena podle zadání optimalizace trati ve stávající stopě s místním zlepšením směrových poměrů. Následně bylo zahájeno zpracování dokumentací pro územní řízení. Během zpracování se potvrdilo, že provozovaná železniční trať mezi Prahou a Berounem sledující tok Berounky neumožňuje zásadní zvýšení rychlosti dopravy, neboť se bezprostředně dotýká území CHKO Český kras, což nedovoluje realizovat významnější změny směrového vedení. Proto bylo rozhodnuto o prověření nového vysokorychlostního železničního spojení Praha – Beroun pomocí dlouhých tunelů.

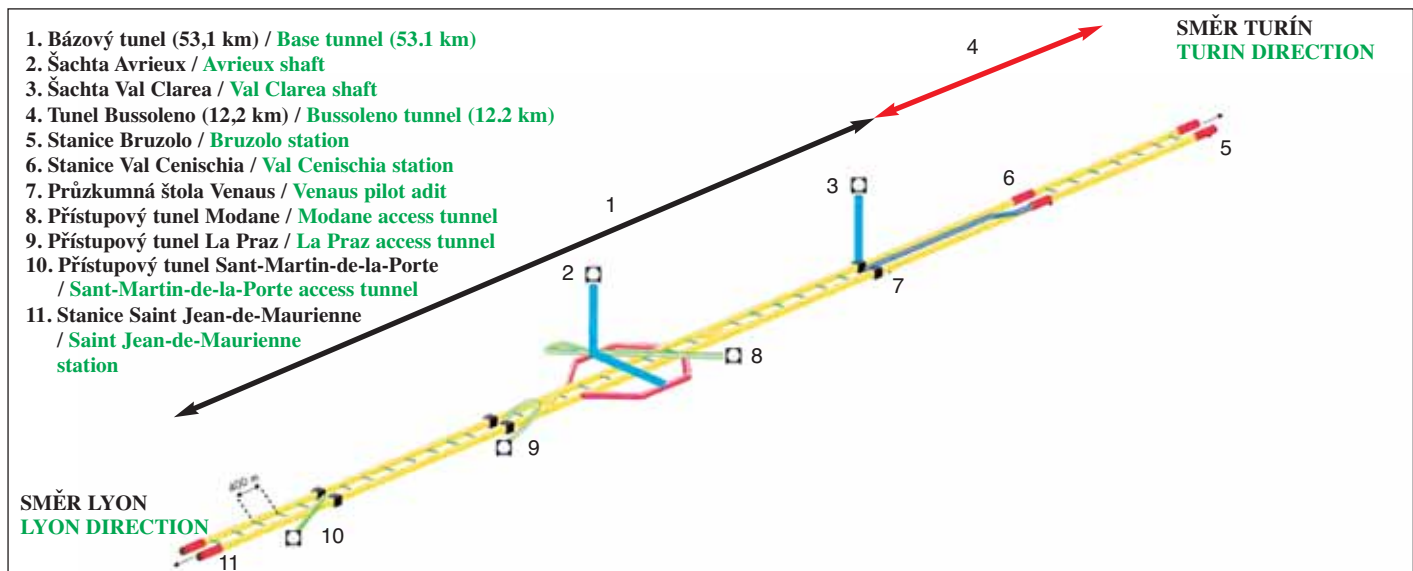
Bylo zpracováno několik variant nového spojení vedených zčásti tunely a zčásti po povrchu. Prověření těchto variant dospělo k závěru o jejich nereálnosti vzhledem k zastavenosti území západně od Prahy. Proto byla hledána další řešení s využitím velmi dlouhých tunelů pro většinu trasy. V roce 2005 byla zpracována územně technická studie, která předpokládala vedení nové železniční trati z Hlubočep v Praze tunelem Barrandov délky 19 km do údolí říčky Loděnice u obce Svatý Jan pod Skalou. Údolí měla nová trasa přejít 700 m dlouhou mostní estakádou, za níž by následoval tunel Svatý Jan o délce 4 km s vyústěním v údolí Berounky. Na jaře roku 2006 byla zpracována doprovodná studie, která územně technickou studii rozpracovala a dále řešila varianty vyústění tunelu v Praze (Hlubočepy a Malá Chuchle) a způsob překonání říčky Loděnice ve Svatém Janu pod Skalou (přemostění či podchod). Na jaře roku 2006 byla rovněž zpracována rozšířená geologická rešerše, která shrnovala veškeré poznatky o geologické stavbě zájmového území. Na rešerši navázala úvodní riziková analýza, ve které byla vyhodnocena rizika výstavby a provozu.

Z možných variant trasy byla vybrána jako výsledná varianta 24,7 km dlouhého tunelu, který se severním obloukem částečně vyhýbá krasové oblasti mezi Prahou a Berounem (obr. 1). Výsledná trať od železniční stanice (ŽST) Praha-Smíchov vchází do tunelu v km 3,00 (portál Hlubočepy) a vychází v km 27,76 (portál Beroun), následně novým mostem překračuje řeku Berounku a pokračuje do ŽST Beroun v km 28,50. Nová trať zahrnuje i odbočku ze směru Praha-Vršovice, která začíná na ŽST Praha-Krč, využívá část stávající tratě Praha-Vršovice – Praha-Radotín a za Branickým mostem se tunelem napojuje se na hlavní

2. THE PRAGUE – BEROUN TUNNEL PLANNING PROCESS

The planning study for the Prague Smíchov – Plzeň Main Station section was carried out in 2002, within the framework of the planning for the optimisation of the lines of the 3rd rail transit corridor. This document proposed, in compliance with the specification, that the optimised line follow the existing route, with local improvements to the parameters of the horizontal alignment. The work on the design for the land allocation process started subsequently. It was confirmed during the work that the operating rail line between Prague and Beroun, which follows the course of the Berounka River, did not allow any principal increase in the traffic speed because the existing line is in direct contact with the nature reserve of Bohemian Karst, which meant that no substantial modifications of the horizontal alignment were possible. This is why the decision was made that a new system of the high-speed railway connection between Prague and Plzeň running through long tunnels had to be examined.

Several variants of the new connection line, which comprised both underground and surface sections, were submitted. The assessment of the variants resulted in a conclusion that they were unrealistic, with respect to the fact that the area south of Prague is built up. For that reason, other solutions were sought, with exceptionally long tunnels covering the major part of the route. The planning study which was carried out in 2005 assumed that the new rail line would lead through the 19km long Barrandov tunnel, beginning at Hlubočepy in Prague and ending in the valley of the Loděnice River, near the village of Svatý Jan Pod Skalou. The new line was to cross the valley on a 700m long viaduct, which would be followed by the 4km long Svatý Jan tunnel, ending in the valley of the Berounka River. In the spring of 2006, an attending study was issued, which elaborated the planning study and further solved variants of the tunnel mouth in Prague (at Hlubočepy and Malá Chuchle) and the technique of the crossing of the Loděnice River at Svatý Jan Pod Skalou (either a bridge or an underpass). An extended geological information search, which gathered all knowledge about the geological structure of the area of operations, was also carried out in the spring of 2006. The information search was followed by an initial risk analysis, which provided the evaluation of construction and operating risks.



Obr. 3 Bázový tunel na trati Lyon–Turín (www.ltf-sas.com)
Fig. 3 The base tunnel on the Lyon – Turin rail line (www.ltf-sas.com)

tunel trať Praha–Smíchov – Beroun. Odbočka na Krč bude sloužit pro zvláštní nákladní dopravu, osobní vlaky budou jezdit na ŽST Praha – Smíchov. Běžná nákladní doprava bude vedena po stávající trati podél Berounky.

Předběžný geotechnický průzkum zvolené trasy byl dokončen v květnu 2007. Přípravná dokumentace (dokumentace pro územní rozhodnutí) nového železničního spojení Praha – Beroun byla odevzdána v červnu 2007 a do konce roku 2007 byly do dokumentace zapracovány připomínky. Nyní probíhá schvalovací proces pro získání územního rozhodnutí, proces posuzování vlivu stavby na životní prostředí (EIA), příprava realizace průzkumných děl, příprava další fáze geotechnického průzkumu a výběrové řízení pro vypracování dalšího stupně rizikové analýzy. Zahájení prací na projektu stavby je předpokládáno během letošního roku. Zahájení výstavby projektu je předpokládáno v roce 2011, projekt by měl být dokončen v roce 2016.

3. PARAMETRY TUNELU PRAHA – BEROUN

Návrhová rychlost tunelu by měla být 270 km/h. Zpracovaná přípravná dokumentace uvažuje realizaci dvou jednokolejných tunelů s kruhovým profilem o vnitřním průměru 8,3 m. Protisměrné tunely budou spojeny propojkami s rozestupy 400 m. Tunely budou obsahovat dva rozplety v oblasti Prahy (odbočka na Krč) a dva rozplety v oblasti Berouna (pro možnost realizace odbočení v budoucnu). Odbočení jsou řešena mimoúrovňově, protisměrná jízda vlaků v jednom tunelu je vyloučena.

Geologická stavba v trase tunelu je poměrně pestrá. Ražba tunelu bude probíhat v horninách devonu (deskovité a lavicovité vápence, masivní dolomity s vložkami vápnitých a jílovitých břidlic), siluru (deskovité a lavicovité vápence, masivní dolomity s vložkami vápnitých, jílovitých a tufitických břidlic, diabasy, mandlovec a basalty) a v centrální části v km 11,0 – 17,5 v horninách ordoviku (jílovité břidlice s výskytem bloků tufitických a vápnitých břidlic siluru). Nadloží tunelu bude dosahovat až 160 m. Na základě dosud získaných informací o horninovém prostředí je předpokládán možný výskyt krasových jevů na úsecích v celkové délce přibližně 3 km. V úsecích s možným výskytem krasových jevů je předpokládána konvenční ražba (NRTM). Dále jsou očekávána směrná poruchová pásma v jílovitých břidlicích ordoviku a poměrně hustá příčná tektonika v úsecích o celkové délce okolo 10 km. Očekávaná hladina podzemní vody (HPV) je nad tunely, izolace veškerých podzemních staveb je navržena jako celoplošná.

Ražba tunelů bude probíhat pomocí několika TBM, část tunelů bude ražena pomocí NRTM (tunely v oblasti pražských portálů, propojky, rozplety, šachty, atd.). Obousměrné ražby pomocí TBM jsou předpokládány ze staveniště u obce Tachlovice přibližně uprostřed tunelu, kde bude zřízen přístupový tunel, šachta a montážní komory pro TBM. Projekt bude umožňovat i ražbu směrem od Berouna. Vzhledem k nedostatku prostoru v oblasti pražských portálů je realizace NRTM ražeb mezi rozplety a pražskými portály předpokládána z přístupového tunelu Chuchle. Přístupové štoly Tachlovice a Chuchle budou využity pro geotechnický průzkum.

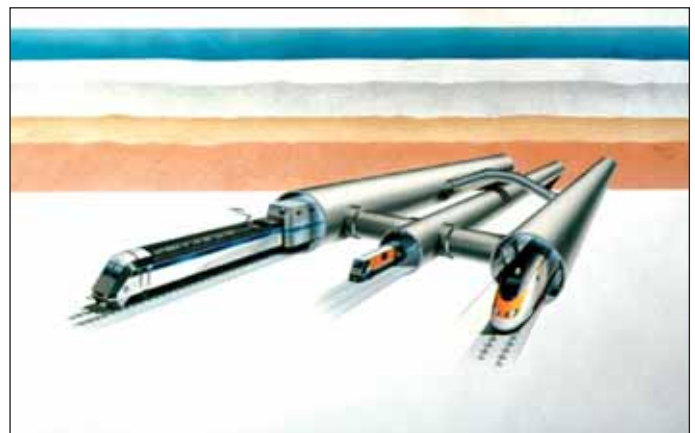
Of the possible route variants, the winning variant was the 24.7km long tunnel which partially bypasses the karst area between Prague and Beroun by means of a north-running curve (see Fig. 1). The resultant route, starting at Prague Smíchov railway station, enters the tunnel at km 3.00 (the Hlubočepy portals) and exits at km 27.76 (the Beroun portal), to cross the Berounka River on a new bridge, and continues to Beroun station, at km 28.50. The new line even comprises a branch joining it from the Prague Vršovice direction. The branch track starts at Prague Krč station, uses a part of the existing track between Prague Vršovice and Prague Radotín, and joins the main tunnel on the Prague Smíchov – Beroun line behind the Braník bridge. The branch for Krč will be used for special freight trains, whereas passenger trains will run to Prague Smíchov station. Common freight trains will use the existing rail line, along the Berounka River.

The preliminary geotechnical survey for the selected route was finished in May 2007.

The design documentation for issuance of zoning and planning decision for the new railway connection between Prague and Beroun was submitted in June 2007; responses to the comments were incorporated into the documentation before the end of 2007. The proceedings before the issuance of the zoning and planning approval are currently in progress, as well as the work on the Environmental Impact Assessment (EIA), preparation of the work on exploratory galleries, preparation of another phase of the geotechnical survey and tender proceedings for the next stage of the risk analysis. The construction work is expected to commence in 2011; the works should be completed in 2016.

3. PARAMETERS OF THE PRAGUE – BEROUN TUNNEL

The design speed in the tunnel should be 270kph. The design documentation for issuance of zoning and planning decision proposes the construction of a pair of single-track tunnels, with an 8.3m i.d. circular cross section. The tunnel tubes will be interconnected by cross passages every 400m. The tunnels will contain two bifurcation chambers in the Prague area (the branching off for Krč) and two bifurcation chambers in the Beroun area (to



Obr. 4 Eurotunnel – uspořádání (www.engineering.com)
Fig. 4 The Eurotunnel configuration (www.engineering.com)

4. OBDOBNE SVĚTOVÉ ŽELEZNIČNÍ TUNELY

Připravovaný tunel Praha – Beroun je v ČR jedinečný především díky své neobvyklé délce. Nejdelším realizovaným českým dopravním tunelem je dálniční tunel Panenská na dálnici D8 o délce 2,1 km, nejdelším českým železničním tunelem je v současné době jednokolejný tunel Březno délky 1,8 km.

V tab.1 jsou uvedeny nejdelší moderní světové železniční tunely, starší tunely uvedeny nejsou (např. přibližně 20 km dlouhé Simplonské tunely z počátku 20. století). Z uvedených tabulek je patrné, že připravovaný tunel Praha – Beroun patří mezi nejdelší světové železniční tunely, v celosvětovém měřítku neexistuje mnoho delších tunelů. Doposud je v provozu pouze 5 tunelů delších než 25 km (Seikan, Eurotunnel a Iwate–Ichinohe, Lötschberg, Guadarrama). Do roku 2010 by měly být dokončeny další dva tunely s délkou dosahující 25 km (Hakkoda a Pajares), do roku 2016 další tři (Gotthard, Koralm a Iyama).

5. KONCEPCE USPOŘÁDÁNÍ OBDOBŇNÝCH TUNELŮ

V minulosti byly železniční tunely na dvoukolejných tratích většinou navrhovány jako dvoukolejné, dva jednokolejné tunely byly používány především v nepříznivých geologických podmínkách, kde

make the branching off possible in the future). The branching off will be solved using a grade-separated configuration; trains are not allowed to run against the traffic in one tunnel.

The geology along the tunnel alignment is quite chequered. The tunnel excavation will pass through Devonian rocks (tabular and bedded limestone, massive dolomites with calcareous and clayey shale interbeds), Silurian rocks (tabular and bedded limestone, massive dolomites with calcareous, clayey and tuffitic shale interbeds, diabase, amygdaloidal rock and basalt) and, in the central part at km 11.0 - 17.5, in Ordovician rocks (clayey shales and occurrences of blocks of Silurian tuffitic and calcareous shales). The tunnel cover will be up to 160m thick. As we know on the basis of the information which has been gathered till now, the possibility of the occurrence of karst phenomena within stretches at the total length of about 3km is expected. Conventional (NATM) excavation is expected to take place in the sections where the karst phenomena can be encountered. In addition, longitudinal weakness zones in the Ordovician clayey shales and relatively dense transverse faults are predicted for sections at the total length of about 10km. The water table is expected to be above the tunnel; therefore a closed waterproofing lining is designed for all underground structures.

The tunnels will be driven by several TBMs; the NATM will be used for some portions of the tunnels (the tunnels in Prague portal areas, cross passages, bifurcation chambers, shafts etc.). The bi-directional TBM drives are assumed to start from the site facility near the village of Tachlovice, roughly at the midpoint of the tunnel, where an access tunnel, shaft and

Tab. 1 Nejdelší moderní železniční tunely

Tunel	Umístění	Délka (km)	Zahájení provozu	Stav	Uspořádání	Bezpečnostní opatření
Gotthard	Švýcarsko	57	2015	Výstavba	Dva jednokolejné tunely	2 multifunkční stanice
Brenner	Rakousko – Itálie	56		Příprava, průzkum	Dva jednokolejné tunely s paralelní únikovou štolou	3 multifunkční stanice s přístupem na povrch
Seikan	Japonsko	54	1988	Provoz	Jeden dvoukolejný tunel a úniková štola	2 nouzové stanice, obslužný tunel propojený s hlavním tunelem po 600–1000 m (šachty, stoly)
Lyon–Turín	Francie – Itálie	53	2020	Příprava, průzkum	Dva jednokolejné tunely	4 nouzové stanice s přístupem na povrch
Eurotunnel	Anglie – Francie	50	1994	Provoz	Dva jednokolejné tunely a jeden obslužný tunel	2 komory křížení
Gibraltar	Španělsko – Maroko	37,7		Příprava	Dva jednokolejné tunely a obslužný tunel uprostřed	Paralelní obslužný tunel na celou délku
Lötschberg	Švýcarsko	34,6	2007	Provoz	Dva jednokolejné tunely (částečně jednokolejný tunel a štola)	2 stanice – jedna servisní a jedna úniková
Koralm	Rakousko	32,8	2016	Příprava, průzkum	Dva jednokolejné tunely	Nouzová stanice uprostřed délky tunelu bez přístupu na povrch
Guadarrama	Španělsko	28,4	2007	Provoz	Dva jednokolejné tunely	500 m dlouhý záchranný tunel uprostřed s propojkami po 50 m, nouzové komory po 2250 m
Hakkoda	Japonsko	26,5	2010	Výstavba	Jeden dvoukolejný tunel	
Iwate–Ichinohe	Japonsko	25,8	2002	Provoz	Jeden dvoukolejný tunel	
Pajares	Španělsko	24,7	2010	Výstavba	Dva jednokolejné tunely	
Iyama	Japonsko	22,2	2013	Výstavba	Jeden dvoukolejný tunel	
Wushaoling	Čína	22,05		Provoz	Dva jednokolejné tunely	
Vereina	Švýcarsko	19	1999	Provoz	Jeden jednokolejný tunel, částečně jeden dvoukolejný	Bez únikového východu
CTRL (Londýn)	Anglie	19	2007	Provoz	Dva jednokolejné tunely	Ventilační a únikové šachty ve vzdálenosti max. 3 km
Vaglia	Itálie	18,7	2008	Výstavba	Jeden dvoukolejný tunel	8 km obslužný tunel ve střední části s propojkami po 250 m
Qingling	Čína	18,5	2002	Provoz	Dva jednokolejné tunely	
Ceneri	Švýcarsko	15,4	2018	Příprava	Dva jednokolejné tunely	Únikový východ uprostřed, odbočení v tunelu
Firenzuola	Itálie	15,2	2008	Výstavba	Jeden dvoukolejný tunel	Únikové stoly délky 380 m až 1500 m
Wienerwald	Rakousko	13,35	2012	Výstavba	Dva jednokolejné – 10,75 km Jeden dvoukolejný – 2,37 km	3 nouzové východy a kaverna pro kontrolu kouře se svislou šachtou
Bussoleno	Francie – Itálie	12,5	2020	Příprava	Dva jednokolejné tunely	
Lainzer	Rakousko	10,6	2012	Výstavba	Dva jednokolejné – 2,3 km Jeden dvoukolejný – 8,3 m	Nouzové úniky vzdálené 120 – 599 m
Katzenberg	Německo	9,4	2012		Dva jednokolejné tunely	Ventilační šachty
Zimmerberg	Švýcarsko	9,4	2003	Provoz	Jeden dvoukolejný tunel	
Perthus	Španělsko	8,3		Výstavba	Dva jednokolejné tunely	4 propojky pro vybavení (vzdálenost 1,6 km)
Storebaelt	Dánsko	8		Provoz	Dva jednokolejné tunely	Ventilace pro případ havárie, monitorovací a kontrolní systém
Marseille	Francie	7,8	2001	Provoz	Jeden dvoukolejný tunel	Bez nouzového úniku, bez ventilace
Abdalajis	Španělsko	7,3		Výstavba	Dva jednokolejné tunely	
Groene Hart	Nizozemsko	7,16		Výstavba	Jeden dvoukolejný tunel, koleje odděleny zdí s únikovými dveřmi	3 únikové šachty po 2,3 km

Tab. 1 The longest modern railway tunnels

Tunnel	Location	Length (km)	Commissioning	Status	Arrangement	Safety measures
Gotthard	Switzerland	57	2015	construction	Two single-track tunnels	2 multiple-function stations
Brenner	Austria - Italy	56		planning, surveys	Two single-track tunnels with a parallel escape gallery	3 multiple-function stations with an access to the surface
Seikan	Japan	54	1988	operation	One double-track tunnel with an escape gallery	2 emergency stations, service tunnel connected with the main tunnel every 600 - 1000m (shafts, galleries)
Lyon - Turin	France - Italy	53	2020	planning, surveys	Two single-track tunnels	4 emergency stations with an access to the surface
Eurotunnel	England - France	50	1994	operation	Two single-track tunnels and one service tunnel	2 crossover chambers
Gibraltar	Spain - Morocco	37.7		planning	Two single-track tunnels and one service tunnel in the middle	Parallel service tunnel throughout the length
Lotschberg	Switzerland	34.6	2007	operation	Two single-track tunnels (partially a single-track tunnel and a gallery)	2 stations – one service st. and one escape st.
Koralmbahn	Austria	32.8	2016	planning, surveys	Two single-track tunnels	Emergency station in the middle of the tunnel length, without access to the surface
Guadarrama	Spain	28.4	2007	operation	Two single-track tunnels	500 m long rescue tunnel in the middle; cross passages every 50m, emergency chambers every 2250m
Hakkoda	Japan	26.5	2010	construction	One double-track tunnel	
Iwate-Ichinohe	Japan	25.8	2002	operation	One double-track tunnel	
Pajares	Spain	24.7	2010	construction	Two single-track tunnels	
Iyama	Japan	22.2	2013	construction	One double-track tunnel	
Wushaoling	China	22.05		operation	Two single-track tunnels	
Vereina	Switzerland	19	1999	operation	One single-track tunnel, partially one double-track tunnel	Without escape exit
CTRL (London)	England	19	2007	operation	Two single-track tunnels	Ventilation and escape shafts at max. spacing of 3km
Vaglia	Italy	18.7	2008	construction	One double-track tunnel	8km long service tunnel in the middle part, cross passages every 250m
Qingling	China	18.5	2002	operation	Two single-track tunnels	
Ceneri	Switzerland	15.4	2018	planning	Two single-track tunnels	Escape exit in the middle, branching off in the tunnel
Firenzuola	Italy	15.2	2008	construction	One double-track tunnel	Escape galleries 380m to 1500m long
Wienerwald	Austria	13.35	2012	construction	Two single-track – 10.75km One double-track – 2.37km	3 emergency exits and a smoke control cavern and vertical shaft
Bussoleno	France - Italy	12.5	2020	planning	Two single-track tunnels	
Lainzer	Austria	10.6	2012	construction	Two single-track – 2.3km One double-track – 8.3km	Emergency exits every 120 – 599m
Katzenberg	Germany	9.4	2012		Two single-track tunnels	Ventilation shafts
Zimmerberg	Switzerland	9.4	2003	operation	One double-track tunnel	
Perthus	Spain	8.3		construction	Two single-track tunnels	4 cross passages for equipment (1.6km spacing)
Storebaelt	Denmark	8		operation	Two single-track tunnels	Emergency ventilation, monitoring and control system
Marseille	France	7.8	2001	operation	One double-track tunnel	Without emergency exit, without ventilation
Abdalajis	Spain	7.3		construction	Two single-track tunnels	
Groene Hart	the Netherlands	7.16		construction	One double-track tunnel, tracks separated by a wall with escape doors	3 escape shafts at 2.3km spacing

menší plocha výrubu znamenala bezpečnější ražbu. V současné době vzhledem k vyšším návrhových rychlostem a především díky vyšším požadavkům na bezpečnost je stále častěji upřednostňován koncept dvou jednokolejných tunelů spojených propojkami (tab. 4, obr. 2 a 3). U stávajících tunelů vznikají požadavky dodatečného zhotovení únikových východů (paralelní štoly s propojkami či únikové šachty). Některé tunely jsou dokonce navrhovány jako dva železniční tunely s paralelním obslužným či únikovým tunelem, což je z hlediska bezpečnosti přirozeně nejvýhodnější řešení, na druhou stranu toto řešení znamená nejvyšší cenu.

Ve všech případech evropských tunelů nad 20 km jsou protisměrné tratě umístěny do dvou samostatných tunelů spojených v pravidelných intervalech propojkami. Realizace třetího obslužného či únikového tunelu byla použita pouze u Eurotunelu (50 km) (obr. 4), dále pak je plánována u bazového tunelu Brenner (56 km) (obr. 5). Koncept jednoho dvoukolejného tunelu s délkou přes 20 km je preferován pouze v Japonsku. Nejdelšími provozovanými dvoukolejnými tunely jsou Seikan (54 km) a Iwate – Ichinohe (26 km). V současné době také probíhá v Japonsku stavba dvoukolejných tunelů Hakkoda (26,5 m) a Iyama (22 km). Z pohledu dlouhých tunelů je zcela výjimečný koncept švýcarského tunelu Vereina (19 km), který je na většinu délky jednokolejný a je zcela bez únikových východů. Jedná se však o tunel pro úzkokolejnou soupravu s nízkou návrhovou rychlostí. Nejdelšími dvoukolejnými tunely v Evropě budou italské tunely Vaglia (19 km) a Firenzuola (15 km) na trati Boloña–Florence. Délky všech ostatních dvoukolejných tunelů v Evropě nepřekračují 10 km.

TBM assembly chambers will be excavated. The design will allow the excavation to proceed even in the direction from Beroun. Because of lack of space in the area of the Prague portals, the NATM excavation of the section between the bifurcation chambers and Prague portals is assumed to be carried out through the Chuchle access tunnel. The Tachlovice and Chuchle access adits will be used for geotechnical surveys.

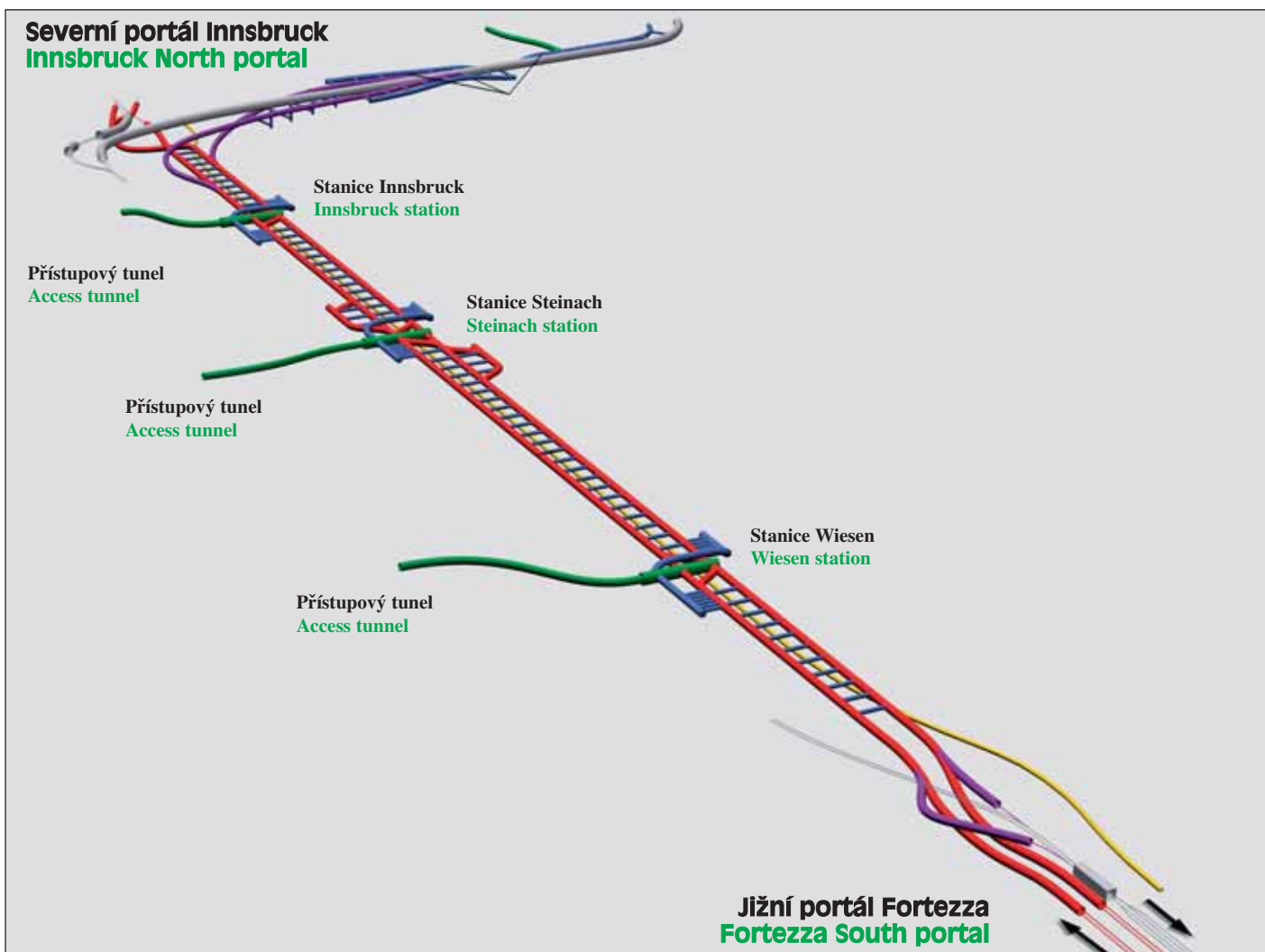
4. SIMILAR RAILWAY TUNNELS IN THE WORLD

The Prague – Beroun tunnel which is being prepared is unique first of all owing to its length, which is unusual in the Czech Republic. The longest Czech transit tunnel which has been built is the 2.1km long Panenská tunnel on the D8 motorway, whereas the longest Czech rail tunnel is currently the 1.8km long, single-track tunnel Březno.

Table 1 presents the world's longest, modern rail tunnels; older tunnels (e.g. the approximately 20km long Simplon tunnels from the beginning of the 20th century) are not shown. It is obvious from the table that the planned Prague – Beroun tunnel belongs among the longest rail tunnels in the world. There are not many longer tunnels worldwide. So far, only 5 tunnels longer than 25km have been opened (Seikan, Eurotunnel and Iwate – Ichinohe, Lotschberg, Guadarrama). Other two tunnels with the length reaching 25km should be finished by 2010 (the Hakkoda and Pajares tunnels), and other three (the Gotthard, Koralmbahn and Iyama) by 2016.

5. CONFIGURATION CONCEPTS OF SIMILAR TUNNELS

In the past, the double-track configuration was mostly designed for railway tunnels on double-track lines; two single-track tunnel tubes were used,



Obr. 5 Brennerský bázový tunel – uspořádání (www.bbt-se.com)
 Fig. 5 The Brenner base tunnel configuration (www.bbt-se.com)

6. PODZEMNÍ STANICE

Bezpečnostní koncept dlouhých železničních tunelů velmi často zahrnuje podzemní stanice. Důvodem je záměr, aby při ohrožení života cestujících v osobních vlacích délka jízdy vlaku do bezpečného místa nepřekračovala 20 km. Bezpečnostní stanice jsou zpravidla vybaveny dostatečnými prostory a adekvátní ventilací, aby v nich cestující mohli počkat na příjezd záchranného vlaku. Zpravidla se jedná o tunely paralelní s traťovými tunely, které jsou v intervalech cca 50 m propojeny s traťovými tunely. Díky nutnosti ventilace stanic jsou tyto stanice zpravidla propojeny s povrchem pomocí přístupových tunelů a šachet.

Gotthardský bázový tunel (57 km) zahrnuje 2 podzemní stanice Sedrun a Faiedo (obr. 2). Lötschberský bázový tunel (34,6 km) zahrnuje jednu podzemní stanici Ferden (obr. 6). Brennerský bázový tunel (56 km) bude mít 3 podzemní stanice (obr. 5), bázový tunel Lyon–Turin (53 km) bude zahrnovat 4 podzemní stanice (obr. 3), tunel Koralm (32,8 km) bude mít jednu stanici s obslužným tunelem uprostřed v polovině délky (obr. 7), obdobně tunel Guadarrama (28 km) bude mít 500 m dlouhou oblast s obslužným tunelem uprostřed asi v polovině délky.

7. PŘEJEZDY MEZI JEDNOKOLEJNÝMI TUNELY A ODBOČENÍ V TUNELU

Přejezdy mezi jednokolejnými tunely byly navrženy na většině velmi dlouhých železničních tunelů. V případě Eurotunelu byly pro přejezdy vybudovány dlouhé dvoukolejné kaverny, v ostatních případech jsou přejezdy řešeny jako šikmé jednokolejné tunely spojující hlavní traťové tunely (např. tunely Gotthard, Lötschberg, Brenner, Pajares, atd.). Přejezdy nebyly navrženy pouze v některých případech (např. na tunelu Koralm).

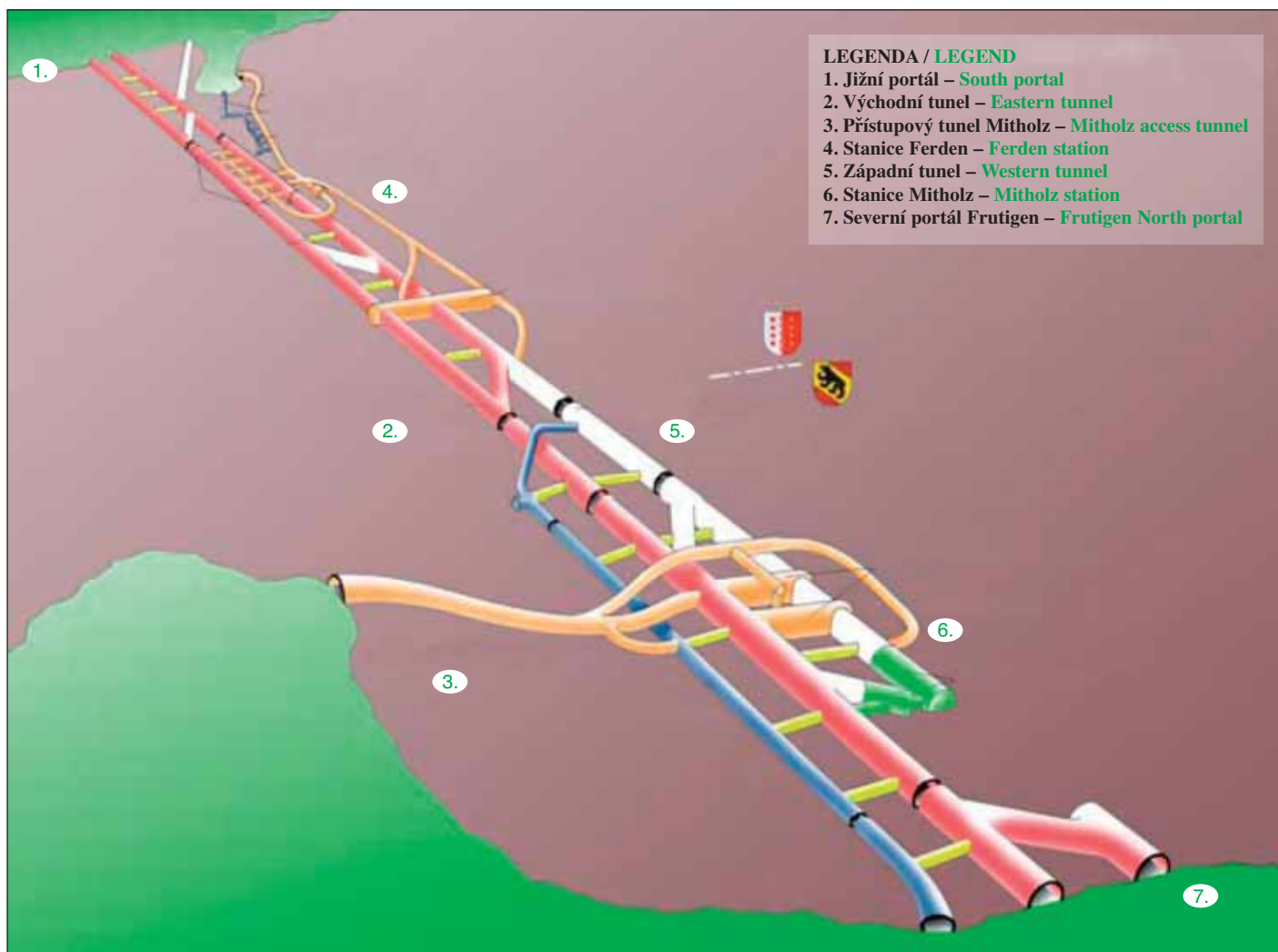
Odbočení trati bývá zpravidla navrhováno mimo tunel, odbočení v tunelu není běžné řešení. Tomuto řešení se však v některých specifických

first of all, in unfavourable geological conditions, where the smaller excavated area meant safer excavation processes. Today, with respect to higher design speeds and, above all, more demanding safety requirements, the configuration with two single-track tunnels connected by means of cross passages (see Table 4, Figures 2 and 3) is more and more often given preference. Existing tunnels have to cope with requirements for provision of additional of escape exits (parallel galleries with cross passages or escape shafts). Even further, some tunnels are designed as two railway tunnels with a parallel service or escape tunnel, which is, of course, the most convenient solution in terms of safety; on the other hand, this solution means the highest cost.

In all of the cases of European tunnels longer than 20km, opposing tracks are placed in two independent tunnel tubes, which are connected at regular intervals by cross passages. The third tunnel for services or escape services was implemented only in the case of the Eurotunnel (50km) (see Fig. 4) and it is planned for the Brenner base tunnel (56km) (see Fig. 5). The concept of a single, double-track tunnel longer than 20km is preferred only in Japan. The longest operating double-track tunnels are the Seikan (54km) and Iwate-Ichinohe (26km). In addition, the construction of the Hakkoda (26.5km) and Iyama (22km) double-track tunnels is currently underway in Japan. The concept of the Swiss tunnel Vereina (19km) is absolutely exceptional in terms of long tunnels. It is a single-track configuration throughout the major part of its length, without any escape exit. Although, this is a tunnel designed for low design speed, narrow-gauge trains. The longest double-track tunnels in Europe will be the Vaglia (19km) and Firenzuola (15km) tunnels in Italy, on the Bologna – Florence rail line. The lengths of all other double-track tunnels in Europe do not exceed 10km.

6. UNDERGROUND STATIONS

The safety concept of long railway tunnels very often incorporates underground stations. The reason is the intention to limit the length of travel of a passenger train to a safe place, in the case of a threat to passengers' life, to 20km. The safety stations are usually equipped with sufficient



LEGENDA / LEGEND

1. Jižní portál – South portal
2. Východní tunel – Eastern tunnel
3. Přístupový tunel Mitholz – Mitholz access tunnel
4. Stanice Ferden – Ferden station
5. Západní tunel – Western tunnel
6. Stanice Mitholz – Mitholz station
7. Severní portál Frutigen – Frutigen North portal

Obr. 6 Lötschberský bázový tunel – uspořádání (www.blsalptransit.ch)
Fig. 6 The Lötschberg base tunnel configuration (www.blsalptransit.ch)

případech není možné vyhnout. Odbočení v tunelu například bude na hloubené části tunelu Wienerwald, dále je plánováno na Brennerském bázovém tunelu a na bázovém tunelu Ceneri. V případě tunelu Praha – Beroun bude nutné důkladně prověřit veškerá rizika odbočení ve vysokorychlostním tunelu a vliv tohoto řešení na provoz.

8. VNITŘNÍ PRŮMĚR JEDNOKOLEJNÝCH TUNELŮ

Vnitřní průměr jednokolejných železničních tunelů se odvíjí od řady faktorů (předpokládané vlakové soupravy, způsobu uchycení trakce, návrhová rychlost, atd.). Díky tomu se tento parametr u různých tunelů značně odlišuje. V tab. 2 jsou uvedeny vnitřní průměry některých dlouhých jednokolejných železničních tunelů.

Tab. 2 Vnitřní průměry dlouhých železničních tunelů

Tunel	Umístění	Délka (km)	Rychlost (km/h)	Uvedení do provozu	Vnitřní průměr (m)
Gotthard	Švýcarsko	57	250	2015	8,30
Eurotunel	Francie–Anglie	50	160	1994	7,60
Lötschberg	Švýcarsko	34,6	250	2007	8,40
Guadarrama	Španělsko	28,4	350	2007	8,50
Pajares	Španělsko	24,7		2010	8,50
CTRL	Velká Británie	19	270	2007	7,15
		(36,8)			
Katzenberg	Německo	9,4	250	2012	9,40
Perthus	Španělsko–Francie	8,3		Výstavba	8,70
Storebaelt	Dánsko	8	160 km/h	Provoz	7,70
Abdalajis	Španělsko	7,3	350 km/h	Výstavba	8,80

spaces and adequate ventilation, enabling passengers to wait for the arrival of a rescue train. The stations have usually the form of tunnels, parallel with the running tunnels, which are connected with the running tunnels by cross passages at about 50m intervals. Thanks to the necessity for the ventilation of the stations, the stations are usually connected with the surface through access tunnels and shafts.

The Gotthard base tunnel (57km) comprises 2 underground stations, i.e. the Sedrun and Faido (see Fig. 2). The Lötschberg base tunnel (34.6km) comprises one underground station, the Ferden station (see Fig. 6). The Brenner base tunnel (56km) will have 3 underground stations (see Fig. 5); the Lyon – Turin base tunnel (53km) will comprise 4 underground stations (see Fig. 3); the Koralm tunnel (32.8km) will have one station with a service tunnel in the middle of its length (see Fig. 7); similarly, the Guadarrama tunnel (32.8km) will have a 500m long area with a service tunnel, roughly in the middle of the tunnel length.

7. CROSSOVER CONNECTIONS AND TRACK BIFURCATIONS IN TUNNEL

Crossover connections between two single-track tunnels were designed for the majority of long rail tunnels. Long, double-track crossover chambers were built in the case of the Eurotunnel; in the other cases, the switching is solved through single-track tunnels running at an angle and connecting the main running tunnels (e.g. the Gotthard, Lötschberg, Brenner, Pajares and other tunnels). The cases where no crossovers were designed are infrequent (e.g. the Koralm tunnel).

Bifurcation of the track is usually designed to be outside the tunnel; the track bifurcation inside the tunnel is not a common configuration. This configuration, however, is impossible to avoid in some specific cases. The track bifurcation inside a tunnel configuration will be used, for example, within the cut and cover section of the Wienerwald tunnel; further it is planned for the Brenner base tunnel and the Ceneri base tunnel. As far as the Prague – Beroun tunnel is concerned, all hazards associated with the branching off from a high-speed railway tunnel and the influence of this solution on the operation will have to be examined.

Z uvedených vnitřních profilů jsou nejmenší britské – Channel Tunnel Rail Link (CTRL) – 7,15 m a Channel Tunnel (Eurotunnel) – 7,6 m. Oba tunely jsou na jedné železniční trati mezi Londýnem a Paříží. Důvodem minimalizace profilů byla snaha o minimalizaci výsledné ceny.

Eurotunnel slouží jak pro běžné vlaky UIC (International Union of Railways), tak i pro objemnější nákladní vlaky. CTRL slouží pouze pro vlaky UIC, proto bylo možné dosáhnout ještě menšího profilu než u Eurotunelu.

Eurotunnel byl navržen s vysokým poměrem příčného řezu vlaku ku příčnému řezu tunelu (tzv. blockage ratio). V případě vlaků UIC je to 25 %, v případě nákladních vlaků je to dokonce 50 %. Přirozeně tento vyšší poměr přináší vyšší odpor vzduchu během jízdy vlaku, proto byly v Eurotunelu navrženy kanály pro uvolnění tlaku vzduchu. Kanály spojují železniční tunely (nad obslužným tunelem) a jejich rozestup je 250 m. Tímto způsobem je tlak vzduchu naakumulovaný před lokomotivou převeden do míst s nižším tlakem. Přirozeně veškeré vybavení tunelu bylo nutné přizpůsobit minimálnímu prostoru.

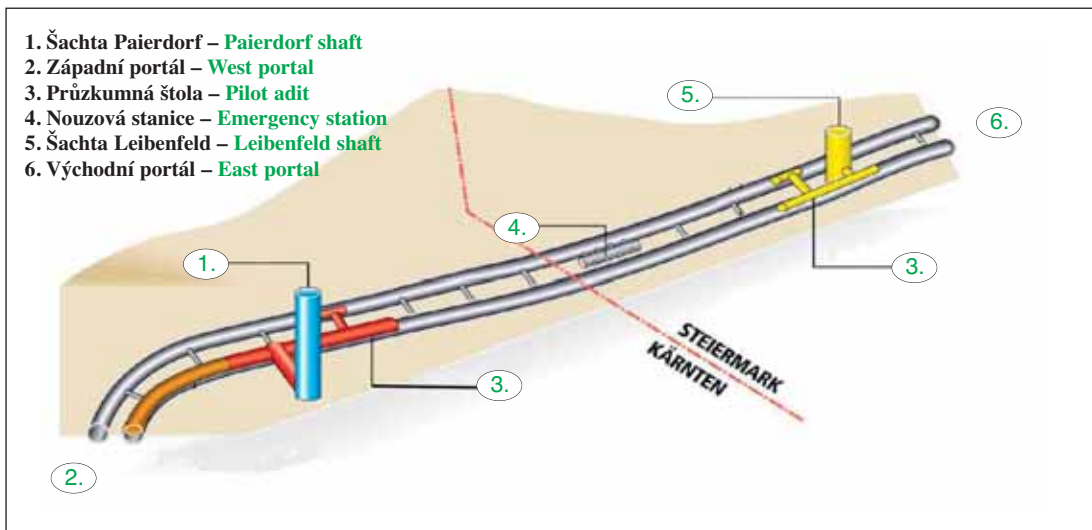
U švýcarských básových tunelů (Lötschberg, Gotthard) se podařilo velikost vnitřního profilu redukovat na 8,3 m. Obdobně jako u britských tunelů si daná redukce vyžádala řadu nestandardních opatření. Nestandardní uchycení trakce muselo být vzhledem k vysoké návrhové rychlosti posuzováno na dynamické zatížení tlakem vzduchu.

Největší profil má z uvedených příkladů tunel Katzenberg v Německu, jehož profil je 9,4 m. Důvodem většího profilu u tohoto tunelu byla obava projektantů z možných průsaků vody skrz segmentové ostění, proto byla ponechána možnost dodatečné realizace vnitřního ostění.

9. UMÍSTĚNÍ PROPOJEK A NOUZOVÝCH ÚNIKŮ

U dlouhých železničních tunelů se považuje za nutné, aby cestující v případě mimořádných událostí měli možnost úniku do bezpečného prostoru. Proto závisí bezpečný únik především na délce únikové cesty k tunelové propojce či k východu z tunelu (portály, únikové tunely či šachty). Tunelové propojky jsou standardním zajištěním úniku v případě dvou jednokolejných tunelů. Vhodná volba jejich vzdálenosti je z hlediska bezpečnosti zcela zásadní. Volba vzdálenosti propojek závisí na mnoha faktorech (požadavky hasičských záchranných sborů, předpokládané scénáře mimořádných událostí, velikost tunelu, vlastnosti materiálu v tunelu a ve vlakových soupravách, atd.). Proto se vzdálenosti propojek na různých projektech značně liší.

Shrnutí vzdáleností propojek či únikových východů je provedeno v tab. 3. Obecně se vzdálenost propojek v případě dvou jednokolejných tunelů pohybuje mezi 250 m (Guadarrama, Great Belt) a 500 m (Koralalm (obr. 7), Katzenberg, Wienerwald (obr. 8)), na tunelech Channel Tunnel Rail Link (CTRL) byla dokonce původně plánovaná vzdálenost 350 m zvýšena na 750 m. V případě jednoho dvoukolejného tunelu je délka únikových cest v některých případech ještě výrazně vyšší. Tunely Vereina (19 km) a Marseille (7,8 km) nemají žádné únikové cesty, délka únikových cest na v současné době realizovaných italských tunelech Firenzuola a Vaglia bude přesahovat 4 km.



Obr. 7 Tunel Koralm – uspořádání (www.ita-aites.org)

Fig. 7 The Koralm tunnel configuration (www.ita-aites.org)

8. INTERNAL DIAMETER OF SINGLE-TRACK TUNNELS

The inner diameter of single-track tunnels depends on many factors (the anticipated trains, the system of fixation of the contact line, design speed etc.). Owing to this fact, this parameter significantly varies for various tunnels. Table 2 presents inner diameters of some long single-track tunnels.

Tab.2 Internal diameters of long rail tunnels

Tunnel	Location	Length	Speed	Commissioning	Internal diameter
Gotthard	Switzerland	57km	250kph	2015	8.30m
Eurotunnel	France - England	50km	160 kph	1994	7.60m
Lötschberg	Switzerland	34.6km	250 kph	2007	8.40m
Guadarrama	Spain	28.4 km	350 kph	2007	8.50m
Pajares	Spain	24.7km		2010	8.50m
CTRL	UK	19km (36.8 km)	270 kph	2007	7.15m
Katzenberg	Germany	9.4 km	250 kph	2012	9.40 m
Perthus	Spain - France	8.3 km		Construction	8.70m
Storebaelt	Denmark	8km	160 kph	Operation	7.70m
Abdalajis	Spain	7.3 km	350 kph	Construction	8.80m

The smallest of the above-mentioned inner diameters have the British tunnels –Channel Tunnel Rail Link (CTRL) – 7.15m and Channel Tunnel (Eurotunnel) – 7.6m. Both tunnels are on one rail line between London and Paris. The reason for the minimisation of the profiles was an effort for the minimisation of the resultant cost.

The Eurotunnel is used by both common UIC (International Union of Railways) trains and higher capacity freight trains. The CTRL is designed only for UIC trains, which is the reason why even a smaller profile could be achieved than that of the Eurotel.

The ratio of the train cross-sectional area to the tunnel cross-sectional area (the so-called blockage ratio) which was designed for the Eurotunnel is high. The ratio for the UIC trains is 25%, whereas the ratio for freight trains is even 50%. Naturally, the higher ratio means higher resistance of air during the train travel. For that reason, pressure-relieving ducts were designed for the Eurotunnel. The ducts connecting the rail tunnels (running over the service tunnel) are installed at 250m spacing. This system allows the air which accumulates in front of the locomotive to be diverted to locations where the pressure is lower. Of course, all tunnel equipment had to be accommodated to the minimum space.

The dimensions of the inner profiles of the Swiss base tunnels Lötschberg and Gotthard were successfully reduced to 8.3m. Similarly to British tunnels, the reduction required many non-standard measures. Because of the high design speed, non-standard fixation of the contact line had to be designed to withstand the dynamical air pressure load.

Of the above-mentioned examples, the Katzenberg tunnel in Germany has the largest profile, 9.4m diameter. The reason for the larger profile of this tunnel was the fact that the designers feared possible seepage through the segmental lining. This design allowed the additional installation of an inner lining in the future.

9. LOCATION OF CROSS PASSAGES AND EMERGENCY EXITS

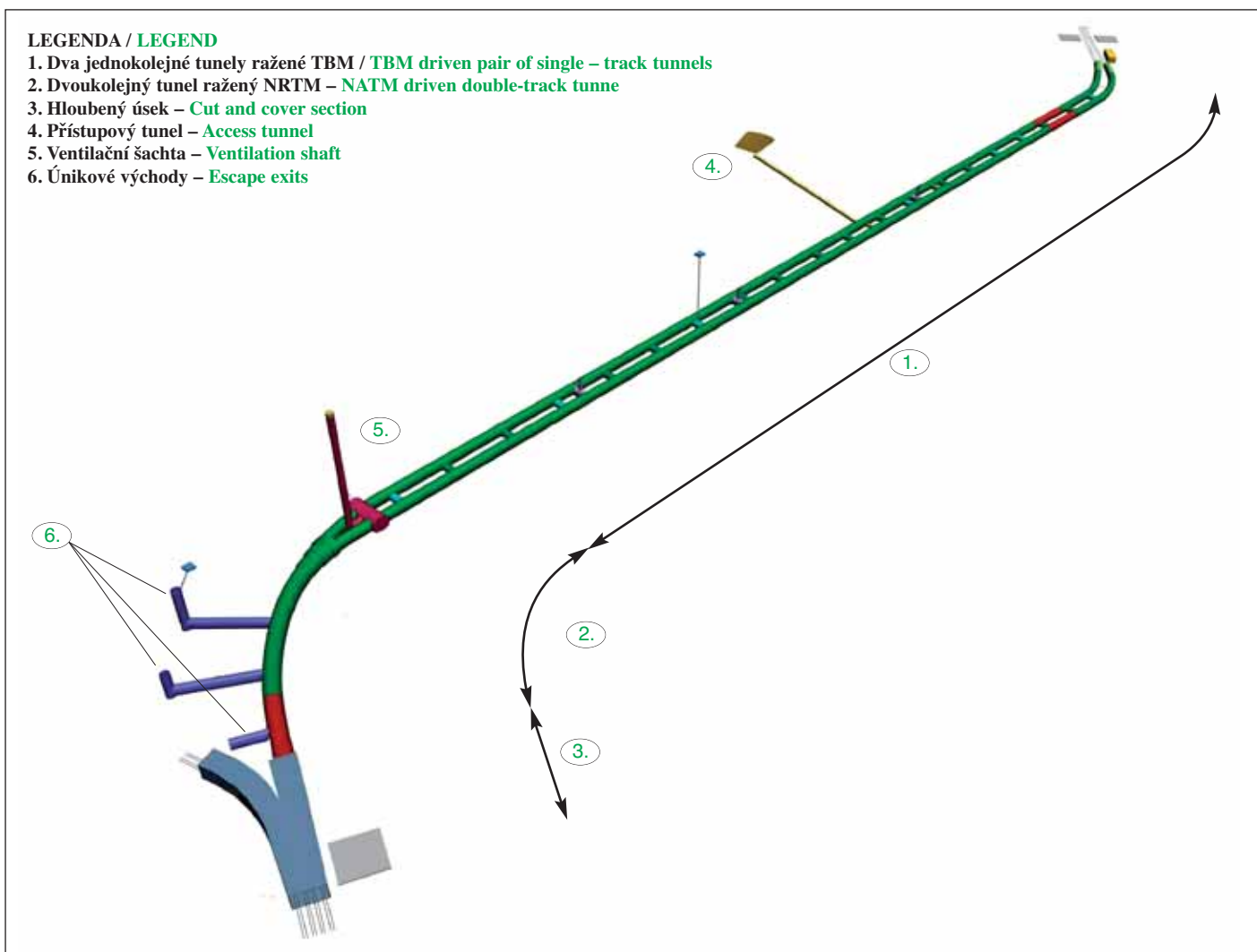
It is considered necessary that a long rail tunnel must give passengers the opportunity to escape to a safe space in the case of an emergency. The safe escape therefore depends, first of all, on the length of the escape route to a cross passage or a tunnel exit (portals, escape tunnels or shafts). Tunnel cross passages are a standard means of securing safety in the case of a twin-tube tunnel. The proper choice of the spacing of the cross passages is therefore of utmost importance. The choice of the spacing of cross passages depends on

Tab. 3 Vzdálenost propojek a únikových východů

Tunel	Délka (km)	Uvedení do provozu	Uspořádání	Vzdálenost propojek (únikových východů) (m)
Groene Hart	7,16		Jeden dvoukolejný tunel s přepážkou	Dveře po 150 m
Perthus	8,3		Dva jednokolejné tunely	200
Storebaelt	8		Dva jednokolejné tunely	250
Guadarrama Ceneri Base	28,4	2007	Dva jednokolejné tunely	250
Tunnel (CBT)	15,4	2018	Dva jednokolejné tunely	320
Gotthard	57	2015	Dva jednokolejné tunely	325
Lötschberg	34,6	2007	Dva jednokolejné tunely (částečně jeden jednokolejný a štola)	333
Brenner Base Tunnel (BBT)	56		Dva jednokolejné tunely	333
Abdalajis	7,3		Dva jednokolejné tunely	350
Eurotunel	50	1994	Dva jednokolejné tunely a jeden obslužný tunel	375
Lyon - Turín	53	2015	Dva jednokolejné tunely	400
Bussoleno	12,5	2015	Dva jednokolejné tunely	400
Koralm	32,8	2016	Dva jednokolejné tunely	500
Katzenberg	9,4	2012	Dva jednokolejné tunely	500
Wienerwald	13,35	2012	Dva jednokolejné 10,75 km Jeden dvoukolejný 2,37 km	500 3 ks
Seikan	54	1988	Jeden dvoukolejný tunel	600–1000
CTRL (Londýnské tunely)	19	2007	Dva jednokolejné tunely	750 (původně plánováno 350)
Lainzer	10,6	2012	Dva jednokolejné 2,3 km Jeden dvoukolejný 8,3 km	Vzdálenost únikových východů 120–599
Vaglia	18,7	2008	Dvoukolejný	Vzdálenost únikových východů až 4500
Firenzuola	15,2	2008	Dvoukolejný	Vzdálenost únikových východů až 5000
Marseille	7,8	2001	Dvoukolejný	Bez únikových východů
Vereina	19	1999	Jeden jednokolejný (6 km dvoukolejný)	Bez únikových východů

Tab.3 Spacing of cross passages and escape exits

Tunnel	Length (km)	Commissioning	Configuration	Spacing of cross passages / escape exits [m]
Groene Hart	7.16		One double-track tunnel with a dividing wall	Doors - 150
Perthus	8.3		Two single-track tunnels	200
Storebaelt	8		Two single-track tunnels	250
Guadarrama	28.4	2007	Two single-track tunnels	250
Ceneri Base Tunnel (CBT)	15.4	2018	Two single-track tunnels	320
Gotthard	57	2015	Two single-track tunnels	325
Lötschberg	34.6	2007	Two single-track tunnels (partly one single-track plus a gallery)	333
Brenner Base Tunnel (BBT)	56		Two single-track tunnels	333
Abdalajis	7.3		Two single-track tunnels	350
Eurotunel	50	1994	Two single-track tunnels plus one service tunnel	375
Lyon - Turin	53	2015	Two single-track tunnels	400
Bussoleno	12.5	2015	Two single-track tunnels	400
Koralm	32.8	2016	Two single-track tunnels	500
Katzenberg	9.4	2012	Two single-track tunnels	500
Wienerwald	13.35	2012	Two single tracks 10.75km One double-track 2.37km	500 3 exits
Seikan	54	1988	One double-track tunnel	600 - 1000
CTRL (London tunnels)	19	2007	Two single-track tunnels	750 (original plan: 350)
Lainzer	10.6	2012	Two single tracks 2.3km One double-track 8.3km	Spacing of escape exits: 120 - 599
Vaglia	18.7	2008	One double-track	Spacing of escape exits: up to 4500
Firenzuola	15.2	2008	One double-track	Spacing of escape exits: up to 5000
Marseille	7.8	2001	One double-track	Without escape exits
Vereina	19	1999	One single-track (6km double-track)	Without escape exits



Obr. 8 Tunel Wienerwald – uspořádání (Kohler 2007)

Fig. 8 The Wienerwald tunnel configuration (Kohler 2007)

10. VÝSTAVBA TUNELŮ V KRASOVÝCH OBLASTECH

Rizika krasových oblastí pro podzemní díla jsou známá. Pohybují se od nestabilních vápencových svahů a lokálních depresí až k obrovským podzemním rezervoárům. Tunely ražené v krasových oblastech často zastihují dutiny. Rozměrné podzemní dutiny mohou zastavit postup ražeb i na mnoho měsíců. Například v případě NRTM ražby železničního tunelu Irlahull délky 7,3 km v Německu došlo ve staničení 300–400 m od jižního portálu k velmi výrazným stabilitním problémům ostění, kvůli čemuž bylo nutné ražbu přerušit na 1,5 roku. Prodlevy vzniklé především kvůli zastiženým krasovým jevům (obr. 9) prodloužily

many factors (requirements of fire brigades, anticipated scenarios of emergencies, tunnel dimensions, properties of materials used in the tunnel and trains etc.). This is the reason why the spacing of cross passages significantly varies for different projects.

The overview of the spacing of cross passages or escape exits is presented in Table 3. In general, the spacing of cross passages in the cases of a pair of single-track tunnels varies between 250m (Guadarrama, Great Belt) and 500 m (Koralalm (see Fig.7), Katzenberg, Wienerwald (see Fig. 8); the planned spacing of 350m in the Channel Tunnel Rail Link (CTRL) was even increased to 750m. In the case of a double-track tunnel, the length of escape routes is in some cases even much greater.

Tab. 4 Projekty tunelů v krasových oblastech

Tab. 4 Tunnel construction projects in karst areas

Tunel / Tunnel	Země / Country	Účel / Purpose	Délka / Length (km)	Profil / Profile (m)	Metoda ražby / Excavation method	Stav / State
SMART	Malajsie / Malaysia	silniční, voda / road, water	9,7	13,2	bentonitové TBM / slurry TBM	provoz / operation
Monte Zucco	Itálie / Italy	železniční / railway	2,7	8	EPB TBM / EPB TBM	provoz / operation
Yellow River Diversion (Lot 3)	Čína / China	vodovodní / water	41	4,9	hardrock TBM / hardrock TBM	provoz / operation
Tuzla	Turecko / Turkey	vodovodní / water	6,5	5	NRTM (4,9 km) / NATM (4,9km)	provoz / operation
Xiaotang–Gantang	Čína / China	silniční / road	2 x 7	12	TBM (1,6 km) / TBM (1,6 km)	provoz / operation
Irlahull	Německo / Germany	železniční / railway	7,3	9,5	NRTM / NATM	provoz / operation
Sv. Rok	Chorvatsko / Croatia	silniční / road	5,8	12	NRTM / NATM	provoz / operation
Kastalec	Slovinsko / Slovenia	silniční / road	2,2	12	NRTM / NATM	provoz / operation
Katzenberg	Německo / Germany	železniční / railway	2 x 9,4	11,1	EPB TBM / EPB TBM	výstavba / construction
Lučica	Slovinsko / Slovenia	silniční / road	2 x 0,6	12	NRTM / NATM	výstavba / construction
Tuhobič	Chorvatsko / Croatia	silniční / road	2 x 2,1	10,9	NRTM / NATM	výstavba / construction
Qiyueshan	Čína / China	železniční / railway	10	?	?	příprava / planning
Benátky–Terst	Itálie / Italy	železniční / railway	27	?	?	příprava / planning



Obr. 9 Krasové jevy zastížené při ražbě tunelu Irlahull (ILF Consulting Engineers s. r. o.)

Fig. 9 The karst phenomena encountered during the course of the Irlahull tunnel excavation (ILF Consulting Engineers s.r.o.)

celkově realizaci projektu o 27 měsíců. Během ražby 88 km tunelů vodohospodářského projektu Wan Jia Zhai Yellow River Diversion v Číně byly zastíženy velmi rozměrné podzemní dutiny, které zastavily postup tunelovacích strojů TBM také v několika případech na několik měsíců a mnoho menších dutin také velmi značně zpozdilo ražby.

Z hlediska volby metody ražby je přirozeně konvenční tunelování pomocí NRTM podstatně flexibilnější, což je zpravidla výhodou při ražbě v heterogenním prostředí (relativně tvrdý vápenec, dutiny, měkká výplň dutin, atd.). Průzkum prostoru před čelbou pomocí vrtů lze při NRTM provést podstatně důkladněji v porovnání s TBM, poloha a směr jednotlivých vrtů nejsou příliš omezeny, lze vrtat kompletní vějíř od stropu tunelu až po spodní klenbu. Při využití TBM jsou možnosti vrtů omezené. TBM sestavené pro ražbu v krasu by mělo umožňovat realizaci vrtů po celém obvodu stroje. TBM by mělo být vybaveno zařízením umožňujícím geofyzikální průzkum prostoru před čelbou, které by pomohlo identifikovat dutiny s předstihem. Pro ilustraci jsou v tab. 4 uvedeny některé projekty tunelů v krasových oblastech s uvedením metody ražby.

11. ZÁVĚR

Připravovaný tunel Praha–Beroun svými parametry, tj. způsobem a dobou výstavby, délkou a cenou přesahuje všechny zatím realizované dopravní stavby v ČR. Svou jedinečností znamená velkou výzvu pro české tunelářské stavitelství a zároveň také příležitost posunout v následujícím desetiletí tento obor v ČR na úroveň umožňující podílet se na obdobných budoucích stavbách v Evropě i ve světě. Maximální pozornost a úsilí věnované přípravě projektu je podmínkou předpokládaného urychleného zahájení výstavby. Průběh vlastní výstavby bude odpovídat rozsahu a kvalitě přípravy a kontroly provádění. Zkušenosti z obdobných evropských projektů nám přitom mohou být velmi cenným podkladem.

ING. MATOUŠ HILAR, MSc., Ph.D., CEng., MICE.,
hilar@d2-consult.cz, ING. MARTIN SRB; srb@d2-consult.cz;
D2 CONSULT PRAGUE s. r. o.

Recenzoval: Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.

The Vereina tunnel (19km) and Marseille tunnel (7.8km) have no exit routes; the length of escape routes in the Firenzuola and Vaglia tunnels, which are currently under construction, will exceed 4km.

10. TUNNEL CONSTRUCTION IN KARST AREAS

Hazards to underground workings in karst areas are known. They range from instable limestone slopes and local depressions to extensive underground reservoirs. Tunnel excavation passing through karst regions frequently encounters cavities. Big underground caverns are able to cause the suspension of the progress of excavation even for many months. For example, the NATM excavation of the 7.3km long Irlahull railway tunnel in Germany encountered serious problems of the lining stability at a distance of 300 – 400m from the southern portal, which caused the suspension of excavation for 1.5 years. The delays which were caused, above all, by the encountering of karst phenomena (see Fig. 9) extended the total construction time by 27 months. Very large underground cavities which were encountered during the TBM driving of the Wan Jia Zhai Yellow River Diversion tunnel in China suspended the progress of the TBMs in several cases even for several months; numerous smaller cavities also caused significant delays of the excavation.

Naturally, in terms of the selection of the excavation method, the traditional NATM tunnelling is substantially more flexible, which is usually advantageous during the excavation through a heterogeneous environment (relatively hard limestone, cavities, soft fill of cavities etc.). The probe drilling ahead of the excavation face can be carried out much more thoroughly when the NATM is used compared to the TBM use; positions and directions of individual boreholes are not too much restricted, complete arrays of boreholes can be drilled from the crown to the invert. When TBMs are used, the possibilities are limited. A TBM which is designed for the excavation through karst should allow the drilling around the complete circumference of the machine. The TBM should be provided with such equipment which allows a geophysical survey ahead of the face, which would be helpful in the detection of cavities in advance. For purposes of illustration, Table 4 presents some tunnelling projects which were implemented in karst areas, together with the particular excavation methods.

11. CONCLUSION

Currently planned the Prague – Beroun tunnel exceeds all transport-related tunnels constructed in the Czech Republic in terms of its parameters (i.e. construction method, construction period, length and cost). Owing to its uniqueness, it poses a great challenge for the Czech tunnel engineering, but at the same time, it offers an opportunity to raise this industry in the Czech Republic during the next decade to the level which will allow a participation in similar projects in Europe and worldwide. Maximisation of the attention and efforts put into the project planning is a condition for the anticipated expeditious commencement of the construction. The course of the construction itself will correspond to the extent and quality of planning processes and control over the execution of the works. The know-how gained from similar European projects can become valuable help in this process.

ING. MATOUŠ HILAR, MSc., Ph.D., CEng., MICE.,
hilar@d2-consult.cz, ING. MARTIN SRB; srb@d2-consult.cz;
D2 CONSULT PRAGUE s.r.o.

LITERATURA / REFERENCES

- Barták, J.–Gramblička, M.–Růžička, J.–Smolík, J.–Sochůrek, J.–Šourek, P (2007): Podzemní stavitelství v České republice. Satra Praha.
Bopp, R (2001): The distance of cross passages in twin bore railway tunnels. 4th International Conference on Safety in Road and Railway Tunnels, Madrid, Spain.
Čížek, F. (2007): Aktuální stav přípravy a realizace III. TŽK. Železnice 2007.
Kohler, H. (2007): Wienerwaldtunnel—a challenging tunneling project. Proceedings of the WTC 2007 in Prague.
Kovari, K.–Descoeuras, F. (2001): Tunnelling Switzerland. Swiss Tunnelling Society. Bertelsmann Fachzeitschriften GmbH.
Krása, D.–Růžička, J.–Hasík, O. (2007): Prague–Beroun, New Railway Connection. Proceedings of the WTC 2007 in Prague.
Mára, J.–Růžička, J. (2006): Modernizace železniční tratě Praha–Beroun. Tunel 1/2006.
Pöttler, R.–Thum, F.–Jöbstl W. (2007): Driving of shallow tunnel in uncertain geological boundary conditions—a case history. Proceedings of the WTC 2007 in Prague.
SUDOP Praha a. s. (2007): Praha–Beroun, nové železniční spojení. Přípravná dokumentace.