

# PROJEKT DVOUKOLEJNÝCH ŽELEZNIČNÍCH TUNELŮ HALÁ 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 projektu stavby dvoukolejných železničních tunelů, které jsou součástí traťového úseku Zábřeh na Moravě – Krasíkov. Projektovou dokumentaci zpracovala firma ILF Consulting Engineers, s. r. o. jako subdodávku pro firmu SUDOP Praha, a.s. Ražba obou tunelů předpokládá použití Nové rakouské tunelování metody (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 kvarciticke ruly, pararuly a fylity. Horniny 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, která výběžek ze západu, severu a východu u paty obtéká. Údolní niva leží v nadmořské výšce 316 až 317 m n.m. Horninový masiv 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 metapelity. Převažující muskovit-biotitické fylity se na lokalitě vyskytují v různých odstínech šedé až šedozelené barvy. Horniny mají vyvinutou 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 relict křídových sedimentů v podobě písčitých slínovců, které nezasahují do prostoru budoucí ražby.

### 3 SMĚROVÉ A VÝŠKOVÉ VEDENÍ TRASY

Oba tunely leží ve směrových obloucích, které jsou vzhledem k vynaloženým investičním nákladům nově budovaných tunelů a předpokládané životnosti díla relativně malých poloměřů. V případě tunelu Hněvkovský I. je poloměr směrového oblouku v koleji č. 1  $R=754$  m, u tunelu Malá Huba pak  $R=850$  m. Z hlediska sklonových poměrů klesá trať ve směru staničení v případě tunelu Hněvkovský I. 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 (nutnost pravidelného čištění drenáží). 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 IG podmínkách 3 ‰. Osa tunelu nekoresponduje s osou kolejí a odsazení 160 mm umožňuje zmenšit rozměry konstrukce a minimalizovat tak náklady na výstavbu.

### 4 POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

Návrh tvaru příčného řezu tunelu probíhal podle novelizované normy ČSN 73 7508 Železniční tunely, která v době zpracování dokumentace ještě nebyla vydána ČSN. Norma definuje požadavky na prostorové uspořádání. Tunely jsou navrženy tak, aby vyhovovaly sdruženému tunelovému průjezdnému průřezu pro elektrizovanou trať. Zásadní změnou ovlivňující velikost plochy výrubu je zvětšení pojistného prostoru z původních 150 mm na 300 mm. Tvar příčných řezů obou tunelů je totožný. Konstrukci tunelu raženého NRTM tvoří primární a sekundární ostění s mezilehlou izolací. Hydrogeologické poměry zájmového území umožňují navrhnout izolační systém „deštník“ s plášťovou izolací





horní klenby tunelu. Voda je sváděna k opěří tunelu a pomocí podélné tune-  
lové drenáže dále k výjezdovému por-  
tálu tunelu. Malý podélný sklon tunelu  
Hněvkovský I. nedovoluje odvádět  
vodu k portálu průběžnou podélnou  
drenáží. Nedostatečný sklon je  
v případě boční drenáže řešen „nalá-  
máním“ drenáže se sklonem větším,  
než sklon tratě. To vede  
k zdvojnásobení počtu šachet na  
čištění drenáže, které jsou umístěny  
v každém záchranném výklenku a  
v ose tunelu. V místě šachet je voda

svedena příčnou drenáží do střední tune-  
lové stoky, jejíž sklon rovněž neko-  
responduje se sklonem tratě. Tloušťka primárního ostění ze stříkaného betonu se pohybuje podle techno-  
logické třídy výrubu od 150 mm do 250 mm. Sekundární ostění má minimální tloušťku ve  
vrcholu klenby 350 mm. Směrem k opěří se tloušťka zvětšuje. Ostění hloubeného tunelu  
(portálových pásů) minimální tloušťky 600 mm tvoří železobetonová konstrukce z betonu  
C25/30 odolného proti průsakům vody. Betonáž konstrukce probíhá po blocích délky 12 m  
do bednicího vozu. Tunel Hněvkovský I. je navržen v celé délce se spodní klenbou, střední  
část tunelu Malá Huba tvoří ostění založené na patkách. 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. K normou  
požadovaným bezpečnostním prvkům,  
které ovlivňují konstrukční řešení,  
patří záchranné výklenky umístěné  
v rastru 24 m (v každém druhém tune-  
lovém pásu). V místě výklenků jsou  
situovány i další prvky vybavení  
tunelu (kabelové šachty, šachty na  
čištění drenáže, světelný a zásuvkový  
okruh, měření bludných proudů  
apod.).



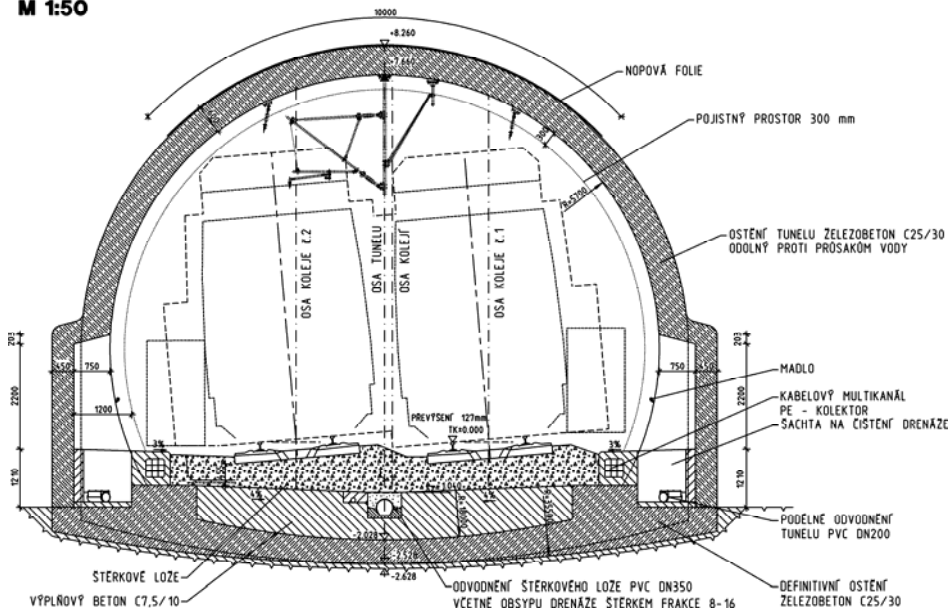
#### 4.1 HLOUBENÉ ÚSEKY TUNELŮ

Oba tunely vcházejí do hory pod ostrým úhlem. Rozsah hloubených úseků limituje taková  
výška nadloží, která zajišťuje možnost vytvoření dostatečně únosného horninového prs-  
tence. U šikmého vedení trasy vzniká v případě hloubených úseků problém nesymetric-  
kého zatížení ostění, které nepříznivě ovlivňuje průběhy statických veličin, zvyšuje nároky  
na dimenze ostění a tím i celkovou cenu díla. Materiál zpětných zásypů je zpravidla vý-  
razně horších geotechnických parametrů než stávající hornina a není schopen spolu  
s ostěním plnit nosnou funkci. Působí pouze jako opora obtížně stanovitelných parametrů a  
veškeré zatížení přenáší ostění hloubeného tunelu. Z uvedených důvodů bylo v průběhu  
projektu snahou zpracovatelů minimalizovat délku hloubených úseků a nalézt takové ře-  
šení, které by v maximální možné míře využilo nosné funkce horninového masivu. K tomu  
přistupoval i požadavek omezení rozsahu zemních prací v obtížně rozpojitelném hornino-

vém prostředí. Na vjezdovém portálu tunelu Hněvkovský I. dosahuje délka hloubené části 36 m, na ostatních 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

#### PŘÍČNÝ ŘEZ V OSE VÝKLENKU – HLOUBENÝ TUNEL

M 1:50



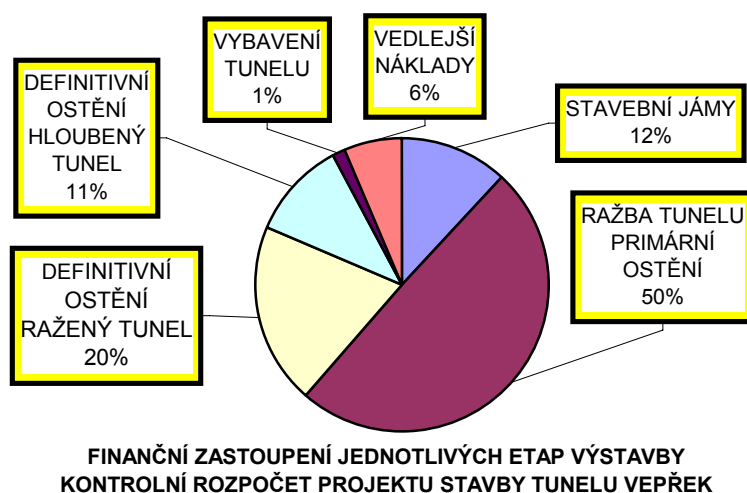
konstrukce portálového pásu přímo navazuje na nově budovaný most přes Moravskou Sázu. Přístup k portálu i vzájemná koordinace obou staveb bude klást zvýšené nároky na návrh organizace výstavby i vlastní provádění.

#### 4.2 METODA „ŽELVA“

Úseky tunelu s nízkým nadložím je možno budovat ve 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 obou výjezdových portálech 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, pod kterou následně probíhá ražba tunelu. Před zahájením ražby je konstrukce „želvy“ zasypána a povrch území je možno upravit do definitivní podoby. Kromě již popsaných výhod umožňuje metoda použití stejných technologických postupů a zařízení, jako v raženém tunelu (včetně tak nákladného zařízení, jakým je bednění vůz).



stejnou technologickou třídou i jeho poloha závisí zejména na kvalitě horninového prostředí, výšce nadloží a vzdálenosti od portálu. Požadavky na obsah projektové dokumentace i způsob provádění definují přepracované TKP 20 – Tunely (ILF Consulting Engineers). Ražba probíhá u obou tunelů od výjezdového portálu s tím, že na vjezdovém portále je proveden zárodek kaloty a vyraženo cca 10 m, aby prorážka kaloty probíhala v hoře. Upřesnění technologického postupu a způsobu zajištění výrubu provádí přímo na stavbě odpovědní zástupci stran zúčastněných na výstavbě. Změny mají zásadní vliv na ekonomický výsledek celé stavby tunelu. Podíl činností spojených 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, hodnoty odpovídají kontrolnímu rozpočtu v úrovni projektu stavby.

#### 4.3.1 Tunel Hněvkovský I.

V případě tunelu Hněvkovský I. se jedná v celé délce úseku o ražbu s nízkým nadložím, jehož výška se pohybuje v rozmezí od 6 do 12 m. Tomu odpovídá i zvolený technologický postup a způsob zajištění výrubu. Začátek raženého tunelu je v km 33.851, konec ve staničení km 33.983. Pro předpokládané geotechnické podmínky byly stanoveny 2 základní technologické třídy výrubu NRTM (TV-IV. a TV-V.). Práce jsou zahájeny pod ochranou konstrukce želvy a výrub probíhá podle zásad NRTM. Ražba jádra pod želvou odpovídá technologické třídě výrubu V. Rozpojování hornin nelze provádět vzhledem k zastíženým IG poměrům 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 zastížených geotechnických podmínkách a je určena technologickou třídou výrubu. Ražba probíhá dovrchně od výjezdového 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 mož-

nost 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.

#### 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 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 PARAMETRY PROJEKTOVANÝCH TUNELŮ		
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	-

## 5 ZÁVĚR

Nová rakouská tunelovací metoda se již pomalu začíná u železničních tunelů v síti českých drah zabydlovat. Po úspěšné realizaci tunelu Vepřek (projekt ILF Consulting Engineers, realizace Metrostav, a. s.) slavnostně uvedeném do provozu 27.5.2002, následovaly projekty tunelů Krasíkovský I. a II. (Metroprojekt Praha, a. s.) a Nového spojení (SUDOP Praha, a. s.). Pokud pomineme Nový třebovický tunel, navržený jako hloubený, tvoří jedinou výjimku jednokolejný tunel Březenský, kde v současné době probíhá ražba metodou obvodového vrubu (projekt SUDOP Praha, a. s., realizace Metrostav, a. s.). Ostatní tunely jsou, nebo budou raženy NRTM. Tato skutečnost ukazuje, že NRTM je moderní metodou použitelnou v širokém spektru horninových prostředí s reálnou možností dosažení příznivých ekonomických výsledků.

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 je spojována s délkou tunelu. Je však otázkou, zda nejkratší tunel je z dlouhodobého hlediska vždy ten nejlevnější. Nedodržování základních principů vede ke zbytečným komplikacím při výstavbě i za provozu. Nedostatečný podélný sklon vyžaduje častější čištění tunelových drenáží. Zanesení drenáže zvyšuje hydrostatický tlak na ostění vedoucí k průsakům, nebo v horším případě k porušení ostění. „Uvěznění“ směrového oblouku malého poloměru do tunelu znamená degradaci parametrů tratě na několik generací. Nedostatečná komunikace inženýrů navrhujících směrové a výškové řešení s geotechnikou je bohužel v současné době patrná nejen v případě projektování železničních tunelů. Příčinu je možno hledat i v čím dál kratších termínech vyžadovaných na zpracování projektové dokumentace. Stav, kdy se doba požadovaná na zpracování projektu a doba jeho připomínkování téměř rovnají, není v projekční praxi výjimkou.