

Projekt dvoukolejných železničních tunelů Malá Huba a Hněvkovský I. na traťovém úseku Zábřeh - Krasíkov

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

1 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 přípojné větve II. koridoru.

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

ZÁKLADNÍ PARAMETRY TUNELU		
Popis	Hněvkovský I.	Malá Huba
Délka tunelu	180 m	324 m
Ražená část + želva	132 m	300 m
Hloubená část	36+12 = 48 m	12+12 = 24 m
Podélný sklon	0,24 ‰ - 0,89 ‰	4,221 ‰
Poloměr směrového oblouku	754 m	850 m
Poloměr výškového oblouku	11 000 m	-
Výška nadloží	6 – 12 m	6 – 40 m

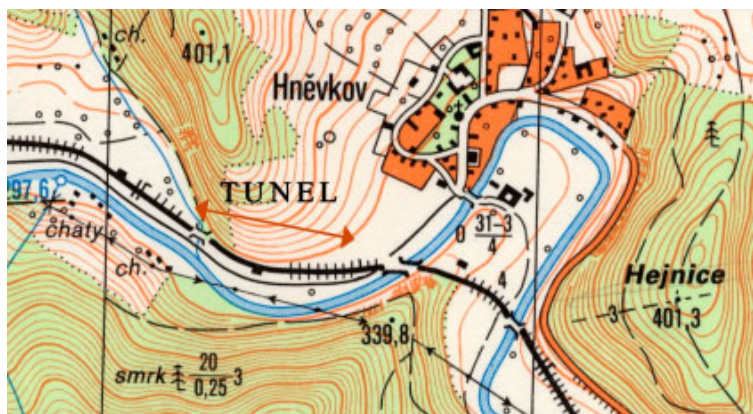
s použitím NRTM. Projektová dokumentace zohledňuje požadavky návrhu nové normy ČSN 737508 „Železniční tunely“ i nově přepracovaných technických kvalitativních podmínek staveb českých drah „ČD TKP 20 Tunely“.

2 INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY

2.1 Tunel Hněvkovský I.

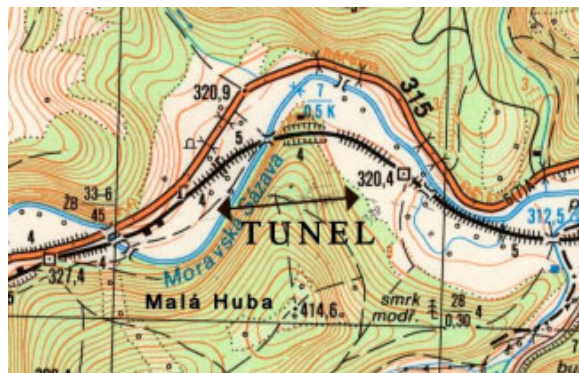
Trasa tunelu prochází pod jižním výběžkem vrchu Plechovec. Nadmořská výška povrchu terénu v trase tunelu kolísá od 298 m n. m. do 325 m n.m. Horninový masiv tvoří proterozoické metamorfované horniny zábřežského krystalinika. Z petrografického hlediska se v horninovém masivu vyskytují kvarcitické ruly, 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 $l \cdot s^{-1}$.



2.2 Tunel Malá Huba

Trasa tunelu prochází pod severním výběžkem vrchu Malá Huba s nadmořskou výškou 415 m. n.m. 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 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, metadroby, metaprachovce a metapelyty. Převažující muskovit-biotitické fylity se na lokalitě vyskytují v různých odstínech šedé až šedozelené barvy. Horniny mají vyvinutou výraznou foliaci. Směr a sklon foliačních ploch se však často mění, což je způsobeno provrásněním 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 zvětralých, silně rozpukaných 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 zvětrání jako navětralý až zdravý a v blízkosti východního portálu navětralý až slabě zvětralý. Směrem k východnímu portálu se v nadloží metamorfovaných hornin zachoval relikt křídových sedimentů v podobě písčitých slínovců, které nezasahují do prostoru budoucí ražby.



3 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 docíleno odsazením osy tunelu od osy kolejí o 160 mm. Geometrické parametry tunelu jsou patrné ze vzorových příčných řezů. Stupeň rozpracování projektové dokumentace v době zahájení prací na stavební části tunelů již neumožňoval provést korekci navrženého směrového a výškového řešení.

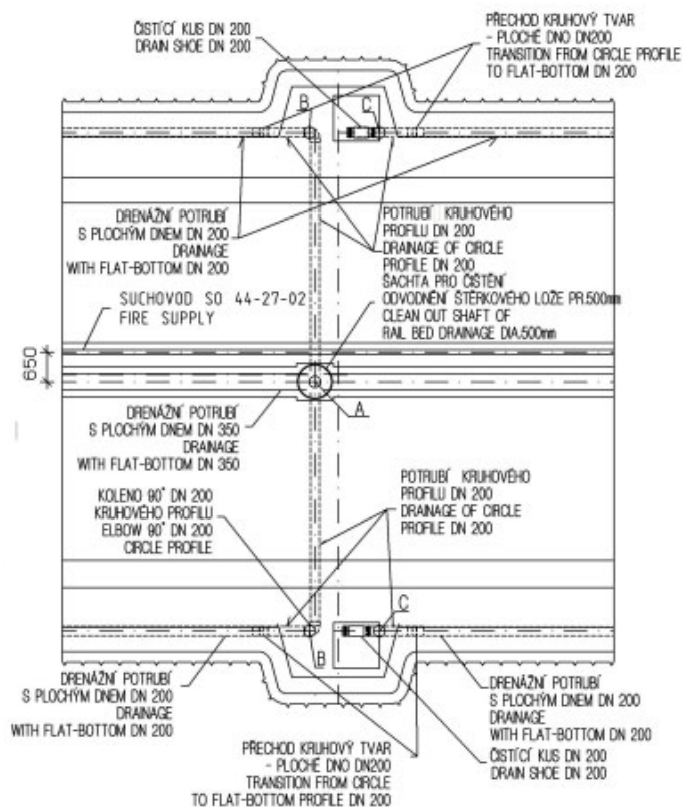
Z hlediska sklonových poměrů klesá v případě tunelu Hněvkovský I. trať ve směru staničení spádem 0,24‰ až 0,89‰. Nedostatečný sklon značně komplikuje situaci při odvodnění tunelu a zvyšuje nároky jak při výstavbě (přesnost provádění tunelových drenáží), tak zejména po celou dobu životnosti tunelu, kdy 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 zastižených inženýrskogeologických podmínkách 3‰.

4 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 zpracování 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 parametrům určujícím rozměry tunelů patří výška průjezdného průřezu 6 m a vzdálenost os kolejí 4 m. Minimální rozdíl velikosti směrových oblouků a tím i převýšení kolejí umožnil pro oba tunely navrhnout totožný tvar konstrukce. Malá délka obou tunelů i příznivá vzdálenost staveb nabízí při betonáži definitivního ostění možnost použití jediného bednicího 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 výjezdovým portálům tunelů.

Malý podélný sklon tunelu Hněvkovský I. neumožňuje odvádění vody k portálu průběžnou podélnou drenáží. Nedostatečný sklon 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 kolejistiže v ose tunelu. V místě šachet je voda svedena 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 tunelu Hněvkovský I.



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

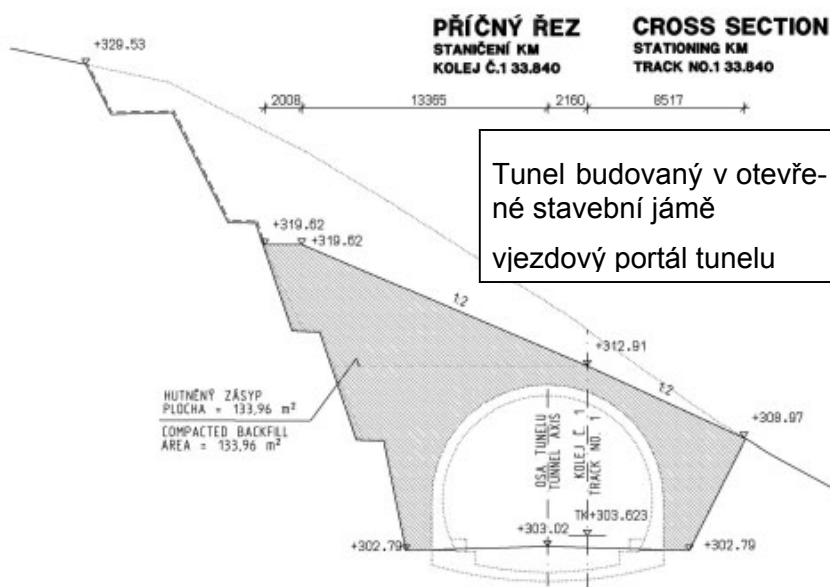
Tloušťka primárního ostění ze stříkaného betonu C25/30 se pohybuje v závislosti na technologické třídě výrubu NRTM od 150 mm do 250 mm.

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 bednicího 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 i další prvky vybavení tunelu. Jedná se zejména o kabelové šachty, šachty na čištění drenáže, světelný a zásuvkový okruh, 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 pístového 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.

4.1 HLOUBENÉ ÚSEKY TUNELŮ

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 statických veličin, zvyšuje nároky na dimenze ostění a tím i celkovou cenu díla. Materiál zpětných zásypů je zpravidla výrazně horších 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

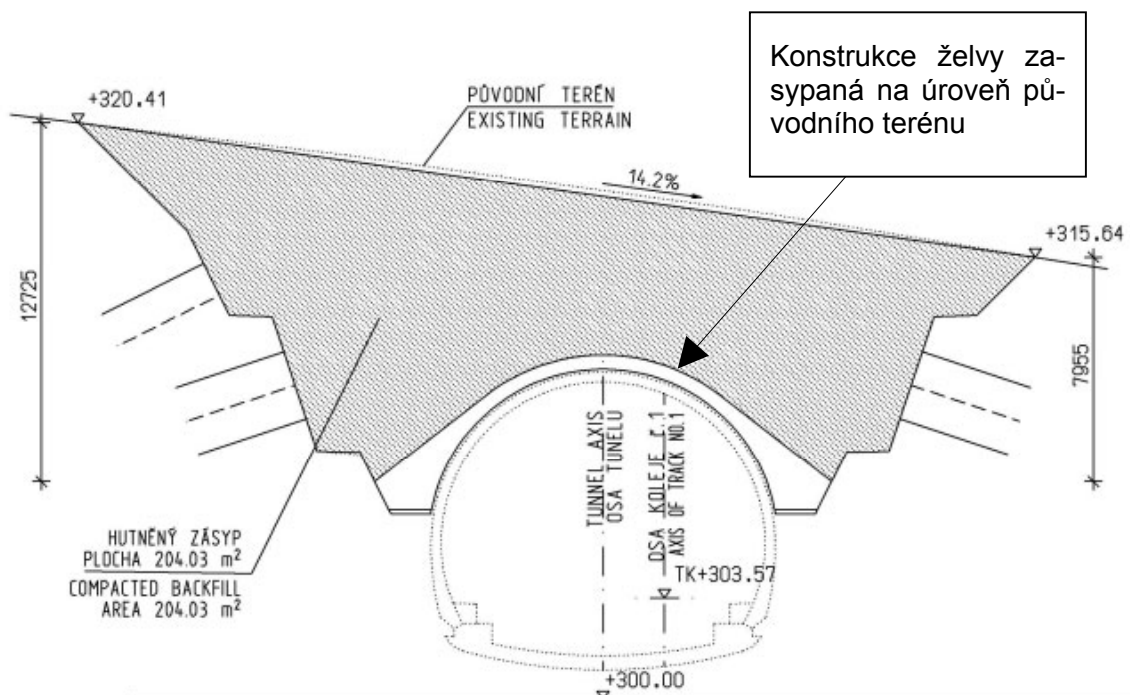


projektu snahou zpracovatelů minimalizovat délku hloubených úseků a nalézt takové řešení, které by v maximální možné míře využilo nosné funkce horninového masivu. K tomu přistupoval i požadavek omezení rozsahu zemních prací v obtížně rozpojitém horninovém prostředí. Na vjezdovém portálu tunelu Hněvkovský I. dosahuje délka hloubené části 36 m, na ostatních třech portálech je rozsah hloubených částí omezen pouze na portálové pásy délky 12 m. U výjezdových portálů je problematika nízkého nadloží řešena použitím metody „želva“.

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.

4.2 ÚSEKY RAŽENÉ POD OCHRANOU KLENBY

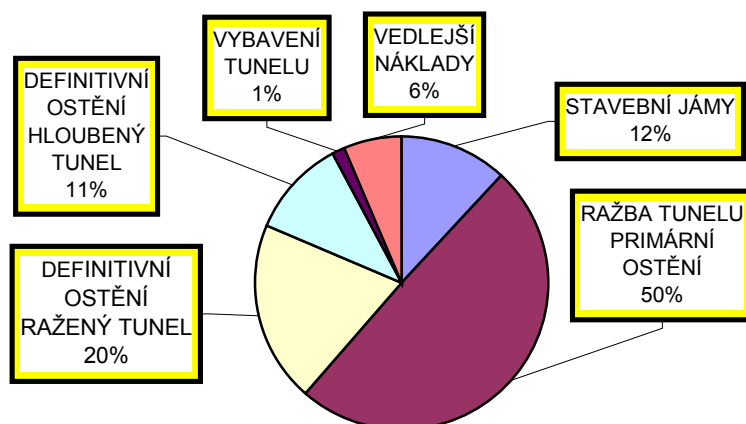
Úseky tunelu s nízkým nadložím je možno budovat v otevřené stavební jámě nebo razit za zvláštních opatření s větším či menším rizikem prolomení nadloží. Vzhledem k tomu, že se v nadloží tunelů nenachází objekty ani inženýrské sítě, nebylo nutno navrhovat zvláštní technologické postupy a vynakládat další finanční prostředky k ražbě tunelu hornickým způsobem. Vysoká pevnost a obtížná rozpojitelnost horninového masivu vedla k požadavku snížení objemu zemních prací.



Metoda „želva“, navržená na výjezdových 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 zemin, 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“ zasypána a povrch území je možno upravit do definitivní podoby. Ražba probíhá následně pod ochranou klenby. Kromě již popsaných výhod umožňuje

s ražbou a zajištěním výrubu na celkové ceně ukazuje následující graf. V obdobném poměru je i míra zodpovědnosti za případné změny.

Jako příklad je použit již realizovaný tunel Vepřek, jehož parametry (tvar příčného řezu,



FINANČNÍ ZASTOUPENÍ JEDNOTLIVÝCH ETAP VÝSTAVBY
KONTROLNÍ ROZPOČET PROJEKTU STAVBY TUNELU VEPŘEK

délka tunelu, způsob zajištění výrubu apod.) přibližně odpovídají popisovaným tune-
lům. Uvedené hodnoty odpovídají kontrolnímu rozpočtu v úrovni projektu stavby.

4.3.1 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 dovrčně proti směru staničení tratě, tj. od začátku raženého úseku v km 33.983 až do staničení km 33.851. Pro větší přehlednost a možnost snazší orientace v tunelu během stavebních prací je osa tunelu staničena ve směru ražby v tunelových metrech. Počátek určuje poloha raženého portálu.



Pro předpokládané geotechnické podmínky byly stanoveny 2 základní technologické třídy výrubu NRTM (TV-IV. a TV-V.). Zahájení prací probíhá pod ochranou konstrukce želvy s technologickým postupem podle zásad NRTM. Ražba jádra pod želvou odpovídá technologické třídě výrubu V. Vzhledem k zastiženým 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 čeleb závisí na zastižených geotechnických podmínkách a je určena technologickou třídou výrubu. Ražba probíhá dovrchně od výjezdového portálu směrem k vjezdovému portálu. Z hlediska odvodnění po dobu výstavby je nutno zřízovat 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 přístropí 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 oblastí s vyšším nadložím.

4.3.2 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, parametrům 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 výztuž primárního ostění příhradovými rámy je navržena pouze v kalotě. To umožňuje spolu se zvětšenou délkou záběru až na max. 2

m podstatně zrychlit ražbu a tím i výslednou cenu za metr vyraženého tunelu.

ZÁKLADNÍ INFORMACE O TECHNOLOGICKÝCH TŘÍDÁCH VÝRUBU NRTM			
Popis	Třída výrubu III.	Třída výrubu IV.	Třída výrubu V.
Plocha výrubu kaloty	57,978 m ²	58,937 m ²	59,903 m ²
Plocha výrubu jádra	35,379 m ²	35,598 m ²	35,917 m ²
Plocha výrubu počvy	7,717 m ²	19,005 m ²	20,817 m ²
Tloušťka primárního ostění	150 mm	200 mm	250 mm
Délka záběru v kalotě	2,0 m	1,4 m	1,0 m
Použité kotvy	HUS, L = 3 m	HUS, L = 4 m	SN, L = 4 m
Výztuž primárního ostění	1 x síť, rámy v kalotě h = 100 mm	2 x síť, rámy h = 120 mm	2 x síť, rámy h = 150 mm
Předpokládaná deformace	≤ 30 mm	≤ 40 mm	≤ 50 mm

5 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 Krasíkovský 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 Březenský, 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 technicko-ekonomickými výsledky představuje společný cíl investorů, projektantů i dodavatelů.