

TUNEL CHOTÝČANY – VARIANTY TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ A ZPŮSOBU RAŽBY NEJDELŠÍHO ŽELEZNIČNÍHO TUNELU NA IV. KORIDORU

CHOTÝČANY TUNNEL – VARIANTS OF THE TECHNICAL SOLUTION AND OF THE TECHNIQUE OF DRIVING THE LONGEST RAILWAY TUNNEL ON CORRIDOR IV

PETR LAPIŠ, LIBOR MAŘÍK

ÚVOD

Význam tranzitních železničních koridorů pro začlenění naší republiky do evropské dopravní infrastruktury je dnes již každému zřejmý a není třeba jej zvláště zdůrazňovat. I když reliéf území v našich podmínkách nelze srovnávat s alpskými zeměmi, pro zajištění požadovaných parametrů tratě, které ovlivňují jak rychlost, tak energetickou náročnost železniční dopravy, je výstavba tunelů nezbytná. Čtvrtý železniční koridor tvoří spolu se severní větví prvního koridoru severo-jížní dopravní osu a umožňuje propojit přes naše území Německo s Rakouskem. Na jedné trase se tak ocitnou tak významná města, jako jsou Berlín, Drážďany, Praha, České Budějovice a Linz. Po kompletním dokončení koridoru nabídne železnice velmi atraktivní ekologický a v porovnání se silniční dopravou i výrazně bezpečnější způsob osobní i nákladní dopravy. Podle usnesení vlády ČR č. 885/2005 ze dne 13. 7. 2005 je termín dokončení modernizace IV. tranzitního železničního koridoru stanoven na konec roku 2016. Trasa z Prahy na státní hranici ČR/SRN v celkové délce 187,3 km je rozdělena do 12 traťových úseků, které jsou postupně modernizovány. V současné době je již 92 km uvedeno do provozu a na traťovém úseku Votice – Benešov u Prahy délky 18,4 km právě probíhá výstavba 5 tunelů v celkové délce 2678 m. K technicky i ekonomicky nejnáročnějšímu patří traťový úsek č. 4203 Nemanice – Ševětín, na kterém se nacházejí dva dlouhé tunely Hosínský (3120 m) a Chotýčanský (4810 m). Právě technické řešení delšího z obou tunelů, který je zároveň nejdelším projektovaným tunelem na IV. tranzitním koridoru, je předmětem tohoto článku.

GEOTECHNICKÉ POMĚRY V TRASE TUNELU

Zájmové území leží na rozhraní třeboňské a českobudějovické kotliny. Obě kotliny jsou charakteristické svým plochým pánevním reliéfem s nevýraznými elevacemi a terénními depresiemi a od sebe je odděluje výrazná morfologická linie hřbetu krystalinických hornin označovaná jako Lišovský práh. Současnou modelaci značně ovlivnila složitá zlomová tektonika a dále sedimentace kvartérních, eolickodeluviálních, deluviálních a fluviálních sedimentů. Dnešní reliéf je výsledkem selektivní eroze a denudace. Povrch terénu se generálně svažuje asi v první třetině směrem k západu až severozápadu směrem k údolí Vltavy. Zbývající část území má generelní sklon terénu směrem k jihovýchodu až východu, směrem k řece Lužnici.

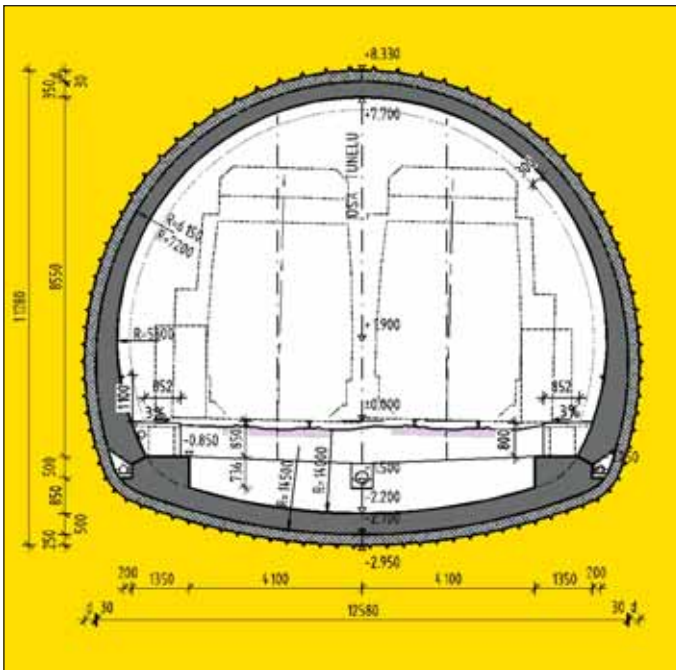
Tunel Chotýčany se nachází pod plochým pánevním reliéfem s nevýraznými elevacemi východně od obce Dobřejovice. Trasa tunelu prochází metamorfovanými horninami moldanubika (jemnozrnnými až středně zrnitými pararulami místy

INTRODUCTION

The importance of railway corridors for the incorporation of our republic into the European transport infrastructure is today clear to everybody and does not need special emphasising. Even though the relief of our country in our conditions cannot be compared with Alpine countries, constructing tunnels is necessary for achieving of required parameters of the alignment affecting both the speed and the energy demands of railway transport. Railway Corridor IV, together with the northern branch of the first corridor, forms the north-southern transport axis, making the connection between Germany and Austria possible. There will be such important cities along one route as Berlin, Dresden, Prague, České Budějovice and Linz are. When the corridor is completely finished, the railway will offer very attractive environmentally friendly solution for personal and freight transport, which will be at the same time significantly safer in comparison with road transport. According to the Decree of the Czech government No. 885/2005 dated 13 July 2005, the completion date for the modernisation of the Railway Transit Corridor IV is set for the end of 2016. The 187.3 km long route from Prague to the border between the CR and the FRG is divided into 12 track sections, which are being gradually modernised. At the moment, 92 km have been brought into service and, on the 18.4 km long track section between Votice and Benešov u Prahy, there are currently 5 tunnels under construction at the aggregate length of 2,678 m. One of the technically and economically most demanding sections is the track section No. 4203 between Nemanice and Ševětín, containing two long tunnels: the Hosín tunnel (3,120 m) and Chotýčany tunnel (4,810 m). This paper deals with the technical solution for the longer of the two tunnels, which is, at the same time, the longest tunnels designed for the Transit Corridor IV.

GEOTECHNICAL CONDITIONS ALONG THE TUNNEL ROUTE

The area of operations is located at the border between the Třeboň Basin and České Budějovice Basin. Both basins are typified by their flat basin relief with indistinct elevations and terrain depressions. They are separated by a marked morphological line formed by the crest of crystalline rocks referred to as the Lišov Threshold. The current modelling was significantly affected by complex fault tectonics and the sedimentation of Quaternary, aeolian-deluvial, deluvial and fluvial sediments. Today's relief is the result of selective erosion and denudation. The terrain surface generally descends, in the approximately first third, toward the west to north-west, in the direction of the Vltava River valley. The terrain in the remaining part of the area



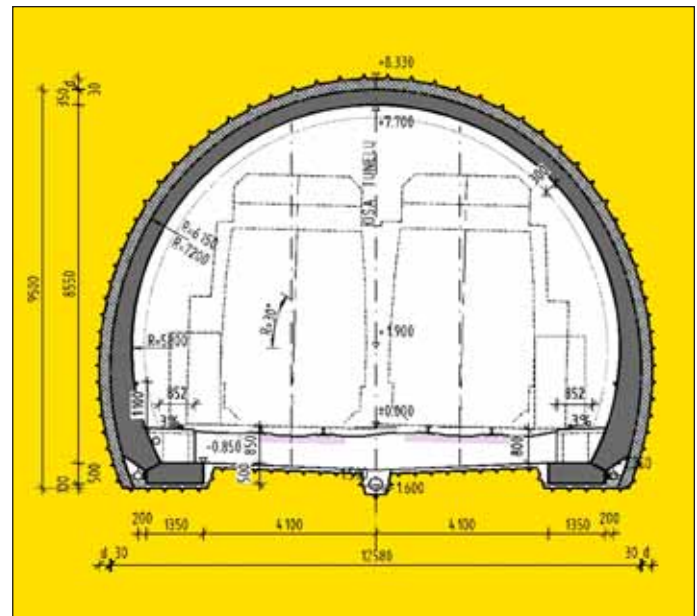
Obr. 1 Vzorový příčný řez dvokolejným tunelem se spodní klenbou
Fig. 1 Typical cross-section through a double-track tunnel with an inverted arch

lokálně zbrídlitelnými), hlubinnými vyvěřelými horninami ševětínského granodioritu a při výjezdovém portálu mohou být v hloubené části tunelu zastíženy i silně zvodnělé jílovitopísčité a písčitojílovité sedimenty svrchní křídly a horniny klikovského souvrství. V oblasti vjezdového portálu je možno očekávat sedimenty, resp. poloskalní horniny mydlovarského souvrství (max. 3 m mocné písčité jíly až slabě stmelené písčité jílovce až jílovité pískovce). Tunel prochází severně nad obcí Chotýčany a končí jihovýchodně od obce Vitín. Výška nadloží nad TK se pohybuje od 15 do 77 m. Povrch území je v současnosti zemědělsky využíván a na části území jsou lesní porosty a louky.

VEDENÍ TRASY A VAZBA NA OBJEKTY V NADLOŽÍ

Traťový úsek Nemanice – Ševětín na severu navazuje na stavbu 4204/I Ševětín – Horusice a na jihu na stavbu 4202 České Budějovice – Nemanice. Trať je navrhována jako dvokolejná s osovou vzdáleností 4 m a traťovou rychlostí 130 km/h až 160 km/h. Směrové i výškové vedení trasy umožňuje v budoucnu v některých úsecích případné zvýšení rychlosti až na 200 km/h., což je na koridorových stavbách spíše nadstandardní řešení 200 km/h.

Zvláštní konstrukční řešení vyžaduje úsek v prostoru severního portálu v místě mimoúrovňového křížení tratě s dálnicí D3 v úseku Ševětín – Borek, který bude pravděpodobně realizován dříve než železniční trať. Po dohodě se zástupci ŘSD ČR bude vybudován v předstihu před výstavbou železnice společně s plánovaným rozšířením dálnice speciální objekt, který umožní podchod železnice v místě rozšíření dálnice bez přerušení provozu. Půjde o speciální mostní konstrukci skrytou do násypového dálničního tělesa. Pod stávající provozovanou dálnicí však vzhledem k výškovému řešení obou tras v místě křížení nebude možné tunelem podejít bez přerušení provozu. Dálnici bude nutné při výstavbě tunelu svěst na již podchytené těleso a po výstavbě a zasypaní tunelu opět převést do původní stopy. Za křížením s dálnicí je tunel dále navržen v otevřené stavební jámě, neboť výška nadloží nedovoluje tunel razit.



Obr. 2 Vzorový příčný řez dvokolejným tunelem bez spodní klenby
Fig. 2 Typical cross-section through a double-track tunnel without an inverted arch

generally descends in the south-eastern to eastern direction toward the Lužnice River.

The Chotýčany tunnel is located east of the village of Dobřejšovice, under the flat basin relief with insignificant elevations. The tunnel route passes through Moldanubic metamorphic rocks (fine grained up to medium grained paragneiss, locally affected by schistosity), the Ševětín igneous granodiorite and, at the exit portal, in the cut-and-cover tunnel section, even heavily water-bearing Upper-Cretaceous clayey-sandy and sandy-clayey sediments and the Klikov Formation will be encountered. In the entrance portal area, it is possible to expect sediments or semi-rock ground of the Mydlovary Formation (sandy clay up to weakly cemented sandy clay up to clayey sandstone layers maximum 3 m thick). The tunnel runs north of the village of Chotýčany and ends south-east of the village of Vitín. The height of the overburden above the top of rail ranges from 15 m to 77 m. The terrain surface has been exploited for farming and a part of the area is covered by woods and meadows.

TRACK ALIGNMENT; RELATIONSHIP TO STRUCTURES ABOVE THE TUNNEL

The Nemanice – Ševětín track section links the Ševětín – Horusice section, construction lot No. 4204/I, in the north and the České Budějovice – Nemanice section, construction lot No. 4202, in the south. The route is proposed to have two tracks, with the distance between track centres of 4 m and the speed limit over the track of 130 km/h up to 160 km/h. The horizontal alignment and vertical alignment allow the speed to be increased up to 200 km/h in some sections, which solution is rather above-standard on some Corridor stretches.

The section in the area of the northern portal in the location of the grade-separated intersection of the rail line with the D3 motorway in the Ševětín – Borek section, which probably will be constructed earlier than the railway track, requires a special structural solution. According to the agreement concluded with representatives of the Road and motorway directorate of the Czech Republic, a special structure allowing the passage under the location where the planned enlargement of the width will be carried out will be constructed in advance of the construction of the rail track, concurrently with the enlargement of the motor-

Tab. 1 Porovnání variant z hlediska teoretické plochy výrubu pro rychlost do 230 km/h

Table 1 Comparison of variants in terms of the theoretical excavated cross-sectional area for the speed of up to 230 km/h

Varianta Variant	Teoretická plocha výrubu [m ²] Theoretical excavated cross-sectional area [m ²]		
	Jedna kolej Single-track	Dvě koleje Double-track	Porovnání Comparison
David NRTM do 230 km/h, spodní klenba / David, NATM, up to 230 km/h, inverted arch	86	172	164 %
David NRTM do 230 km/h, patky / David, NATM, up to 230 km/h, footings	75	150	143 %
David TBM do 230 km/h / David, TBM, up to 230 km/h	75	150	143 %
Goliáš NRTM do 230 km/h, spodní klenba / Goliáš, NATM, up to 230 km/h, inverted arch	-	121	115 %
Goliáš NRTM do 230 km/h, patky / Goliáš, NATM, up to 230 km/h, footings	-	105	100 %

Tab. 2 Porovnání variant z hlediska teoretické plochy výrubu pro rychlost do 160 km/h

Table 2 Comparison of variants in terms of the theoretical excavated cross-sectional area for the speed of up to 160 km/h

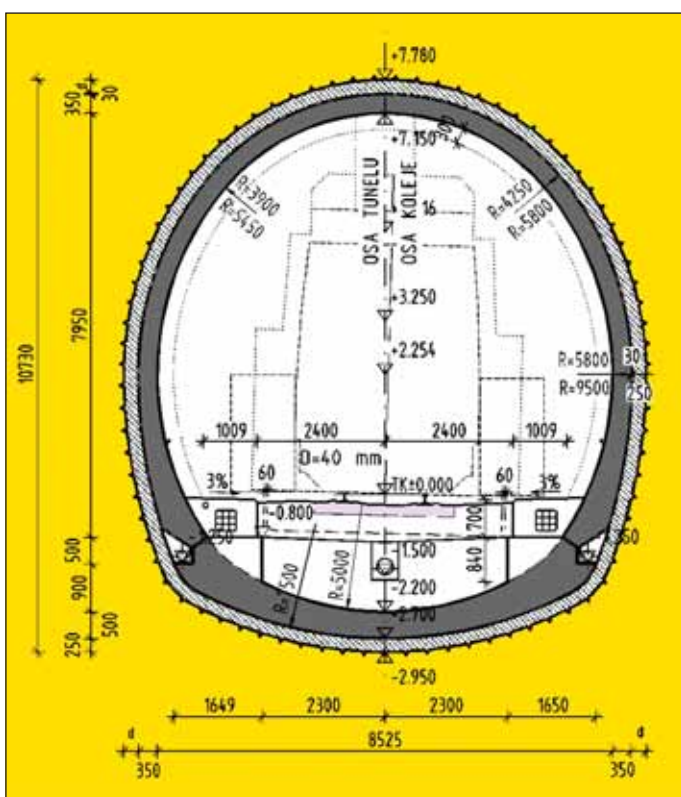
Varianta Variant	Teoretická plocha výrubu [m ²] Theoretical excavated cross-sectional area [m ²]		
	Jedna kolej Single-track	Dvě koleje Double-track	Porovnání Comparison
David NRTM do 160 km/h, spodní klenba / David, NATM, up to 160 km/h, inverted arch	78	156	153 %
David NRTM do 160 km/h, patky / David, NATM, up to 160 km/h, footings	69	138	135 %
David TBM do 160 km/h / David, TBM, up to 160 km/h	72	144	141 %
Goliáš NRTM do 160 km/h, spodní klenba / Goliáš, NATM, up to 160 km/h, inverted arch	-	118	116 %
Goliáš NRTM do 160 km/h, patky / Goliáš, NATM, up to 160 km/h, footings	-	102	100 %

Porovnání objemu výrubu pro jednotlivé varianty ukazuje graf na obrázku 5.

The comparison of the excavated volume for individual variants is shown in the chart in Figure 5.

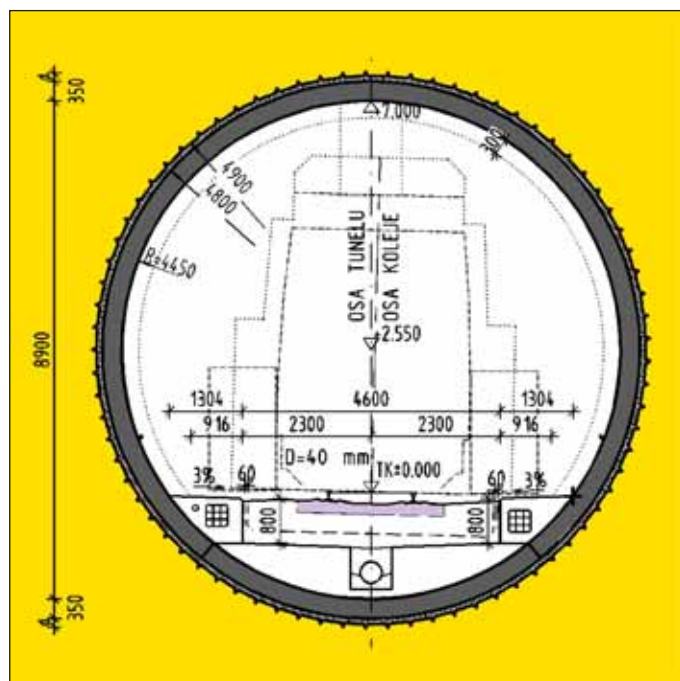
DVOUKOLEJNÝ TUNEL, NEBO DVA JEDNOKOLEJNÉ TUNELY?

Při návrhu tunelu v počátečních stupních projektové dokumentace je nutno vždy velmi pečlivě zvažovat koncepci

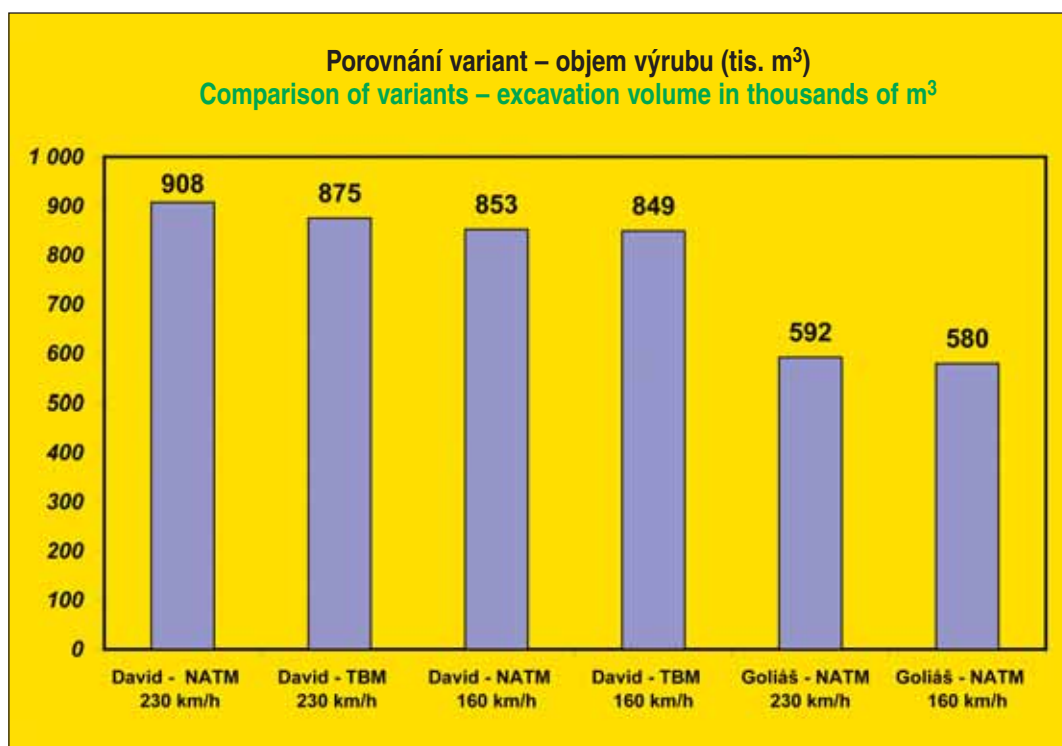


Obr. 3 Vzorový příčný řez konvenčně raženým jednokolejným tunelem
Fig. 3 Typical cross-section through a conventionally driven single-track tunnel

way width, without interrupting the traffic. It will be a special bridge structure hidden in the motorway embankment. Nevertheless, with respect to the vertical alignments of both routes in the crossing location, the passage of the tunnel under the existing operating motorway will not be possible without interrupting the traffic. During the course of the tunnel construction, the motorway will have to be diverted to the previously underpinned embankment. When the tunnel structure is



Obr. 4 Vzorový příčný řez jednokolejným tunelem raženým pomocí TBM
Fig. 4 Typical cross-section through a TBM-driven single-track tunnel



Obr. 5 Graf porovnání variant z hlediska objemu výrubu

Fig. 5 Chart of the comparison of variants in terms of the excavated volume

technického řešení. V případě tunelu délky téměř 5 km se nabízí otázka, zda je výhodnější směrově rozdělená varianta dvou jednokolejných tunelů, nebo tunelu dvoukolejného pro vedení protisměrného provozu v jedné tunelové trubě. Při rozhodování nehraje roli pouze technicko-ekonomické porovnání vlastních tunelů, ale i zohlednění investičních a provozních nákladů souvisejících objektů. Jedná se především o splnění požárněbezpečnostních požadavků z hlediska zajištění únikových cest, nástupních ploch jednotek integrovaného záchranného systému (IZS), příjezdových komunikací, zajištění zdroje vody pro hašení v případě požáru atd. Podrobnějšímu zpracování projektové dokumentace proto investor věnoval náležitou pozornost a předcházela mu studie variant pracovně označovaných jako „David“ a „Goliáš“. Varianta „David“ představovala technické řešení dvou jednokolejných tunelů a její jméno odpovídalo menší ploše výrubu. Varianta „Goliáš“ označovala dvoukolejný tunel s větší plochou výrubu. Vzorové řezy dvoukolejného tunelu se spodní klenbou a na patkách ukazují obrázky 1 a 2. Varianta „David“ se dále dělila podle způsobu ražby pomocí TBM a NRTM. Vzorové řezy pro obě varianty ukazují obrázky 3 a 4. V případě varianty „Goliáš“ se počítalo vzhledem k velikosti profilu tunelu pouze s konvenční ražbou. Dalším sledovaným parametrem, který počet variant dále zvyšoval, byla návrhová rychlost. Jak již bylo řečeno, stavebně umožňují některé úseky trati dosahovat rychlosti až 200 km/h. Tunely navržené na standardní rychlost 160 km/h by v trase představovaly prvek, který by do budoucna parametry tratě degradoval. Česká norma na projektování a provádění železničních tunelů sice hovoří o požadované životnosti tunelu 100 let, jedná se však pouze o životnost nevyměnitelných částí tunelu, nikoli o životnost „morální“, která by při návrhu technického řešení zohledňovala prognózu vývoje železniční dopravy i s ohledem na předpokládané návrhové rychlosti. Pístový efekt vlakových souprav a zvyšování tlaku vzduchu s narůstající rychlostí vede k nutnosti zvětšení světlého profilu tunelu. V této souvislosti byl

completed and backfilled, the motorway will be relocated to the original alignment. Beyond the crossing with the motorway, the tunnel is further designed to be built in an open trench because the overburden height does not allow the tunnel to be driven.

DOUBLE-TRACK TUNNEL OR A PAIR OF SINGLE-TRACK TUNNELS?

When initial stages of a tunnel design are being prepared, it is always necessary to pay very careful attention to the concept of the technical solution. In the case of a nearly 5 km long tunnel a question comes forward whether the variant comprising two single-track tunnels with the traffic

directions separated or a double-track tunnel carrying traffic in the bi-directional operation through one tunnel tube is more advantageous. When the decision is being made, the technical-economic comparison of the tunnels themselves is not the only criterion. Investment costs and operating costs to be incurred due to associated structures have also to be taken into consideration. Among those, there are, first of all, the necessity to meet fire safety requirements as far as escape routes, mustering areas for the Integrated Rescue System units, approach roads or fire water sources necessary in the case of a fire are concerned. This was why the project owner paid due attention to more detailed work on the design, which was preceded by conducting a study of variants, which were marked for the working purposes as “David” and “Goliáš” (Goliath). The “David” variant represented a technical solution for two single-track tunnels. Its name corresponds to the smaller excavated cross-sectional area. The “Goliáš” variant was for a double-track tunnel with a larger excavated cross-sectional area. Typical cross-sections for the double-track tunnel with an invert and footings are presented in Figures 1 and 2. The “David” variant was further divided according to the excavation technique using a TBM or the NATM. Typical cross-sections for the two variants are shown in Figures 3 and 4. A conventional excavation method was the only method counted with for the “Goliáš” variant. Another parameter taken into consideration, which further increased the number of variants, was the design speed. As mentioned above, the structural design of some track sections allows the speed of up to 200 km/h to be reached. Tunnels designed for the standard speed of 160 km/h would become an element on the route which would degrade the track parameters in the future. On the one hand, the Czech standard for designing and construction of railway tunnels speaks about the required design life of 100 years, on the other hand, this is the durability of non-replaceable parts of the tunnel, not the “moral” lifetime, which would allow for the prognosis for the development of railway transport even with respect to the expected design speed, while preparing the technical solution. The piston effect of trains and increasing of the air pressure with the increasing speed leads to the necessity for

Tab. 3 Porovnání variant z hlediska objemu betonu def. ostění pro rychlost do 230 km/h
Table 3 Comparison of variants in terms of the final lining concrete volume for the speed of up to 230 km/h

Varianta Variant	Objem betonu [m ³] pro blok betonáže 12 m Volume of concrete [m ³] for a 12 m long casting block		
	Jedna kolej Single-track	Dvě koleje Double-track	Porovnání Comparison
David NRTM do 230 km/h, spodní klenba / David, NATM, up to 230 km/h, inverted arch	192	384	307 %
David NRTM do 230 km/h, patky / David, NATM, up to 230 km/h, footings	115	230	184 %
David TBM do 230 km/h / David, TBM, up to 230 km/h	122	244	195 %
Goliáš NRTM do 230 km/h, spodní klenba / Goliáš, NATM, up to 230 km/h, inverted arch	-	202	161 %
Goliáš NRTM do 230 km/h, patky / Goliáš, NATM, up to 230 km/h, footings	-	125	100 %

Tab. 4 Porovnání variant z hlediska objemu betonu def. ostění pro rychlost do 160 km/h
Table 4 Comparison of variants in terms of the final lining concrete volume for the speed of up to 160 km/h

Varianta Variant	Objem betonu [m ³] pro blok betonáže 12 m Volume of concrete [m ³] for a 12 m long casting block		
	Jedna kolej Single-track	Dvě koleje Double-track	Porovnání Comparison
David NRTM do 160 km/h, spodní klenba / David, NATM, up to 160 km/h, inverted arch	178	356	285 %
David NRTM do 160 km/h, patky / David, NATM, up to 160 km/h, footings	109	218	174 %
David TBM do 160 km/h / David, TBM, up to 160 km/h	119	238	190 %
Goliáš NRTM do 160 km/h, spodní klenba / Goliáš, NATM, up to 160 km/h, inverted arch	-	200	160 %
Goliáš NRTM do 160 km/h, patky / Goliáš, NATM, up to 160 km/h, footings	-	125	100 %

proto v rámci studie zkoumán i vliv zvýšení rychlosti na 230 km/h na velikost příčného řezu tunelu, a to i s vědomím, že současný návrh zabezpečovacího zařízení tuto rychlost použít neumožňuje. Studie variant se tím rozšířila na konečný počet 6. Jednalo se o varianty:

1. David s ražbou NRTM a rychlostí do 230 km/h
2. David s ražbou TBM a rychlostí do 230 km/h
3. David s ražbou NRTM a rychlostí do 160 km/h
4. David s ražbou TBM a rychlostí do 160 km/h
5. Goliáš s ražbou NRTM a rychlostí do 230 km/h
6. Goliáš s ražbou NRTM a rychlostí do 160 km/h

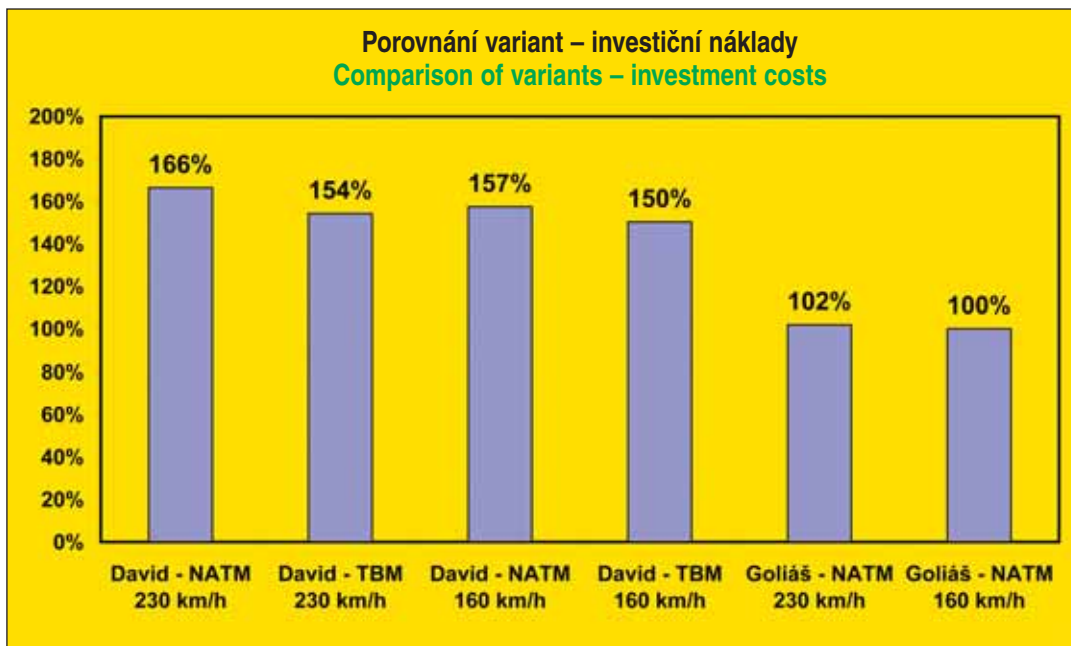
Příčný řez jednokolejným tunelem raženým pomocí TBM i NRTM určuje vzorový list *Světly tunelový průřez jednokolejného tunelu*, který byl vypracován pro SŽDC v roce 2010 a splňuje všechny požadavky vyplývající z platných norem a předpisů. Jiná situace je v případě návrhu dvoukolejného tunelu, neboť stávající vzorový list byl zpracován pouze pro rychlost do 160 km/h, a to před uvedením v platnost předpisu TSI SRT. Geometricky nevyhovuje šířkou chodníku, kdy původní návrh předpokládal šířku 500 mm, zatímco v současné době je podle předpisu TSI SRT šířka chodníku min. 750 mm. Proto bylo nutné v rámci projektu příčný řez tunelu upravit podle stávajících požadavků a posoudit i zvětšení světlého profilu na zvýšenou rychlost do 230 km/h.

V případě varianty „David“ je u ražby pomocí NRTM navržen podkovovitý příčný řez tunelem se spodní klenbou, deštníkovým systémem izolace a podélnou tunelovou drenáží. Pro rychlost do 230 km/h je plocha výrubu se spodní klenbou 86 m², při snížení rychlosti na 160 km/h se plocha výrubu sníží o cca 10 % na 78 m². U příčného řezu určeného do lepších geotechnických podmínek, kde spodní klenba není nutná a klenba je založena na patkách, je plocha výrubu 75 m² pro rychlost do 230 km/h, resp. 69 m² pro rychlost do 160 km/h.

enlarging the net cross-section of the tunnel. In this context, even the effect of increasing of the speed to 230 km/h on the size of the tunnel cross-sectional area was analysed within the framework of the study, even though it was known that the current interlocking system design does not allow this speed to be applied. As a result, the study of variants was expanded to the final number of 6. The following variants were solved:

1. The David variant with the NATM excavation, with the speed of up to 230 km/h
2. The David variant with the TBM excavation and the speed of up to 230 km/h
3. The David variant with the TBM excavation and the speed of up to 230 km/h
4. The David variant with the NATM excavation and the speed of up to 160 km/h
5. The David variant with the TBM excavation and the speed of up to 160 km/h
6. The Goliáš variant with the NATM excavation and the speed up to 230 km/h

The cross section through the single-track tunnel driven by the TBM or the NATM is prescribed by the Standard Sheet *Net cross-section through a single-track tunnel*, which was developed for the Railway Infrastructure Administration, state organisation, in 2010. It meets all requirements following from applicable standards and regulations. Another situation is in the case of the design for a double-track tunnel because of the fact that the current Standard Sheet had been developed only for the design speed up to 160 km/h, before the TSI SRT regulation came into force. Its geometry is inadequate as far as the walkway width is concerned; the original proposal expected the width to be 500 mm, whereas the minimum width prescribed by the current TSI SRT regulation is 750 mm. For that reason it was necessary for the design to modify the cross-section to comply with the current requirements and to assess the enlarging



Obr. 6 Graf procentuálního porovnání celkových investičních nákladů
Fig. 6 Chart of the percentage comparison of total investment costs

V podobném poměru lze uvažovat i plochy příčných řezů v dalších variantách, což pro rychlosti do 230 km/h a do 160 km/h ukazují tabulky 1 a 2. Při porovnání plochy příčného řezu je jako základ uvažována nejmenší teoretická plocha výrubu. U varianty „David“ je nutno pro porovnání sečíst plochy obou tunelů. Z výsledků je zřejmé, že z hlediska velikosti obestavěného prostoru nebo množství vytěženého materiálu se jako výhodnější jeví varianta „Goliáš“. Dva jednokolejné tunely mají oproti dvoukolejnému tunelu plochu výrubu o více než 40 % větší.

Dalším faktorem výrazně ovlivňujícím výslednou cenu díla je kromě objemu výrubu i objem betonu definitivního ostění. V případě ražby pomocí NRTM je v ražených úsecích tunelu uvažováno s monolitickým ostěním tloušťky 350 mm z betonu C25/30 betonovaným do posuvného bednění. V hloubených úsecích tunelů se tloušťka klenby pohybuje v případě dvoukolejného tunelu od min. 600 mm, u jednokolejného tunelu od min. 350 mm. U tunelu raženého pomocí TBM je navrženo prefabrikované ostění tloušťky 350 mm. Porovnání variant z hlediska náročnosti spotřeby betonu je přehledně uspořádáno do tabulky 3 pro rychlost do 230 km/h, resp. tabulky 4 pro rychlost do 160 km/h. Výměry jsou vypočteny pro blok betonáže délky 12 m. Z důvodu možnosti porovnání výsledků je i v případě ražby pomocí TBM výměra betonu ostění vypočtena pro úsek tunelu délky 12 m.

Zatímco v případě porovnání z hlediska teoretické plochy výrubu vyznělo hodnocení 40 % v neprospěch varianty „David“, při porovnání z hlediska objemu betonu definitivního ostění se již jedná o více než 70 %. Při komplexním hodnocení je však nutno zohlednit skutečnost, že při ražbě pomocí NRTM je ostění dvouplášťové a výrub zajišťuje po ražbě zpočátku primární ostění ze stříkaného betonu. Jeho tloušťka je závislá na technologické třídě výrubu a skutečně zastižených geotechnických podmínkách při ražbě. Pro ražený úsek tunelu bylo navrženo 5 technologických tříd výrubu a stanovena prognóza jejich výskytu s ohledem na předpokládané geotechnické podmínky. Z výpočtů prováděných pro stanovení výměr vyplývá, že na 1 km raženého dvoukolejného tunelu varianty „Goliáš“ pro rychlost do 230 km/h v geotechnických podmínkách nevyžadujících použití spodní klenby je potřeba cca 6,7 m³ stříkaného betonu, v místě se spodní klenbou se

gement of the net cross-section for the increased speed up to 230 km/h.

In the case of the “David” variant using the NATM, a horseshoe-shaped tunnel cross-section with an inverted arch, an umbrella-type waterproofing system and a longitudinal tunnel drainage system is proposed. The excavated cross-sectional area with the invert designed for the speed of up to 230 km/h amounts to 86 m², whilst this area is reduced by approximately 10 % to 78 m² when the speed is reduced to 160 km/h. The cross-section designed for better geotechnical conditions, where the inverted arch is not necessary and the vault is founded

on footings, the excavated cross-sectional area is 75 m² for the speed up to 230 km/h or 69 m² for the speed up to 160 km/h. Similar proportions can be applied to the cross-sectional areas contained in the other variants. The areas for speeds up to 230 km/h and up to 160 km/h are presented below in Tables 1 and 2. The smallest theoretical excavated cross-sectional area is used as a basis for the purpose of the comparison of the cross-sectional areas. In the case of the “David” variant it is necessary to sum up the cross-sectional areas of both tunnels. It is obvious from the results that the “Goliáš” variant looks more advantageous as far as the magnitude of the wall-in space or the volume of the excavated material are concerned. The excavated cross-sectional area of the pair of single-track tunnels compared with the double-track tunnel is larger by over 40 %.

Another factor significantly affecting the resultant cost of the Works is, apart from the excavated volume, the volume of concrete for the final lining. C25/30-grade concrete cast behind traveller formwork is assumed for the 350 mm thick lining in the case of the NATM excavation in the mined tunnel sections. In the cut-and-cover tunnel sections, the thickness of the vault ranges from the minimum 600 mm for the double-track tunnel to the minimum 350 mm for the single-track tunnel. A 350 mm thick segmental lining is proposed for the TBM-driven tunnel. The comparison of variants as far as the consumption of concrete is concerned is summarised in Table 3 for the speed of up to 230 km/h and Table 4 for the speed of up to 160 km/h. The quantities are calculated for a 12 m long casting block. The quantity of concrete for the lining of the TBM-driven tunnel is also calculated for the 12 m long tunnel section so that the comparison of results is possible.

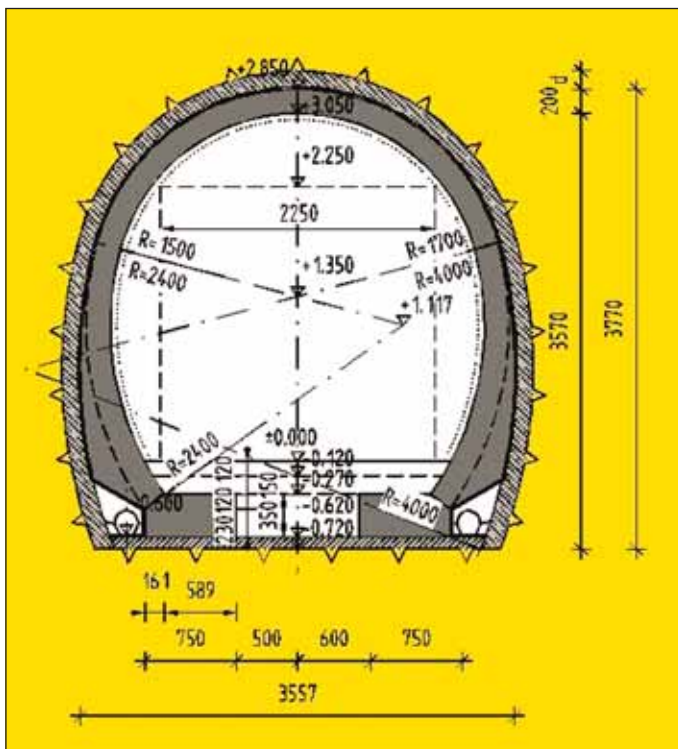
While the assessment ended up 40 % against the “David” variant in the case of the comparison in terms of the theoretical excavated cross-sectional area, the difference reaches over 70 % in the case of the comparison in terms of the volume of the final lining concrete. Although, if the assessment is to be performed comprehensively, it is necessary to take into consideration the fact that two-shell lining is required when the NATM is used, where the excavation is supported at the beginning by a primary shotcrete lining. The thickness of the primary lining depends on the excavation support class and the geotechnical conditions

objem zvětšuje na 9,7 m³. U konvenčně ražené varianty „David“ je primární ostění kalkulováno výměrou 5,9 m³ u tunelu bez spodní klenby a 8,1 m³ u tunelu se spodní klenbou. Po připočítání tohoto objemu do hodnocení variant z hlediska spotřeby betonu se mění poměr podle údajů uvedených v tabulce 5.

Obdobným způsobem je upravena kalkulace pro varianty tunelů pro rychlost do 160 km/h, kde je uvažováno u varianty „Goliáš“ s výměrou 6,6 m³ pro profil bez spodní klenby, resp. 9,6 m³ pro profil se spodní klenbou. U varianty „David“ zvyšuje primární ostění spotřebu betonu o 5,6 m³ u profilu bez spodní klenby a o 7,7 m³ u tunelu se spodní klenbou. Výsledné porovnání ukazuje tabulka 6.

Vzhledem k předpokládaným geotechnickým podmínkám bylo pro celkové hodnocení variant počítáno u ražby pomocí NRTM se 70 % délky raženého úseku zajištěného ostěním na patkách a 30 % délky raženého úseku zajištěného ostěním se spodní klenbou. V případě ražby pomocí TBM je konstrukční řešení ostění dáno kruhovým profilem stroje a navýšení spotřeby betonu definitivního ostění je oproti NRTM v úsecích se špatnými geotechnickými poměry cca 20 %. V úsecích s dobrými geotechnickými poměry se však nárůst zvyšuje až o 90 % objemu betonu definitivního ostění.

Pro celkové porovnání variant bylo nutné provést kalkulaci až na úroveň jednotkových cen a do porovnání zahrnout nejen vlastní tunely, ale i tunelové propojky, únikové šachty a štoly i další vyvolané investice, jako jsou např. nadzemní technologické objekty, přístupové komunikace, nástupní plochy složek integrovaného záchranného systému (IZS) atd. Výsledky cenového porovnání variant ukazuje názorně graf na obrázku 6, který neuvádí skutečné investiční náklady, ale poměr výsledné ceny k nejlevnější variantě. Ta představuje srovnávací cenovou hladinu a je hodnocena jako 100 %. Cena všech ostatních variant je k této ceně vztažena. Z grafu je zřejmé, že u konvenčně ražených tunelů je rozdíl v ceně jednoho dvoukolejného tunelu a dvou jednokolejných tunelů



Obr. 7 Standardní profil únikové štoly
Fig. 7 Standard profile of an escape gallery

actually encountered during the excavation. There were 5 excavation support classes designed for the mined tunnel section and a prognosis of their incidence was determined with respect to the anticipated geotechnical conditions. It follows from calculations conducted with the aim of determining the quantities that about 6.7 m³ of shotcrete are required for 1 linear metre of the mined double-track tunnel of the “Goliáš” variant for the speed of up to 230 km/h, driven in conditions requiring no inverted arch. This amount increases to 9.7 m³ in the locations where the invert is required. In the case of the conventionally driven variant “David” requiring no invert, the volume of primary lining concrete is calculated at 5.9 m³, whilst the volume of 8.1 m³ is calculated for the tunnel with the inverted arch. When this volume is added to the assessment of variants in terms of the consumption of concrete, the percentages change as shown in Table 5.

The calculation for the tunnel variants for the speed of up to 160 km/h is carried out in a similar way. The volumes of 6.6 m³ and 9.6 m³ are assumed for the “Goliáš” variant, for the profile without the invert and with the invert, respectively. In the case of the “Goliáš” variant, the primary lining increases the consumption of concrete by 5.6 m³ and 7.7 m³ for the cross-section without an inverted arch and tunnel with the invert, respectively. The resultant comparison is presented in Table 6.

Taking into consideration the anticipated geotechnical conditions, the overall assessment of the variants was carried out assuming that 70 % of the NATM mined section length would be provided with the lining founded on footings and 30 % of the mined section length would be provided with an inverted arch. In the case of the TBM-driven tunnel, the structural design is predetermined by the circular profile of the machine and the increase in the volume of concrete for the final lining, compared with the NATM, is about 20 % in the case of poor geotechnical conditions. But in sections with good geotechnical conditions the increase in the final lining concrete volume grows by up to 90 %.

The overall assessment of the variants required the calculation to be broken up to the level of unit prices, with cross passages, escape shafts and galleries and other induced investment structures, such as at-grade services buildings, access roads, mustering areas for the Integrated Rescue System units incorporated into the comparison. The results of the cost-related comparison of the variants are clearly presented on the chart in Figure 6, which shows the proportion between the resultant cost and the cheapest variant instead of showing real investment costs. The cheapest cost provides the reference level, which is assessed as 100 %. The cost of all other variants is referred to this cost. It is obvious from the chart that the difference between the cost of the single double-track tunnel and the cost of two single-track tunnels is about 60 %, even if the induced investment costs are counted with. The structural modification of the tunnel carried out with the aim of increasing the speed from 160 km/h to 230 km/h means the increase in the cost by approximately 2 %. The construction of two single-track tunnels using TBMs means, in the case of the Chotýčany tunnel, an increase in the investment costs by approximately 50 % compared with conventional driving of the double-track tunnel. The above-mentioned quantities cannot be generally used as a scale because they are associated with geotechnical conditions particular for the Chotýčany tunnel, i.e. with the geological structure of the area, the overburden height, the solution of escape routes leading to the surface etc.

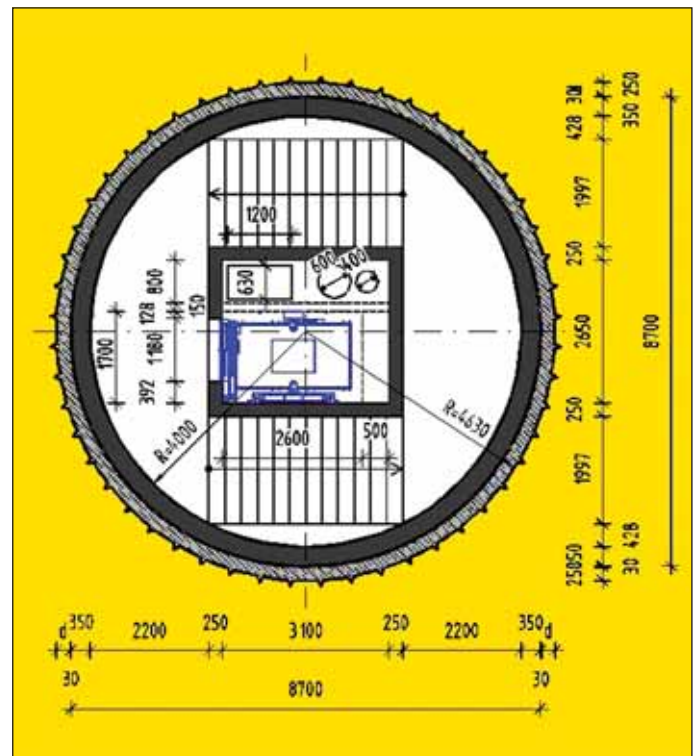
ROLE POŽÁRNĚBEZPEČNOSTNÍHO ŘEŠENÍ PŘI VOLBĚ VARIANT

Požárněbezpečnostní řešení hraje při návrhu tunelu významnou roli a může výrazně ovlivnit nejen vlastní technické řešení, ale i výši investičních nákladů. Při návrhu je nutno respektovat všechny požadavky na záchranu osob v případě požáru nebo havárie v tunelu. Nadstandardní řešení však musí být eliminována s ohledem na možnosti financování tak náročné stavby, jakou tunel bezesporu je. Ze stavebního hlediska se jedná především o možné varianty návrhu únikových cest.

U varianty „David“ nepředstavovalo zajištění únikových cest větší problém a projektant pro únik osob z požárem zasažené tunelové trouby jednoznačně zvolil 9 tunelových propojek vzdálených od sebe max. 500 m. Každá druhá tunelová propojka slouží kromě úniku i k umístění technologického vybavení tunelu, zejména transformátorů rozvodu elektrické energie. Vzdálenost tunelových propojek odpovídá požadavkům evropského předpisu TSI SRT o bezpečnosti v tunelech. Při záchraně cestujících se počítá s únikem do požárem nezasážené tunelové trouby, kde je v případě havárie zastaven provoz a která zároveň slouží i pro nástup jednotlivých složek IZS. Příjezdové komunikace a nástupní plochy o výměře 500 m² jsou v tomto případě navrženy pouze u obou tunelových portálů. Vzhledem k vzájemné poloze obou tunelových trub, konfiguraci terénu a výšce nadloží nevyžadovalo navržené technické řešení únikových cest další varianty. Zcela jiný přístup však vyžadovalo řešení únikových cest varianty „Goliáš“ s pouze jednou tunelovou troubou.

U varianty „Goliáš“ navrhl projektant pro technicko-ekonomické porovnání hned tři varianty řešení únikových cest. Jednalo se o:

- únikovou štolu vedenou paralelně s tunelovou troubou a obdobně jako v případě varianty „David“ propojenou



Obr. 10 Příčný řez únikovou šachtou s výtahem
Fig. 10 Cross-section through an escape lift well

Integrated Rescue System units and access roads is in this case identical with the “David” variant design, to be provided only at the two portals.

The second variant of the solution for escape routes is also based on the requirement for the maximum length of escaping to be 500 m. According to this requirement, with respect to the configuration of the terrain above, the designer places the total

Tab. 5 Porovnání variant z hlediska celkového objemu betonu ostění pro rychlost do 230 km/h
Table 5 Comparison of variants in terms of the total concrete volume for the speed of up to 230 km/h

Varianta Variant	Objem betonu [m ³] pro blok betonáže 12 m Volume of concrete [m ³] for a 12 m long casting block		
	Jedna kolej Single-track	Dvě koleje Double-track	Porovnání Comparison
David NRTM do 230 km/h, spodní klenba / David, NATM, up to 230 km/h, inverted arch	192+97=289	578	282 %
David NRTM do 230 km/h, patky / David, NATM, up to 230 km/h, footings	115+71=186	372	181 %
David TBM do 230 km/h / David, TBM, up to 230 km/h	122	244	119 %
Goliáš NRTM do 230 km/h, spodní klenba / Goliáš, NATM, up to 230 km/h, inverted arch	-	202+116=318	155 %
Goliáš NRTM do 230 km/h, patky / Goliáš, NATM, up to 230 km/h, footings	-	125+80=205	100 %

Tab. 6 Porovnání variant z hlediska celkového objemu betonu ostění pro rychlost do 160 km/h
Table 6 Comparison of variants in terms of the total concrete volume for the speed of up to 160 km/h

Varianta Variant	Objem betonu [m ³] pro blok betonáže 12 m Volume of concrete [m ³] for a 12 m long casting block		
	Jedna kolej Single-track	Dvě koleje Double-track	Porovnání Comparison
David NRTM do 160 km/h, spodní klenba / David, NATM, up to 160 km/h, inverted arch	178+92=270	540	265 %
David NRTM do 160 km/h, patky / David, NATM, up to 160 km/h, footings	109+67=176	352	173 %
David TBM do 160 km/h / David, TBM, up to 160 km/h	119	238	117 %
Goliáš NRTM do 160 km/h, spodní klenba / Goliáš, NATM, up to 160 km/h, inverted arch	-	200+115=315	154 %
Goliáš NRTM do 160 km/h, patky / Goliáš, NATM, up to 160 km/h, footings	-	125+79=204	100 %

s tunelovou troubou propojkami ve vzdálenosti max. 500 m;

- vertikální únikové šachty s napojením na tunel únikovými štolami ve vzájemné vzdálenosti max. 1000 m, aby délka úniku nepřesáhla 500 m;
- kombinace paralelně vedené únikové štoly s propojkami do tunelové trouby v úseku s vysokým nadložím a vertikálních šachet v úseku s nižším nadložím.

V případě první varianty únikových cest umožňuje osa souběžné únikové štoly vzdálená od osy tunelu 25 m mezi oběma podzemními díly bezpečné vytvoření přirozeného horninového pilíře. Délka štoly přibližně odpovídá délce dvoukolejného tunelu. Její podélný sklon koresponduje s podélným sklonem tunelu a podkovovitý tvar štoly o teoretické ploše výrubu 13 m² umožňuje do profilu vepsat čtvercový průřez o světlé šířce 2,25 m a výšce 2,25 m (obr. 7). Průjezdový průřez štoly umožňuje zásah záchranného vozidla v ústí tunelové propojky do únikové štoly a případně odvoz raněných k nejbližšímu portálu. V místě zaústění tunelových propojek délky 15 m do únikové štoly je ve štolě navržen rozšířený příčný profil délky 12 m o světlé šířce 4,8 m a výšce 3,1 m (obr. 8), který slouží pro vyhýbání záchranných vozidel nebo shromažďování imobilních osob. Nástupní plochy složek IZS a příjezdové komunikace jsou v tomto případě navrženy stejně jako u varianty „David“ pouze k oběma portálům.

I druhá varianta řešení únikových cest vychází z požadavku na maximální délku úniku 500 m. Podle tohoto požadavku a s ohledem na situaci na povrchu území situuje projekt celkem 4 vertikální únikové šachty do míst, kde lze zajistit příjezd vozidel k ústí šachty a vybudování nástupní plochy jednotek IZS. Vzájemná poloha možného vyústění šachty na povrchu území a polohy tunelu ovlivňuje délku spojovací únikové štoly. Zatímco hloubka šachet se pohybuje v závislosti na výšce nadloží od 25 m až do 78 m, délka štol je od 35 m do 100 m. Celková hloubka šachet dosahuje 177 m, celková délka štol je téměř 260 m. Únikové štoly jsou od tunelu odděleny požárními uzávěry (dveřmi). Vnikání kouře do únikových štol a šachet je zabráněno přetlakem vzduchu. Při otevření dveří přetlak zajistí, že únik osob směřuje vždy do prostoru s čerstvým vzduchem. Štola za požárním uzávěrem je v délce 12 m rozšířena na profil o světlé šířce 4,2 m a výšce 3,6 m. Příčné řezy schodišťovou a výtahovou šachtou ukazují obrázky 9 a 10. Z hlediska výše investičních nákladů profil ražených podzemních děl optimálně odpovídá minimálním požadavkům norem a předpisů, aby nedocházelo ke zbytečnému navyšování ceny díla. U šachet hlubších než 30 m se předpokládá instalace výtahů. V těchto šachtách musí být z konstrukčních důvodů poloměr kruhové šachty zvětšen z 4,1 m na 4,6 m, což představuje nárůst objemu výrubu o 3,4 m³ na běžný metr šachty. Ke každému ústí šachty na povrchu je přivedena přístupová komunikace napojená na místní silniční síť. Přístupová komunikace navazuje u ústí šachty na nástupní plochu jednotek IZS.

Předchozí varianta s využitím únikových šachet vede v úseku tunelu s vysokým nadložím k hloubce šachty až 78 m, což se jeví z hlediska přístupu i úniku nevýhodné. Proto je třetí variantou možného úniku kombinace paralelně situované záchranné štoly s vyústěním u jižního portálu a záchranných šachet situovaných v úseku tunelu s nižším nadložím v oblasti blíže severnímu portálu. Záchranná štola v délce 1905 m konstrukčně odpovídá řešení popisovanému v první variantě s paralelně raženou štolou a tunelovými propojkami, a to včetně zaústění propojek do záchranné štoly. Tím dojde k eliminaci nejhlubších šachet druhé varianty.

of 4 vertical escape shafts to locations where it is possible to secure the approach of vehicles to the shaft mouth and a mustering area for rescue units can be established. The relative position of the possible shaft mouth on the surface and the tunnel affects the length of the connecting escape gallery. Whilst the depth of the shafts varies from 25 m up to 78 m, depending on the overburden height, the lengths of the galleries leading to the shafts vary from 35 m to 100 m. The aggregate depth of the shafts reaches 177 m; the aggregate length of the galleries amounts nearly to 260 m. The galleries leading to the escape shafts are separated from the tunnel by fire doors. Smoke is prevented from entering the escape galleries and shafts by a positive pressure of air. When the doors are opened, the positive pressure ensures that persons always escape to spaces containing fresh air. The net cross-section of the gallery is enlarged behind the fire door along a length of 12 m to a 4.2 m wide and 3.6 m high profile. Cross-sections through the stair and lift well are shown in Figures 9 and 10. As far as investment costs are concerned, the profile of the mined underground structure optimally complies with minimum requirements of standards and regulations, so that the project price is not needlessly increased. The installation of lifts is assumed for shafts deeper than 30 m. The radius of these circular shafts must be increased from 4.1 to 4.6 m for structural reasons. This increase represents an increase in the volume of excavation by 3.4 m³ per a linear metre of the shaft. An access road linking to the local road network is brought to the mouth of each shaft on the surface. The access road is connected to the mustering area for rescue units provided at the mouth of the shaft.

The previous variant comprising escape shafts leads to the depth of shafts up to 78 m in the tunnel section driven under high overburden. This solution therefore appears to be disadvantageous in terms of the access and escape. For that reason there is the third variant of the potential escape, combining a parallel rescue gallery having the mouth at the southern portal with rescue shafts located in the tunnel section with shallower overburden in the area closer to the northern portal. The 1905 m long rescue gallery structurally corresponds to the solution described in the first variant, comprising a gallery driven in parallel with the tunnel and cross passages, including connections of the cross passages to the rescue gallery. Owing to this solution the deepest shafts contained in the second variant will be eliminated. The remaining shafts in the tunnel section running under a shallower overburden correspond to the solution proposed in the second variant. Mustering areas for rescue units with surface areas of 500 m² will be provided at both portals and in the locations of the mouths of the shafts on the surface. Access for vehicles to the mustering areas will be secured along newly built roads, which will be connected to the existing road network.

The simplest criterion, which gives the best evidence of the cost, is the comparison in terms of the volume of the excavation of spaces for escape routes, which are carried out as conventionally driven galleries or shafts. The comparison results are summarised in Table 7. The variant with the smallest excavation volume is used as the basis of the percentage comparison.

It is obvious from the comparison that the volume of excavation is more than three-times larger in the case of the parallel gallery and cross passages than the volume in the case of the third variant comprising shafts and access galleries. The second variant was chosen as the most advantageous after the financial assessment which took into consideration the induced investment costs (access roads, mustering areas etc.). When the variants were being assessed, this variant of escape routes was added to the solution according to the “Goliáš” variant in terms

Zbývající šachty v úseku tunelu s nižším nadložím odpovídají řešení navrženému ve druhé variantě. Nástupní plochy IZS o výměře 500 m² budou vytvořeny u obou portálů a v místě vyústění šachet na povrch území. K nástupním plochám bude zajištěn příjezd vozidel po nově zřízených komunikacích, které budou napojeny na stávající silniční síť.

Nejednodušším a nejlépe o ceně vypovídajícím kritériem je porovnání z hlediska objemu výrubu prostoru únikových cest, které jsou prováděny jako konvenčně ražené štoly nebo šachty. Výsledky porovnání přehledně ukazuje tabulka 7. Základem procentuálního porovnání je varianta s nejnižším objemem výrubu.

Z porovnání je zřejmé, že objem výrubu u paralelně ražené štoly a spojovacích propojek je více než 3x větší, než u varianty se šachtami a přístupovými štolami. Po provedení finančního ohodnocení se započítáním vyvolaných investic (přístupové komunikace, nástupní plochy atd.) byla jako nejvýhodnější zvolena druhá varianta. Tato varianta únikových cest pak byla připočtena při hodnocení variant k řešení podle varianty „Goliáš“ jak z hlediska výměr, tak následně po zohlednění jednotkových cen i z hlediska výše investičních nákladů. Porovnání variant ukazuje přehledně graf na obr. 6.

ZÁVĚR

Návrh technického řešení dvoukolejných tunelů a jejich únikových cest vychází z konfigurace terénu, respektuje především geologické podmínky a dobu předpokládané výstavby. Volba tunelovací metody souvisela s geotechnickými poměry v trase obou tunelů, logistikou odvozu rubaniny a dodávky materiálu na výstavbu, harmonogramem výstavby a v neposlední řadě s výší investičních nákladů. Navržené technické řešení bere v úvahu možnosti zásahu záchranných jednotek a činností provozovatele železniční přepravy v případě ohrožení cestujících nehodou nebo požárem včetně možností záchrany samotnými cestujícími. Vybrané varianty ražby tunelů i řešení únikových cest jsou nejen ekonomicky nejvýhodnější, ale i ekologicky nepřijatelnější.

Při projednávání požárněbezpečnostního řešení stavby je ze strany složek hasičského záchranného sboru většinou kladen tlak na návrh nejkomfortnějšího zajištění přístupu i evakuace osob. Je třeba si uvědomit, jaké dopady na výši investičních nákladů má například preference dvou jednokolejných tunelů spojených propojkami před dvoukolejným tunelem a únikovými východy na povrch. Jak ukázalo posouzení variant únikových východů, i zde může dojít ke značným materiálovým, a tím i finančním rozdílům v náročnosti navrženého řešení. Proto je nutno při dosažení požadované úrovně bezpečnosti vždy najít vhodný kompromis i z hlediska výše investičních nákladů. Pokud zvážíme, že cena 1 m³ obestavěného prostoru se pohybuje od 8 do 10 tis. Kč, jsou rozdíly značné. Investor věnoval maximální pozornost volbě optimálního technického řešení a doprovodné studie, zpracovávané v rámci projektu pro územní rozhodnutí poskytly potřebné informace pro rozhodování o výběru varianty.

ING. PETR LAPIŠ, petr.lapis@ikpce.com,
ING. LIBOR MAŘÍK, libor.marik@ikpce.com,
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

Recenzoval: Ing. Boris Šebesta

Tab. 7 Porovnání variant řešení únikových cest
Table 7 Comparison of escape routes design variants

Varianta Variant	Objem výrubu Excavation volume	[%] [%]
1. Paralelní štola 1. Parallel gallery	60 300 60 300	340 340
2. Šachty a spojovací štoly 2. Shafts and connection galleries	17 700 17 700	100 100
3. Kombinace šachet a štoly 3. Combination of shafts and a gallery	33 000 33 000	186 186

of the quantities and, subsequently, after taking the unit prices into account, even in terms of the magnitude of investment costs. The comparison of the variants is summarised in Fig. 6.

CONCLUSION

The proposal for the technical solution for double-track tunnels and their escape routes is based on the terrain configuration, pays respect first of all to geological conditions and the anticipated construction time. The selection of the tunnelling method was associated with geotechnical conditions along the route of both tunnels, the logistics of transporting the muck and supplying construction materials, the works schedule and, at last but not least, the amount of investment costs. The proposed technical solution takes into consideration the necessity of providing access for the intervention of rescue units and for the railway transport operator's activities in the case of an accident or fire endangering passengers, including the opportunity for passengers to save themselves on their own. The selected variants of the excavation of the tunnels and the solution for escape routes are the most advantageous economically and the most acceptable ecologically.

When the fire design for a project is being negotiated, the Fire Rescue Service units mostly place stress on the proposal to provide the most comfortable access and evacuation of persons. It is necessary to be aware of the impacts on the amount of investment costs due to, for example, preferring a pair of single-track tunnels interconnected by cross passages with a double-track tunnel and escape exits to the surface. The assessment of the variants of escape exits proved that significant differences in consumption of materials and differences in financial demands following from them can exist even in this area. For that reason it is always necessary while reaching the required level of safety to find an acceptable compromise even as far as the investment costs are concerned. If we take into account the fact that the cost of 1 m³ of a walled-in space ranges from 8 to 10 thousand CZK, the differences are huge. The project owner paid maximum attention to the selection of the optimum technical solution. The accompanying study, which was carried out within the framework of the design for issuance of the zoning and planning decision, provided information required for the process of making decisions on the selection of the variant.

ING. PETR LAPIŠ, petr.lapis@ikpce.com,
ING. LIBOR MAŘÍK, libor.marik@ikpce.com,
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

LITERATURA / REFERENCES

Archiv společnosti IKP Consulting Engineers, s. r. o.