

PROJEKT DVOUKOLEJNÝCH ŽELEZNIČNÍCH TUNELŮ MALÁ HUBA A HNĚVKOVSKÝ I. NA TRAŤOVÉM ÚSEKU ZÁBŘEH – KRASÍKOV

DESIGN OF THE MALÁ HUBA AND HNĚVKOV I DOUBLE-RAIL TUNNELS ON THE ZÁBŘEH – KRASÍKOV TRACK SECTION

Ing. Libor Mařík, ILF Consulting Engineers, s. r. o.

ÚVOD

Příspěvek pojednává o technickém řešení dvoukolejných železničních tunelů ležících na traťovém úseku Zábřeh na Moravě – Krasíkov v úrovni projektu stavby. Optimalizace traťového úseku patří ke stavbám budovaným v rámci modernizace železničních koridorů a vedení trasy v tunelu umožňuje zlepšení jízdních parametrů přípojně větve II. koridoru.

Projektovou dokumentaci zpracovala firma ILF Consulting Engineers, s. r. o., jako subdodávku pro firmu SUDOP Praha, a. s. Projekt předpokládá ražbu

INTRODUCTION

This paper deals with the technical solution of double-rail tunnels lying on the Zábřeh na Moravě – Krasíkov track section. The solution has been developed at a final design level. The project of this track section upgrading is one of the projects being implemented within the scheme of modernisation of railway corridors. The track alignment passing through tunnels allows the improvement of driving parameters on the given branch line of the Corridor II. The design documents have been developed by ILF Consulting Engineers, s.r.o. as a subcontract for SUDOP Praha, a.s. The design assumes the excavation of

ZÁKLADNÍ PARAMETRY PROJEKTOVANÝCH TUNELŮ			BASIC PARAMETERS OF THE TUNNELS UNDER DESIGN		
Popis	Hněvkovský I.	Malá Huba	Description	Hněvkovský I.	Malá Huba
Délka tunelu	180 m	324 m	Tunnel length	180 m	324 m
Ražená část + želva	132 m	300 m	Mined section + "Turtle" section	132 m	300 m
Hloubená část	36 + 12 = 48 m	12 + 12 = 24 m	Cut-and-cover section	36 + 12 = 48 m	12 + 12 = 24 m
Podélný sklon	0,24 ‰ - 0,89 ‰	4,221 ‰	Longitudinal gradient	0,24 ‰ - 0,89 ‰	4,221 ‰
Poloměr směrového oblouku	754 m	850 m	Radius of horizontal curve	754 m	850 m
Poloměr výškového oblouku	11 000 m	-	Radius of vertical curve	11 000 m	-
Výška nadloží	6 – 12 m	6 – 40 m	Overburden depth	6 – 12 m	6 – 40 m

obou tunelů s použitím NRTM. Projektová dokumentace zohledňuje požadavky návrhu nové normy ČSN 737508 Železniční tunely i nově přepracovaných technických kvalitativních podmínek staveb Českých drah ČD TKP 20 Tunely.

the two tunnels to be carried out by the NATM. The design documents respect the requirements contained in the new standard ČSN 737508 "Rail tunnels" and newly revised technical and quality specifications for Czech railway constructions "CD TKP 20 Tunely".

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY

Tunel Hněvkovský I.

Trasa tunelu prochází pod jižním výběžkem vrchu Plechovec. Nadmořská výška povrchu terénu v trase tunelu kolísá od 298 m n. m. do 325 m n. m. (viz obr. 1). Horninový masiv tvoří proterozoické metamorfované horniny zábřežského krystalinika. Z petrografického hlediska se v horninovém masivu vyskytují kvarcitické ruly, pararuly a fylity. Horniny v oblasti ovlivněné ražbou jsou z větší části navětralé, pouze při povrchu a v okolí tektonických linií místy mírně zvětralé. Pukliny nepravidelně a všesměrně rozpukaného masivu jsou převážně sevřené.

Z hydrogeologického hlediska patří zábřežské krystalinikum k jednotkám s puklinovými vodami velmi malých vydatností. Již poměrně mělce pod povrchem jsou pukliny sevřené a prakticky nepropustné. Výjimku tvoří pouze tektonicky porušené zóny. Významnější přítoky do tunelu lze při ražbě očekávat pouze v oblastech rozsáhlejšího tektonického porušení horninového masivu a v příportálových úsecích, kde vydatnost přítoků přímo závisí na množství atmosférických srážek a může se pohybovat až v jednotkách l.s⁻¹.

Tunel Malá Huba

Trasa tunelu prochází pod severním výběžkem vrchu Malá Huba s nadmořskou výškou 415 m n. m. (viz obr. 2). Terénní elevace je součástí členité Zábřežské vrchoviny, která je v těchto místech ze severu ohraničena průlomovým údolím řeky Moravská Sázava. Patu skalního výběžku řeka obtéká ze

ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

Hněvkov I Tunnel

The tunnel route passes under a southern spur of Plechovec Hill. The terrain surface altitude along the tunnel route varies from 298 m a.s.l. to 325 m a.s.l. (see Fig. 1). Proterozoic metamorphic rocks of the Zábřeh crystalline complex form the surrounding rock mass. In petrographical terms, quartzite gneiss, paragneiss and phylites are found in the rock mass. The rock encountered within the area affected by the tunnel excavation is mostly little weathered, while moderately weathered rocks are found locally, near the surface and in the vicinity of tectonic lines only. Failure cracks in the irregularly and omnidirectionally broken massif are mostly tight.

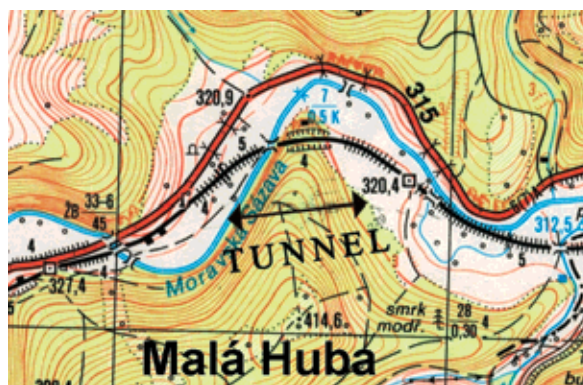
In terms of hydrogeology, the Zábřeh crystalline complex belongs among units with very low yield of fissure water. Fissures are tight and virtually impermeable already at a rather shallow depth under the surface. Tectonically disturbed zones are the only exceptions. More significant inflows into the tunnel during the excavation work can be expected in areas of more significantly disturbed rock and in the vicinity of portals only, where the intensity of inflows is directly dependent on the volume of rainfalls. It can vary within the order of litres per second.

The Malá Huba Tunnel

The tunnel alignment passes under the northern spur of Malá Huba Hill with an altitude of 415 m a.s.l. (see Fig. 2). This terrain elevation is part of the dissected Zábřeh Upland, which is bordered on the north of the given location by the Moravská Sázava River fault gap. The river flows around the rock spur on



Obr. 1 Tunel Hněvkovský I. – stávající situace s vyznačením projektovaného tunelu
Fig. 1 The Hněvkov I tunnel – existing layout with the designed tunnel



Obr. 2 Tunel Malá Huba – stávající situace s vyznačením projektovaného tunelu
Fig. 2 The Malá Huba tunnel - existing layout with the designed tunnel

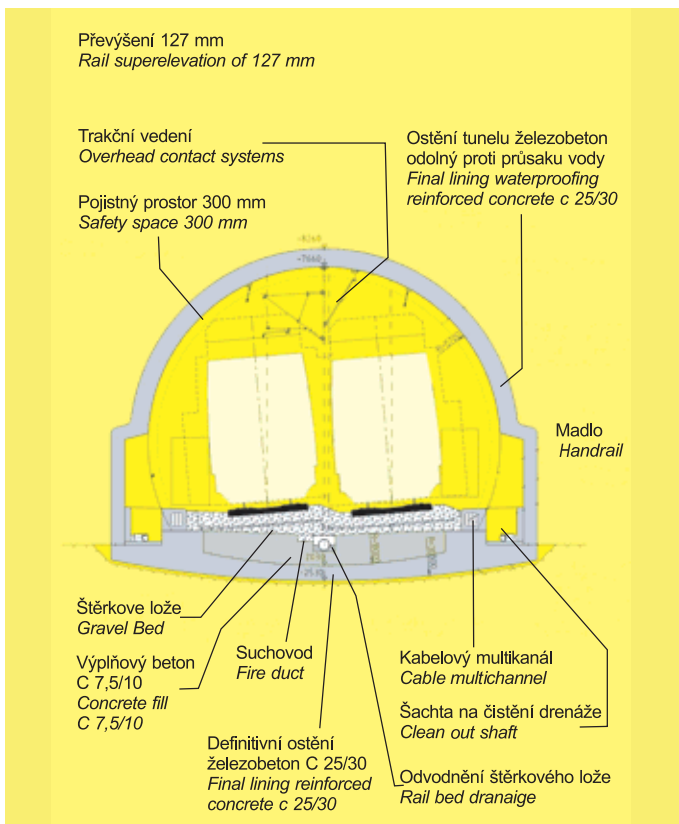
západu, severu a východu. Údolní niva leží v nadmořské výšce 316 až 317 m n. m. Horninový masív je v trase tunelu budován proterozoickými metamorfovanými horninami zábřežského krystalinika, které jsou zastoupeny převážně fylity. Z petrografického hlediska jsou v masivu zastoupeny kromě fylitů i svory, metadrobry, metapachovce a metapelity. Převažující muskoviticko-biotitické fylity se na lokalitě vyskytují v různých odstínech šedé až šedo-zelené barvy. Horniny mají vyvinutou výraznou foliaci. Směr a sklon foliačních ploch se však často mění, což je způsobeno provrášněním hornin. Vzdálenost foliačních ploch se mění od 3 do 10 mm. Horniny jsou nepravidelně a všesměrně rozpukané, pukliny jsou převážně sevřené, často vyplněné oxidy železa. V okolí některých tektonických poruch jsou horniny porušené až podrcené, v ojedinělých poruchách byly dokumentovány i polohy tektonického jílu mocnosti až 0,4 m. Z hlediska pevnosti převažují v masivu horniny se střední až vysokou pevností třídy R3 a R2. V jejich nadloží, v zóně silně zvětřalých, silně rozpukávaných a rozvolněných hornin pak převažují horniny s velmi nízkou až nízkou pevností třídy R5 – R4. Obecně lze horninový masív v trase tunelu hodnotit podle stupně zvětřání jako navětralý až zdravý a v blízkosti východního portálu navětralý až slabě zvětřalý. Směrem k východnímu portálu se v nadloží metamorfovaných hornin zachoval relikt křídových sedimentů v podobě písčitéch slínovců, které nezasahují do prostoru budoucí ražby.

SMĚROVÉ A VÝŠKOVÉ VEDENÍ TRASY

Jako podklad pro vypracování stavební části objektu sloužilo dříve navržené směrové a výškové řešení trasy. Oba tunely leží ve směrových obloucích, které jsou vzhledem k vynaloženým investičním nákladům nově budovaných tunelů a předpokládané životnosti díla relativně malých poloměrů. V případě tunelu Hněvkovský I. je poloměr směrového oblouku $R = 754$ m, u tunelu Malá Huba pak $R = 850$ m. Vzhledem k návrhové rychlosti 160 km/h a malému poloměru směrových oblouků je nutno provést rozšíření profilu tunelu. Minimalizace plochy příčného řezu tunelu je docílena odsazením osy tunelu od osy kolejí o 160 mm. Geometrické parametry tunelu jsou patrné ze vzorových příčných řezů (viz obr. 3 a 4). Stupeň rozpracování projektové dokumentace v době zahájení prací na stavební části tunelů již neumožňoval provést korekci navrženého směrového a výškového řešení. Z hlediska sklonových poměrů klesá v případě tunelu Hněvkovský I. trať ve směru staničení spádem 0,24 ‰ až 0,89 ‰. Nedostatečný sklon značně komplikuje situaci při odvodnění tunelu a zvyšuje nároky jak při výstavbě (přesnost prováděných činností drenáží), tak zejména po celou dobu životnosti tunelu, kdy lze vzhledem ke složitosti odvodňovacího systému očekávat zvýšené riziko sedimentace jemných částic v potrubí. V případě tunelu Malá Huba je situace o málo lepší a sklon 4,221 ‰ se z hlediska odvodnění pohybuje těsně nad požadovaným minimem, které činí v zastížených inženýrskogeologických podmínkách 3 ‰.

POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

Na základě požadavku investora byl tvar příčného řezu tunelu řešen podle návrhu novely normy ČSN 73 7508 Železniční tunely, která definuje nové požadavky na prostorové uspořádání příčného řezu tunelu a v době zpraco-



Obr. 3 Vzorový příčný řez – hloubený tunel se záchranným výklenkem
Fig. 3 Typical cross section – cut and cover tunnel with a safety recess

the west, north and east. The river plain lies at an altitude of 316 to 317 m a.s.l. The rock mass along the tunnel route consists of proterozoic metamorphic rocks of the Záhřeb crystalline complex represented mostly by phyllites. From the petrographical point of view, also mica schists, metagreywacke, metasiltstones and metaphyllites are present in the massif. Prevailing muscovite-biotitic phyllites are found in this location in various shades of grey to grey-green colour. The rocks have developed marked foliation. The direction and dip of the planes of foliation change very frequently as a result of the rock mass folding. The distance of the planes of foliation varies from 3 to 10 mm. The rock mass is fractured irregularly and omnidirectionally, cracks are mostly tight, often filled with iron oxides. In the vicinity of some fault zones the rock mass is disturbed, even broken. In isolated cases, even interbeds of tectonic clay up to 0.4 m thick have been documented. In terms of strength, rock types of medium to high strength classes R3 and R2 prevail in the massif. Their cover, i.e. the layer of heavily weathered, heavily fractured and loosened rock, consists mostly of rock types with very low to low strength of R5 - R2 classes. In general, in terms of the degree of weathering, the rock mass along the tunnel alignment can be assessed as little weathered to sound, while little to moderately weathered rock is found in the vicinity of the eastern portal. A relict of Cretaceous sediments in a form of sandy siltstones remained in the overburden in the direction towards the eastern portal. It does not extend to the area of the future excavation.

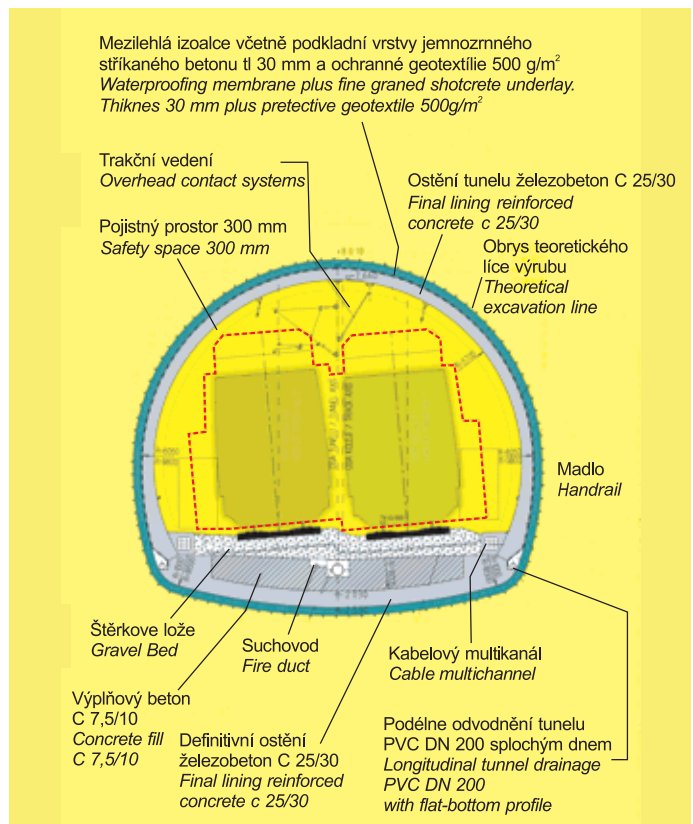
HORIZONTAL AND VERTICAL ALIGNMENT

An in advance elaborated design of horizontal and vertical alignment of the route was used as a basis for the development of the vertical for the civil part of the construction. Both tunnels are located on horizontal curves, whose radii are relatively small. If we consider the capital expenditures to be spent on the newly built tunnels and the expectation of life of the structures. The radius of the directional curve on the Hněvkov I tunnel and the Malá Huba tunnel is 754 m and 850 m respectively. Due to the design speed of 160 km/h and the small diameter of the directional curves, the tunnel cross section has to be enlarged. A minimisation of the tunnel cross section was achieved by offsetting the tunnel axis from the rail track centre line by 160 mm. Geometrical parameters of the tunnel are shown in typical cross section drawings (see Fig. 3 and 4). The high degree of completion of the design at the moment when the work on the civil part of the tunnels was started did not allow corrections to be made in the horizontal and vertical alignment design.

Regarding the gradient, the track in the Hněvkov I tunnel descends in the direction of chainage at a 0.24 ‰ to 0.89 ‰ grade. This insufficient gradient complicates the situation in terms of the possibility of its draining significantly. It increases the demands both in the construction period (preciseness of the drainage laying operations) and, above all, throughout the tunnel life period when the risk of fine particles sedimentation in the pipeline due to the complexity of the drainage system increases. The situation is slightly better on the Malá Huba tunnel. Its gradient of 4.221 ‰ hovers, in terms of the drainage, just above the minimum required, i.e. 3 ‰ for the engineering and geological conditions encountered.

DESIGN DESCRIPTION

Based on client's requirement, the tunnel cross section was designed in accordance with a draft revision of the ČSN 73 7508 "Railway tunnels". This draft standard revision defines new requirements for the configuration of a tunnel cross section. The draft had been approved by the Czech Standardisation Institute neither before nor during the design development. The structure has



Obr. 4 Vzorový příčný řez – ražený tunel
Fig. 4 Typical cross section – mined tunnel

vání dokumentace ještě nebyla schválena Českým normalizačním institutem. Konstrukce je navržena tak, aby vyhovovala sdruženému tunelovému průjezdnému průřezu pro elektrizovanou trať. Zásadní změnou ovlivňující velikost plochy výrubu, kterou novelizovaná norma přináší, je zvětšení pojistného prostoru z původních 150 mm na 300 mm. K dalším parametřům určujícím rozměry tunelů patří výška průjezdného průřezu 6 m a vzdálenost os kolejí 4 m. Minimální rozdíl velikostí směrových oblouků, a tím i převýšení kolejí umožnil pro oba tunely navrhnout tožný tvar konstrukce. Malá délka obou tunelů i příznivá vzdálenost staveb nabízejí při betonáži definitivního ostění možnost použití jediného bedničnického vozu. Konstrukci tunelu raženého NRTM tvoří primární a sekundární ostění s mezilehlou izolací. Revidované TKP 20 nepřipouštějí u novostaveb železničních tunelů průsaky vody ostěním. Hydrogeologické poměry zájmového území umožňují zajistit požadovanou třídu vodotěsnosti systémem „deštník“, a mezilehlá plášťová izolace je proto navržena pouze v oblasti horní klenby tunelu. Voda je sváděna k opěři a pomocí podélné tunelové drenáže dále k vjezdovým portálům tunelů. Malý podélný sklon tunelu Hněvkovský I. umožňuje odvádění vody k portálu průběžnou podélnou drenáží. Nedostatečný spád je v případě boční drenáže řešen podélným „zazubením“ se sklonem větším než sklon tratě. Omezené prostorové možnosti za rubem definitivního ostění v oblasti patek umožňují návrh minimálního sklonu drenáže 3 ‰ pouze na vzdálenost max. 24 m. To vede k zdvojnásobení počtu šachet na čištění drenáže, které jsou umístěny jak v každém záchranném výklenku, tak i v prostoru kolejí v ose tunelu. V místě šachet je voda sváděna příčnou drenáží do střední tunelové stoky, jejíž sklon nekoresponduje se sklonem tratě, a v podélném směru dochází k jejímu zahloubení až na úroveň spodní klenby tunelu. Půdorysné schéma odvodnění je uvedeno na obr. 5.

Odvodnění tunelu Malá Huba podélnou drenáží umožňuje odvedení vody z bočních drenáží i střední tunelové drenáže v jednotném sklonu k vjezdovému portálu tunelu. Oba systémy nejsou propojeny a střední tunelová drenáž slouží pouze k odvedení vody použité např. při zásahu požárníků v tunelu.

Tloušťka primárního ostění ze stříkaného betonu C16/20 se pohybuje v závislosti na technologické třídě výrubu NRTM od 150 mm do 250 mm.

Sekundární ostění ražených úseků z betonu C25/30 má minimální tloušťku ve vrcholu klenby 350 mm. Směrem k opěři se tloušťka zvětšuje až na cca 600 mm. Ostění hloubeného tunelu (portálových pásů) minimální tloušťky 600 mm tvoří železobetonová konstrukce z betonu C25/30 odolného proti průsakům vody. Betonáž konstrukce definitivního ostění probíhá po blocích délky 12 m do bedničnického vozu. Tunel Hněvkovský I. je navržen v celé délce se spodní klenbou. Stabilitu střední části tunelu Malá Huba, ražené v technologické třídě výrubu III., zajišťuje klenba definitivního ostění založená na patkách. V ostatních částech tunelu je ostění navrženo se spodní klenbou. V ražené části tunelu spojuje horní klenbu a spodní klenbu (resp. patky) kloubový styk. Portálové pásy tvoří rámová konstrukce s vetknutím horní a spodní klenby, která lépe přenáší nesymetrické zatížení zpětným zásypem.

K normou požadovaným bezpečnostním prvkům, které ovlivňují konstrukční řešení, patří záchranné výklenky umístěné v rastru 24 m (v každém druhém tunelovém pásu). V místě výklenků jsou situovány další prvky vybavení tunelu. Jedná se zejména o kabelové šachty, šachty na čištění drenáže, světelná a zásuvková okruha, hydranty požárního vodovodu nebo body pro měření účinků bludných proudů. Pro zvýšení bezpečnosti pracovníků provádějících kontrolu tunelu slouží kromě záchranných výklenků pevná pochozí stezka situovaná na obou stranách tunelu. Osoby v tunelu jsou během pochůzky vystaveny účinkům pistového efektu projíždějícího vlaku. Nezbytnou oporu poskytuje v této situaci madlo upevněné k ostění ve výšce 1,1 m nad úrovní stezky. Pod úrovní stezky vedou kabelové kanály a požární vodovod.

HLOUBENÉ ÚSEKY TUNELŮ

Portálové úseky tunelů tvoří významný krajinný prvek a jejich řešení vyžaduje citlivý přístup jak z hlediska tvaru konstrukce, tak použitých materiálů. Proto jsou portálové svahy a zářezy před tunelem stabilizovány gabionovými zdmi, které díky přírodnímu materiálu konstrukce lépe odpovídají rázu krajiny. Pro posouzení z estetického hlediska slouží počítačové 3D modely území, na základě kterých je vytvořena vizualizace. Vizualizace uvedené na obrázcích 6 až 9 znázorňují umístění stavby v krajině i napojení tunelu na mostní konstrukci před portálem.

Oba tunely vcházejí do hory pod ostrým úhlem. Rozsah hloubených úseků limituje taková výška nadloží, která zajišťuje možnost vytvoření dostatečně únosného horninového prstence v okolí výrubu. U šikmého vedení trasy vzniká v případě hloubených úseků problém nesymetrického zatížení ostění, které nepříznivě ovlivňuje průběhy vnitřních sil a deformací, zvyšuje nároky na dimenze ostění, a tím i celkovou cenu díla (viz obr. 10). Materiál zpětných zásyků je zpravidla výrazně horší geotechnických parametrů než stávající rostlá hornina a není schopen spolu s ostěním plnit nosnou funkci. Působí pouze jako opora s obtížně stanovitelnými geotechnickými parametry a veškeré zatížení přenáší ostění hloubeného tunelu.

Z uvedených důvodů bylo v průběhu projektu snahou zpracovatelů minimalizovat délku hloubených úseků a nalézt takové řešení, které by v maximální možné míře využilo nosné funkce horninového masivu. K tomu přistupovali s požadavkem omezení rozsahu zemních prací v obtížně rozpojitelném horninovém prostředí. Na vjezdovém portálu tunelu Hněvkovský I. dosahuje délka hloubené části 36 m, na ostatních třech portálech je rozsah hloubených částí omezen pouze na portálové pásy délky 12 m. U vjezdových portálů je problematika nízkého nadloží řešena použitím metody „želva“ (viz obr. 11).

Výstavba vjezdového portálu tunelu Malá Huba je ztížena skutečností, že konstrukce portálového pásu přímo navazuje na nově budovaný most přes řeku Moravskou Sázavu. Přístup k portálu i vzájemná koordinace obou staveb bude klást zvýšené nároky na plán organizace výstavby i vlastní provádění.

ÚSEKY RAŽENÉ POD OCHRANOU KLENBY

Úseky tunelů s nízkým nadložím je možno budovat v otevřené stavební jámě

been designed to suit the combined tunnel clearance profile prescribed for electrified tracks. A fundamental change affecting the dimensions of the excavated cross section brought about by the revised standard is an increase in the safety margin size from the original 150 mm to 300 mm. The clearance height of 6 m and track centre distance of 4 m are another parameters defining the dimensions of the tunnels. The minimum difference between the radii of horizontal curves and between the superelevations of the tracks allowed an identical shape of the structure to be designed for both tunnels. The short length of both tunnels and favourable distance between the two construction sites offer a possibility of applying a single mobile shuttering set for the casting. The structure of the tunnel excavated by the NATM consists of primary and secondary liners with intermediate waterproofing.

The revised specifications TKP 20 do not allow any leakage through the lining for newly built rail tunnels. Hydrogeological conditions within the area in question allow an application of an "umbrella" system ensuring achievement of the watertightness class required. Therefore the intermediate watertight jacket was designed for the area of the tunnel vault. Water is diverted to the side wall areas and further, through lateral tunnel drainage, to the tunnel exit portals.

The small longitudinal gradient of the Hněvkov I tunnel does not allow water to be diverted towards the portal through a continuous longitudinal drainage. The lack of gradient in the side drainage has been resolved by a longitudinal "indentation" having its bottom gradient greater than that of the track. The limited space available behind the final lining in the springing area allows the minimum drainage gradient of 3 ‰ to be designed for a maximum distance of 24 m only. As a result, the number of drainage inspection shafts had to be doubled. The shafts are located both in each safety recess and on the tunnel centre line. Water is conveyed from each shaft to the central tunnel conduit through transversal drains. The gradient of the conduit does not correspond with the track gradient. The conduit continually deepens in the longitudinal direction, down to the tunnel invert level. The drainage layout is shown in Fig. 5. The longitudinal drainage system in the Malá Huba tunnel allows evacuation of water through side drains and a central drain to the tunnel exit portal. All drains are laid at a uniform gradient. The two sub-systems are not interconnected. The central drain is to be used for the evacuation of water needed for example for a fire suppression purpose.

The thickness of the C16/20 shotcrete primary liner varies, depending on the NATM excavation class, from 150 mm to 250 mm.

Secondary lining of mined sections is made of C25/30 concrete. Its minimum thickness at the crown is 350 mm. The thickness grows towards the arch springing up to 600 mm. The minimally 600 mm thick lining of the cut-and-cover tunnel (portal sections) is a reinforced concrete structure built using C25/30 water-retaining concrete. The final lining casting is carried out in blocks, by means of a 12 m long moving shutter. The Hněvkov I tunnel design contains an invert structure for the entire length. The stability of the central part of the Malá Huba tunnel, which is driven in excavation class III, is secured by a final lining vault resting on springers. A tunnel lining with invert has been designed for the other tunnel parts. Hinge joints connect the tunnel vault and invert (i.e. the springers) in the mined section. The portal sections consist of a frame structure with hingeless joints between the upper vault and invert. This design carries better the asymmetric loading by the backfill.

Safety recesses required by the standard, located in every other block at 24 m spacing, also affect the design. Also other elements of the tunnel equipment are situated close to the recesses, i.e. cable shafts, drainage inspection shafts, lighting and receptacles installation, fire hydrants or stray current effect measurement points. Apart from the recesses, permanent emergency walkways leading along either side of the tunnel help enhance the safety of the tunnel checking staff. Persons walking in the tunnel are exposed to the piston effect induced by passing trains. A handrail fixed to the tunnel liner 1.1 m above the walkway level provides the support necessary. Cable ducts and the fire main are led under the walkway level.

CUT-AND-COVER TUNNEL SECTIONS

Portal sections of tunnels are a significant landscape feature. Therefore their design requires a sensitive attitude both in terms of the structure's shape and materials used. For that reason the portal slopes and cuts in front of the tunnel are stabilised by gabion walls, which better correspond with the landscape character thanks to the natural material used for their construction. Computer visualisation developed on the basis of 3D models of the area is used for assessing the aesthetic impression. The visualisations shown in figures 6 to 9 depict the positioning of the construction in the landscape and the connection of the tunnel to the bridge structure in front of the portal.

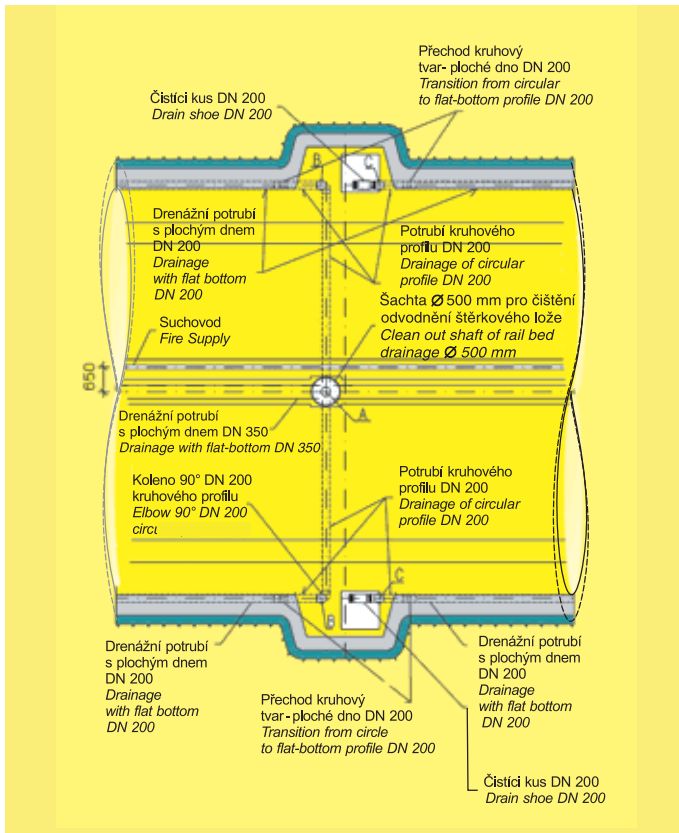
Both tunnels enter the mountain at an acute angle. The length of cut-and-cover sections is determined by the thickness of the overburden, which must allow the creation of a rock ring around the underground opening having a sufficient load bearing capacity. At an alignment coming to the mountain at an angle, a problem exists in cut-and-cover solutions consisting in asymmetric loading of the lining. The asymmetry affects negatively the curves of internal forces and deformations, increases the requirements for the dimensions of the lining and, consequently, results in a higher total cost (see Fig. 10). Geotechnical parameters of the backfill material are usually worse than those of the existing natural rock, therefore the backfill is not capable of bearing the loads jointly with the liner. It acts as a support only, whose geotechnical parameters are hard to determine. The whole load is carried by the cut-and-cover tunnel's lining.

For the above reasons the designers' effort was to minimise the cut-and-cover section length and find such a solution which would make maximum possible use of the load-bearing function of the rock mass. This idea was also supported by a requirement to reduce the scope of earthwork in the hard-to-disintegrate rock environment. The cut-and-cover section of the Hněvkov I tunnel is 36 m long at the entrance portal side, while the extent of the other three cut-and-cover sections is limited to 12 m long portal blocks. The issue of the shallow overburden at exit portals has been resolved by the application of the "Turtle" method (see Fig. 11).

The construction of the Malá Huba entrance portal is made more difficult by the fact that the portal block structure directly links to a newly built bridge over the Moravská Sázava River. The access to the portal and co-ordination of the two construction sites will put increased demands on both the construction organisation plan and the work execution proper.

SECTIONS EXCAVATED UNDER THE PROTECTIVE ARCH

Tunnel sections where a shallow cover exists can be built in an open cut or they can be driven applying special measures, bearing a lower or higher risk of the overburden collapsing. Since neither buildings nor utility services are found above the tunnels, no special technological procedures had to be designed and



Obr. 5 Půdorysné schéma odvodnění tunelu Hněvkovský I.
Fig. 5 Ground plan of the drainage in the Hněvkov I tunnel



Obr. 6 Vjezdový portál tunelu Hněvkovský I.
Fig. 6 The entrance portal of the Hněvkov I tunnel



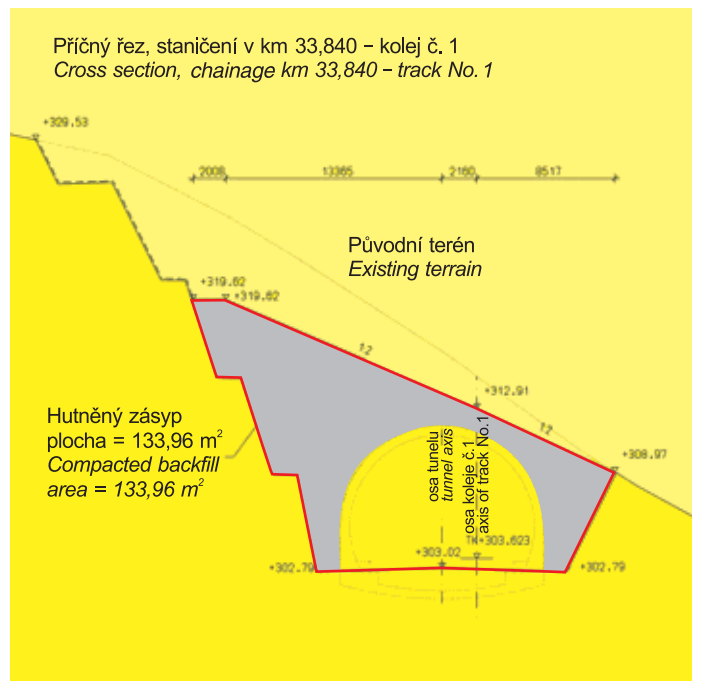
Obr. 7 Výjezdový portál tunelu Hněvkovský I. – zpevnění portálového svahu gabionovou zdí
Fig. 7 The exit portal of the Hněvkov I tunnel – the portal slope supported by a gabion wall



Obr. 8 Vjezdový portál tunelu Malá Huba – napojení tunelu na most přes Moravskou Sázavu
Fig. 8 The entrance portal of the Malá Huba tunnel – the connection of the tunnel to the bridge over the Moravská Sázava River



Obr. 9 Výjezdový portál tunelu Malá Huba – zajištění zářezy gabionovou zdí
Fig. 9 The exit portal of the Malá Huba tunnel – stabilisation of the cut by a gabion wall



Obr. 10 Stavební jáma – nesymetrický zásyp konstrukce hloubeného tunelu na vjezdových portálech
Fig. 10 Construction pit – asymmetric backfilling of the cut-and-cover tunnel structure at entrance portals

nebo razit za zvláštních opatření s větším či menším rizikem prolomení nadloží. Vzhledem k tomu, že se v nadloží tunelů nenacházejí objekty ani inženýrské sítě, nebylo nutno navrhnout zvláštní technologické postupy a vynakládat další finanční prostředky k razbě tunelu hornickým způsobem. Vysoká pevnost a obtížná rozpojitelnost horninového masivu vedla k požadavku snížení objemu zemních prací. Metoda „želva“, navržená na vjezdových portálech obou tunelů, umožňuje snížit hloubku stavební jámy na úroveň kaloty tunelu se všemi výhodami, které tato skutečnost přináší (snížení objemu výkopů a zásypů, zajištění svahů stavební jámy, statické chování konstrukce ostění apod.). Až do úrovně vrcholu klenby budoucího tunelu probíhá odtěžování stavební jámy bez omezení a zvláštních opatření. Sklony jámy jsou navrženy v souladu s geotechnickými parametry zemín, resp. hornin v dané lokalitě. Pod úrovní vrcholu klenby začíná odtěžování se současnou úpravou výkopu do tvaru klenby tunelu. Hornina tvoří přirozené bednění klenby „želvy“. Před zahájením ražby je konstrukce „želvy“ zasypana a povrch území je možno upravit do definitivní podoby. Ražba probíhá následně pod ochrannou klenbu. Kromě již popsaných výhod umožňuje metoda použití stejných technologických postupů a zařízení jako v raženém tunelu, včetně tak nákladného zařízení, jakým je bednicí vůz.

ÚSEKY TUNELŮ RAŽENÉ NRTM

Po prostudování výsledků inženýrskogeologického průzkumu byly ražené úseky rozčleněny do technologických tříd výrubu NRTM. Každá technologická třída výrubu přesně definuje způsob členění výrubu, délku záběru a způsob zajištění stability výrubu po čas ražby. Délka úseku se stejnou technologickou třídou i jeho poloha závisí zejména na kvalitě horninového prostředí, výšce nadloží a vzdálenosti od portálu. Dobrá kvalita horninového prostředí umožňuje s výhodou použít hydraulicky upínatelné svorníky (HUS). Pouze v oblasti portálu v technologické třídě výrubu V. probíhá stabilizace výrubu kotvami SN délky 4 m osazovanými do vrtů s cementovou záplvkou, jejichž vlastnosti lépe vyhovují předpokládanému způsobu porušení masivu.

Požadavky na obsah projektové dokumentace i způsob provádění definují spolu s vyhláškami Českého báňského úřadu i zcela přepracované TKP 20 (zpracovatel ILF Consulting Engineers). Ražba probíhá u obou tunelů od vjezdového portálu s tím, že na vjezdovém portálu je proveden zárodek kaloty a dále v kalotě vyraženo cca 10 m tunelu, aby prorážka probíhala v hoře. Uprášení technologického postupu a způsobu zajištění výrubu provádějí přímo na stavbě odpovědní zástupci stran zúčastněných na výstavbě. Směny mají zásadní vliv na ekonomický výsledek celé stavby tunelu. Podíl činnosti spojených s ražbou a zajištěním výrubu na celkové ceně ukazuje následující graf (viz obr. 12). V obdobném poměru je i míra zodpovědnosti za případné změny.

Jako příklad je použit již realizovaný tunel Vepřek, jehož parametry (tvar přič-

no other costs spent on the tunnel driving carried out by mining methods. The high strength and difficult way of disintegration of the rock mass resulted in a requirement that the earthwork volume be reduced. The "Turtle" method designed for the exit portals of both tunnels allows a reduction of the construction pit depth to the level of the tunnel calotte, with all advantages brought about by this method (reduced volume of excavation and backfill, support of the pit slopes, improved behaviour of the lining structure in terms of statics etc.). The excavation of the construction pit progresses without restrictions and special measures down to the level of the crown of the future tunnel. The angles of the pit slopes have been designed to comply with the geotechnical parameters of the ground or rock in the given location. Under the vault crown level, the excavation is carried out in another manner, forming a "rock mould" having the shape of the future tunnel vault. Eventually, a "turtle mail", i.e. the tunnel vault is cast on this natural formwork. The vault is backfilled before the tunnel excavation proper starting, then the ground surface can be restored. The tunnel excavation is carried out subsequently, under the protection of the vault. In addition to the above advantages, there is another feature of this method consisting in the possibility to use the same technological procedures and equipment as for the mined tunnel section, including such costly equipment as the mobile shuttering.

THE NATM DRIVEN TUNNEL SECTIONS

When the engineering and geological investigation results study had been finished, the sections to be mined were divided into NATM excavation technological classes. Each technological excavation class defines exactly the way of the excavation sequencing, the round length and the method of the excavation supporting during the excavation operations. The length and position of a section for which a particular technological excavation class is defined depend primarily on the rock environment quality, the cover thickness and the distance from the portal. Good quality of the rock environment allows taking advantage of the utilisation of hydraulic expansion shell rockbolts. SN anchors are used for the stabilisation of the portal area excavation only, i.e. for technological excavation class V. Anchors 4 m long are inserted into boreholes filled with cement mortar. Their properties suit better the expected manner of the rock mass failure.

Requirements for the content of the design documentation and for the construction method are defined, apart from the regulations issued by the Czech Bureau of Mines, also by completely revised TKP 20 (elaborated by ILF Consulting Engineers). The excavation of both tunnels starts from the exit portals, with germs of top heading followed by 10 m of top heading excavation carried out at the entrance portals so that the breakthroughs take place inside the mountain. The technological procedure and the manner of the excavation supporting are refined on the job site by responsible representatives of the project participants. The modifications have an essential influence on economic results of the overall tunnel project. How the activities related to the excavation and excavation support account for the total tunnel construction cost is shown in the following chart (see Fig. 12). The extent of responsibility for contingent changes follows a similar distribution pattern.

ZASTOUPENÍ TŘÍD VÝRUBU V TUNELECH

Třída výrubu	V.	IV.	III.	Želva
Malá Huba	64 [m]	44 [m]	168 [m]	24 [m]
Hněvkovský I.	60 [m]	36 [m]	-	36 [m]

DISTRIBUTION OF EXCAVATION CLASSES IN THE TUNNELS

Excavation class	V.	IV.	III.	Turtle
Malá Huba	64 [m]	44 [m]	168 [m]	24 [m]
Hněvkovský I.	60 [m]	36 [m]	-	36 [m]

ného řezu, délka tunelu, způsob zajištění výrubu apod.) přibližně odpovídají popisovaným tunelům. Uvedené hodnoty odpovídají kontrolnímu rozpočtu v úrovni projektu stavby.

Tunel Hněvkovský I.

V celé délce raženého úseku se jedná o případ tunelu prováděného s nízkým nadložím, jehož výška se pohybuje v rozmezí od 6 do 12 m. Tomu odpovídá i zvolený technologický postup výstavby a způsob zajištění stability výrubu. Ražba probíhá dovrchně proti směru staničení tratě, tj. od začátku raženého úseku v km 33,983 až do staničení km 33,851. Pro větší přehlednost a možnost snadší orientace v tunelu během stavebních prací je osa tunelu staničena ve směru ražby v tunelových metrech. Počátek staničení je totožný se začátkem raženého úseku.

Pro předpokládané geotechnické podmínky byly stanoveny 2 základní technologické třídy výrubu NRTM (TV-IV. a TV-V.). Technologický postup prací probíhá podle zásad NRTM. Stabilitu výrubu při ražbě kaloty zajišťuje zpočátku konstrukce želvy, která plní funkci primárního ostění. Ražba jádra pod želvou odpovídá zásadám platným pro technologickou třídu výrubu V. Vzhledem k zastíženým inženýrskogeologickým poměrům nelze provádět rozpojování hornin bez použití trhacích prací. Primární ostění tvoří stříkaný beton se sítí, příhradovými nosníky a kotvami. Profil tunelu je horizontálně členěn na kalotu, jádro a počvu. V podélném směru vzdálenost jednotlivých čleeb závisí na zastížených geotechnických podmínkách a je určena technologickou třídou výrubu. Ražba probíhá dovrchně od vjezdového portálu směrem k vjezdovému portálu. Z hlediska odvodnění po dobu výstavby je nutno zřizovat pracovní jímky a vodu čerpat do usazovací jímky před raženým portálem tunelu. Prakticky nulový podélný sklon tunelu neumožňuje odvádět vodu samospádem. Vzhledem k očekávaným malým přítokům podzemní vody půjde zpravidla o vodu technologickou, zejména z vrtání kotev a vrtů pro trhací práce. V technologické třídě výrubu V. zvyšuje stabilitu přístrojů deštník z „jehel“ (betonářská ocel Ø 25 mm délky 4 m) osazovaných do vrtů s roztečí 400 mm v každém druhém záběru. Navržené opatření rovněž snižuje možnost vzniku nadvýrubů, a tím i spotřebu stříkaného betonu na jejich vyplnění. Třída výrubu IV. je určena do střední části tunelu, tj. do oblasti s vyšším nadložím.

Tunel Malá Huba

Technologický postup i princip výstavby odpovídá zásadám popsaným v části týkající se tunelu Hněvkovský I. Vzhledem k výšce nadloží, dosahující až 40 m, parametřům horninového masivu a větší délce tunelu byl ražený úsek rozdělen do tří technologických tříd výrubu. Doplněná technologická třída výrubu III. je určena do nejlepších geotechnických poměrů. Ražba v tomto úseku probíhá bez provádění spodní klenby a výtůž primárního ostění příhradovými rámy je navržena pouze v kalotě. To umožňuje spolu se zvětše-

The already completed tunnel Vepřek, whose parameters (cross section shape, tunnel length, excavation support method etc.) are roughly identical with those of the tunnels described in this article, is used as an example. The values stated correspond to a check estimate at the final design level.

The Hněvkov I Tunnel

This tunnel is along its overall length an example of tunnels excavated under a shallow cover, whose thickness varies from 6 to 12 m. The technological procedure and the manner of the excavation support have been chosen to respect this fact. The tunnel is excavated uphill, in the direction contrary to the track chainage direction, i.e. from the starting point of the mined section at km 33,983 up to the chainage of km 33,851. For clearer arrangement and easier orientation in the tunnel during the works execution, the tunnel chainage measured in metres of the tunnel follows the excavation direction. The chainage beginning is identical with the mined section starting point.

Two basic technological NATM excavation classes (EC-IV and EC-V) have been used for the definition of the anticipated geotechnical conditions. The technological procedure corresponds to the NATM rules. The excavation stability during the initial top heading excavation phase is secured by the "turtle", i.e. the vault, having the function of primary lining. The bench under the vault is excavated according to the NATM rules valid for the technological excavation class V. Due to the engineering and geological conditions encountered it is impossible to break the rock without blasting. The primary lining consists of shotcrete with mesh, lattice girders and anchors. The tunnel cross section is divided horizontally into top heading, bench and invert. Longitudinally, the distance of individual partial faces depends on the geotechnical conditions encountered, and is determined by the technological excavation class. The excavation is carried out uphill from the exit portal towards the entrance portal. The evacuation of water during the works execution requires working sumps to be built with water being pumped from the sumps to a sedimentation tank set in front of the mined tunnel portal. Virtually zero longitudinal tunnel grade does not allow water to gravitate out. The expected groundwater inflows are small therefore water in the tunnel will usually come from technological processes, mainly drilling for anchors and blasting. The crown stability in technological excavation class V is improved by spiles forming an umbrella (concrete reinforcement bars 25 mm in diameter, 4 m long), inserted into boreholes at 400 mm spacing in every other round. The designed measure also diminishes the possibility of overbreaks and consequent consumption of shotcrete used for backfilling of the voids. The excavation class IV is determined for the central part of the tunnel, i.e. for the higher overburden section.

The Malá Huba Tunnel

The technological procedure and the construction principle follow the rules described above in the part concerning the Hněvkov I tunnel. Because of the overburden depth reaching up to 40 m, the rock mass parameters and greater length of the tunnel, the mined section of the tunnel was divided into three technological excavation classes. The technological excavation class III added is used for the best geotechnical conditions. This section is excavated without

ZÁKLADNÍ INFORMACE O TECHNOLOGICKÝCH TŘÍDÁCH VÝRUBU NRTM
BASIC INFORMATION ON TECHNOLOGICAL NATM EXCAVATION CLASSES

Popis <i>Description</i>	Třída výrubu III. <i>Excav. Class III</i>	Třída výrubu IV. <i>Excav. Class IV</i>	Třída výrubu V. <i>Excav. Class V</i>
Plocha výrubu kaloty <i>Top heading excavation cross section</i>	57,978 m ²	58,937 m ²	59,903 m ²
Plocha výrubu jádra <i>Bench excavation cross section</i>	35,379 m ²	35,598 m ²	35,917 m ²
Plocha výrubu počvy <i>Invert excavation cross section</i>	7,717 m ²	19,005 m ²	20,817 m ²
Tloušťka primárního ostění <i>Primary lining thickness</i>	150 mm	200 mm	250 mm
Délka záběru v kalotě <i>Top heading round length</i>	2,0 m	1,4 m	1,0 m
Použité kotvy <i>Anchors applied</i>	HUS, L = 3 m HES, L = 3 m	HUS, L = 4 m HES, L = 4 m	SN, L = 4 m SN, L = 4 m
Výztuž primárního ostění <i>Primary lining reinforcement</i>	1 x síť, rámy v kalotě h = 100 mm 1 x mesh <i>girders at top heading</i> h = 100 mm	2 x síť, rámy h = 120 mm 2 x mesh <i>lattice girders</i> h = 120 mm	2 x síť, rámy h = 150 mm 2 x mesh <i>lattice girders</i> h = 150 mm
Předpokládaná deformace <i>Anticipated deformations</i>	≤ 30 mm	≤ 40 mm	≤ 50 mm

nou délkou záběru až na max. 2 m podstatně zrychlit ražbu, a tím i snížit výslednou cenu za metr vyraženého tunelu.

ZÁVĚR

Při trasování nových tratí by bylo vhodné přistupovat k návrhu trasy s vědomím, že tunely jsou stavby velmi nákladné a mají svá specifika. Při rozhodování o umístění tunelu zpravidla hraje zásadní roli cena, která odpovídá délce tunelu. Je však otázkou, zda nejkratší tunel představuje z hlediska dlouhodobé perspektivy vždy tu neoptimálnější variantu. V komplikované finanční situaci vede snaha o minimalizaci výkupu pozemků a zkrácení tunelové části stavby často k „uvěznění“ kolejového řešení do tunelu ve směrovém oblouku malého poloměru. V konečném důsledku tato „úspora“ znamená degradaci tratě na několik generací a prakticky vylučuje možnost vylepšení parametrů trati v budoucnosti.

Nová rakouská tunelovací metoda se již pomalu začíná v případě železničních tunelů v síti Českých drah zabydlovat. Po úspěšné realizaci tunelu Vepřek (projekt ILF Consulting Engineers, realizace Metrostav), slavnostně uvedeném do provozu 27. 5. 2002, následovaly projekty tunelů Krasíkovecký I. a II. (Metroprojekt Praha) a Nového spojení (SUDOP Praha). Pokud pomineme Nový třebovický tunel (ILF Consulting Engineers), navržený jako ražený pod ochranou stropní desky a podzemních stěn, a jednokolejný tunel Břeženský, kde v současné době probíhá ražba metodou obvodového vrubu (projekt SUDOP Praha, realizace Metrostav), budou nebo již jsou ostatní železniční tunely raženy pomocí NRTM. Tato skutečnost ukazuje, že NRTM je moderní metodou použitelnou v širokém spektru horninových prostředí, která umožňuje dosažení příznivých ekonomických výsledků.

Rok 2003 bude v České republice rokem železničních tunelů. V průběhu roku bude ve výstavbě 7 ražených železničních tunelů, což je stav, který nemá v historii Českých drah obdoby. Jedná se o jasný signál, že modernizace železničních koridorů a rozvoj železniční dopravy zastává v České republice nezastupitelné místo. Úspěšná realizace staveb s dobrými technickoekonomickými výsledky představuje společný cíl investorů, projektantů i dodavatelů.

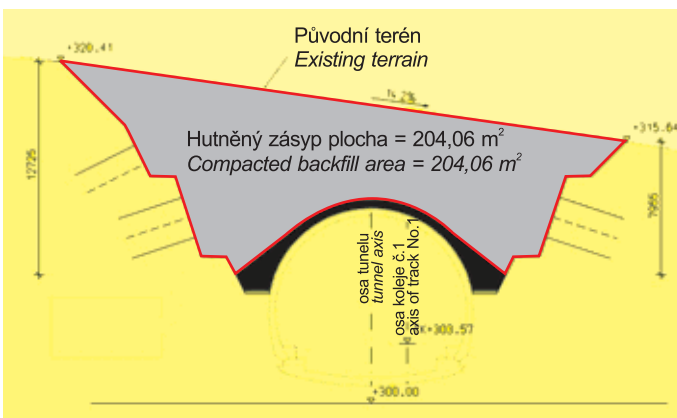
the invert execution, and the reinforcement of the primary lining by lattice arches has been designed for the top heading excavation only. This, together with the round length increased up to 2 m, allows a substantial acceleration of the excavation work and, as a result, also a reduction of the final unit cost of one excavated meter of the tunnel.

CONCLUSION

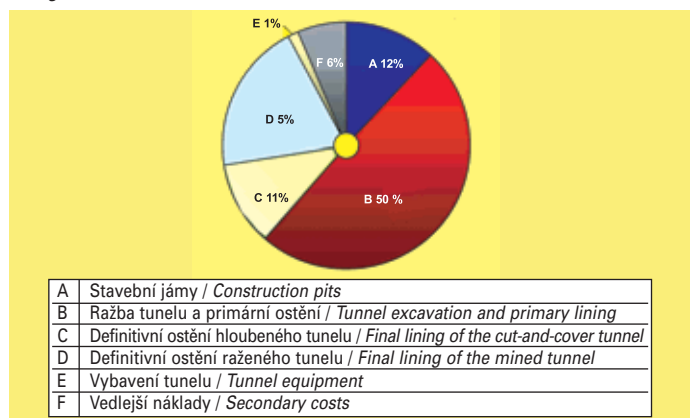
It would be reasonable during the process of designing alignments of new tracks to realise that tunnels are very expensive structures and that they have their own particulars. Usually the deciding factor in the process of selecting the tunnel location is the initial cost, which depends on the tunnel length. Although, whether the shortest tunnel variant is always the optimal one is questionable in terms of a long term perspective. In a complicated financial situation, an effort to minimise the need for buying land and achieve as short tunnel section length as possible often leads to a decision to "confine" the rail track within a tunnel whose horizontal curve diameter is too small. Eventually, this "saving" means a degradation of the track for several generations ahead and virtually makes a future improvement of the track impossible.

The application of the New Austrian Tunneling Method to railway tunnels becomes gradually established within the network of Czech Railways' tracks. Designs for the Krasíkovecký I and II tunnels (Metroprojekt Praha) and the New Connection (SUDOP Praha) followed after the successful completion of the Vepřek tunnel construction (ILF Consulting Engineers designer, Metrostav a.s. contractor), which was inaugurated on 27 May 2002. If we dismiss the New Třebovické cover-and-cut tunnel (ILF Consulting Engineers) excavated under the protection provided by the roof deck and diaphragm walls, and the Břežno single-track tunnel which is currently being excavated by the mechanical pre-cutting method (SUDOP Praha designer, Metrostav a.s. contractor), the other rail tunnels will be or are being driven by the NATM. This fact proves that the NATM is a modern method applicable within a wide range of rock environments, which allows favourable economic results to be reached.

The year 2003 will be the year of rail tunnels in the Czech Republic. Seven rail tunnels will be under construction during the year. There has been no analogy to this state in the history of Czech Railways. It signals clearly that the process of upgrading railway corridors and developing the rail transport is keeping an irreplaceable position. This is because successful implementation of projects achieving good technical and economic results is a common goal of investors, designers and contractors.



Obr. 11 Snížení rozsahu zemních prací použitím metody „želva“ na výjezdových portálech
 Fig. 11 Reduction in the earthwork scope at exit portals by means of the "Turtle" method



Obr. 12 Finanční zastoupení jednotlivých etap výstavby tunelu Vepřek
 Fig. 12 Distribution of finances among the individual phases of the Vepřek tunnel construction