

Nové tunely na vysokorychlostní trati Nürnberg - Ingolstadt, úsek „Mitte“

Mgr. Jiří Zmítka, ILF Consulting Engineers, spol. s r. o.

1 ÚVOD

Příspěvek stručně charakterizuje jednu z největších v současnosti realizovaných staveb v Evropě. Jsou zde zahrnuty poznatky a skutečnosti z let 1999 a 2000. V základních rysech popisuje jednotlivé tunely a největší problémy spojené s jejich výstavbou. Podrobnější charakteristika jednotlivých tunelů, geologie a technologie výstavby by ovšem vyžadovala mnohem větší prostor než ten, který byl příspěvku vymezen.

Vysokorychlostní trať Nürnberg – Ingolstadt (München) je součástí nově projektované vysokorychlostní sítě v SRN. Po sjednocení Německa vznikla v rámci jeho začlenění do dopravní infrastruktury EU potřeba nového železničního propojení měst: Berlín - Halle – Leipzig – Erfurt – Nürnberg. Výsledkem má být trasa vysokorychlostní trati vedoucí od Skandinávie přes Berlín do Mnichova s napojením na Veronu v severní Itálii. Takzvané „severojižní propojení“ stanovila Evropská Unie jako prvořadý úkol v rámci „Transevropské sítě“.

Realizace vytýčeného úkolu probíhá jak rekonstrukcí a optimalizací stávajících traťových úseků, tak i výstavbou zcela nových traťových úseků.

Parametry tratě Nürnberg – Mnichov :

Celková délka:	171 km
Norinberg – Ingolstadt	89 km
Ingolstadt – Mnichov	82 km
Doba jízdy:	1 hodina
Sklonové poměry:	
Nové úseky:	max. 20 ‰
Optimalizované úseky:	max. 12,5 ‰
Cena:	1,98 Mld. Euro

Trasa Norinberg – Ingolstadt je rozdělena na pět úseků: úseky 7.2 a 1.1, "jih", "střed" a "sever". Úsek "střed" je předmětem dalšího textu příspěvku.



2 ÚSEK STŘED

Směrové řešení úseku "střed" kopíruje přibližně trasu dálnice A9 a průchod trasy pohorím Jura řeší prostřednictvím tří tunelových objektů. Směrem od jihu k severu jsou to: 7260 m dlouhý tunel Irlahüll, 650 m dlouhý tunel Schellenberg a 7700m dlouhý tunel Euerwang. Mezi tunely Irlahüll a Schellenberg překonává přetíná trasa údolí řeky Altmühl a mezi tunely Schellenberg a Euerwang údolí řeky Antlauter.

Firma ILF Consulting Engineers Innsbruck prováděla na objednávku Deutsche Bahn následující činnosti:

- vypracování projektové dokumentace

- geologická dokumentace, interpretace výsledků geotechnických měření, prognóza geologické situace (optimalizace technologického postupu v závislosti na IG podmínkách, případně změna technologických tříd výrubu)
- provádění technického dozoru investora (kontrola kvality a množství prováděných prací)

Geodetická měření a tunelový scanner Dibit zajišťovaly firmy Angermaier a Geodata. Systém **Dibit (Digitales Bildmeßsystem für den Tunnelbau)** umožňuje pomocí stereofotogrammetrického snímání povrchu tunelu v jednotlivých dílčích etapách výstavby sledovat a prostorově vyhodnocovat odchylky od projektovaného tvaru v kterémkoli místě díla. Obrovskou výhodou systému DIBIT je, že nesleduje pouze jednotlivé body (jak je tomu při klasickém geotechnickém měření), ale snímkuje, vyhodnocuje a dokumentuje celý povrch zájmové plochy. V případě, že je nasazen ihned po provedení záběru před nastříkáním primárního ostění, umožňuje provádět snímkování pro geologickou dokumentaci výrubu. dále může být snímkována primární i sekundární obezdívka. Je-li DIBIT použit při více stavebních fázích, vzniká možnost sledovat též objemy použitého materiálu a tloušťky jednotlivých vrstev ostění. Je-li snímkována jedna etapa v určitých časových odstupech, lze sledovat rovněž sedání a příčné a podélné posuvy. Jednotlivé fáze lze později porovnávat s projektovaným profilem nebo vzájemně mezi sebou. Tím vzniká možnost sledovat nadvýruba či podvýruba v kterémkoli místě tunelu, neboli lze přesně určit, jak se liší skutečné provedení od projektu.

Realizaci stavby zajišťovala firma HOCHTIEF, která si najímala jednotlivé subdodavatele. Z českých firem v rámci subdodávek prováděla ražbu od portálu Euerwang jih firma Metrostav, a.s., která po počátečním „seznamování“ dosahovala nejlepších výkonů v rámci úseku "střed". Firma Subterra, a.s. se podílela na ražbě únikových východů a šachet.

3 TUNELY

3.1 Stručná geologická charakteristika

Celá oblast tvoří komplex několik stovek metrů mocného souvrství sedimentárních hornin s převládajícím sklonem vrstev mírně ukloněných k jihu.

Tunel Irlahüll prochází od jižního portálu třetihorními jílovitopísčitymi sedimenty, po nichž následují druhohorní (jurské) a dolomitické vápence. Prakticky celá ražba probíhala v karbonátech specifických vysokým stupeň zkrasovění, které se projevovalo jak špatnou kvalitou horniny, tak i výskytem podzemních dutin. Dutiny nabývaly často rozměrů několika desítek metrů. Některé podzemní prostory vyplňovaly sesuté hlinité zvětraliny s bloky vápence, jiné byly volně průchodné. Po zkrasovatělých vápencích následovala formace vrstevnatých (místy až masívních), krasověním prakticky nepostižených vápenců.

Ražba **tunelu Schellenberg** probíhala mimo portálových úseků v celé délce ve vrstevnatých vápencích.

Tunel Euerwang byl od jihu ražen ve vápenatých prachovcích, které později přecházely v jílovité prachovce až jílovce. Horniny často obsahovaly velké množství fosílií, zvláště schránek amonitů. Směrem k severu následovaly střípkovitě rozpadavé, jemně písčité jílovce, tvořící podstatnou část délky tunelu. Severní portál tvořily převážně jemnozrnné sedimenty. Ve dně stavební jámy se nalézaly černé plastické jíly, v nadloží s vrstvami slabě zpevněných pískovců, písků a jílovitých písků.

3.2 Technologie výstavby tunelů

Všechny tunely byly raženy Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM), která díky své flexibilitě nejlépe vyhovuje požadavku bezpečné a ekonomické realizace tunelů ve složitých a proměnlivých IG podmínkách.

Vzhledem k délce tunelů **Irlahüll** a **Euerwang** začala ražba vybudováním přístupových tunelů ražených úpadně směrem ke středu budoucího tunelu. Toto řešení umožnilo razit tunel směrem od středu k portálům. S určitým zpožděním za ražbou od středu tunelu pak započala i ražba od jižních a severních portálů. Otevření 4 čelby na každý tunel výrazně zkrátilo celkovou dobu výstavby. Po dobu ražby sloužily přístupové tunely k dopravě rubaniny a větrání pracovišť, po dokončení objektů budou plnit funkci únikových cest. Optimalizace organizace práce i úsporu nákladů umožnilo využití pouze jednoho zařízení staveniště, zajišťujícího obě ražby a operativní přemísťování techniky mezi tunely.

Ražba tunelu Irlahüll ze středu směrem k portálům probíhala za použití kombinace trhačích prací a ražby tunelovým bagrem, ve zvlášť zkrasovělých úsecích postačoval k rozpojování horniny tunelový bagr. Při použitím horizontálním členění výrubu se pohybovala délka záběru od 1 m do max. 1,7 m (u jižní ražby), resp. max. 2 m (u severní ražby). Jako nezbytné se ukázalo pravidelné předvrtávání čelby, které sloužilo k jednoduché a rychlé detekci krasových dutin. Při provádění předvrtů se sledovala rychlost vrtání a barva výplachu. Na výsledcích průzkumu závisel návrh dalšího postupu, eventuálně vrtné schéma. Zhruba ve staničení 1530 m jižní ražby došlo k extrémnímu zhoršení situace, kdy se na jedné straně čelby objevila dutina o výšce cca. 20 m, v jejímž stropě „visely“ zaklíněné bloky o objemu 2 – 3 m³ (viz obr. č. 1,2). Dutina pokračovala šikmo ve směru ražby do nezjištěné hloubky. K vyplnění dutiny došlo až po nasypání přes 1500 m³ rubaniny ze severní ražby. K oddělení nebezpečného prostoru od vlastního ostění tunelu sloužila deska a ochranná stěna vybetonovaná pod „vysícímí“ bloky horniny. Ve středu kaloty byla poté vyražena zhruba 50 m dlouhá štola, která zastávala funkci průzkumné štoly. Po ověření rozsahu problémového úseku pokračovala ražba rozšířením výrubu štoly do celého profilu kaloty. Klenba štoly tvořila součást klenby kaloty, čímž tuto část v předstihu zajišťovala proti vypadávání materiálu. V podstatě se jednalo o modifikaci vertikálního členění výrubu s tím, že boky byly odtěženy a zajištěny následně.

Severní ražba probíhala v poměrně kvalitní hornině a problémy s krasovými dutinami se nevyskytovaly tak často. Několikrát se objevily nevelké podzemní „kanály“, kterými protékaly drobné podzemní toky. Při začišťování profilu jádra ve staničení 335 m (zhruba 200 m za čelbou kaloty) došlo náhodně k otevření nevelkého otvoru, jenž zpřístupnil zhruba 2 – 5 m širokou trhlinu situovanou kolmo k ose tunelu. Rozměry dutiny na jejímž dně tekla velký potok dosahovaly až 50 m hloubky a více než 100 m délky. Jelikož se tunelu prakticky nedotýkala, byla ponechána v původním stavu, pouze oblast v jejím okolí byla detailněji prozkoumána a poté dodatečně zpevněna a prokotvena.



(obr. č. 1,2) jeskyně zastížené během ražby tunelu Irlahüll

Častý a mnohdy zcela neočekávaný výskyt dutin, jejichž rozsah předčil původní očekávání, vedl k nutnosti zpětného detailního ověření jejich rozsahu. Nejjednodušší se jevílo využití geofyziky. Pro výběr dodavatele geofyzikálních měření byl vybrán 100 m dlouhý úsek tunelu, ve kterém došlo k ověření rozsahu a velikosti dutin již během ražby. Geofyzikální měření však buď nebyla schopna dutiny detekovat vůbec nebo poskytovala pouze nedostatečné a nejednoznačné výsledky. K detekci dutin proto sloužilo zdlouhavé a pracné předvrtávání plnoprofilových vrtů do dna tunelu. Stejně jako v případě předvrtávání čelby se dokumentovala rychlost vrtání a barva výplachu. Dodatečné práce IG průzkumu značně zpomalily stavbu tunelu.

Jižní portál tunelu Irlahüll je situován ve svahované stavební jámě, zajištěné stříkaným betonem a kotvením. Vlastní ražba probíhala v soudržných terciérních zeminách převážně jílovitých píscích, jílech a jílovcích. Vzhledem k nepříznivým vlastnostem materiálu, probíhalo odtěžování pouze po záběrech v kalotě délky max. 1m s okamžitou stabilizací dílčích výrubů stříkaným betonem. Primární ostění se skládalo z příhradových nosníků, dvou vrstev KARI sítě a stříkaným betonem tloušťky 30 cm. K omezení deformací přispívalo rozšíření paty kaloty, do které byly v exponovaných místech navrtány mikropily. Obavy z výskytu tekutých písků vedly k použití vakuového odvodnění okolního masivu. Během ražby nedošlo k zastižení žádné z těchto poloh. Po postupném zlepšení kvality horniny se v některých místech začalo používat trhacích prací. Prostředí tvořily jednotlivé pevné bloky horniny obklopené pestrou škálou jemnozrnných zemin jílovitopísčitého charakteru. Jednalo se zřejmě o silně zvětralý povrch druhohorních vápenců s dutinami vyplněnými třetihorními sedimenty. Zcela neočekávaná situace nastala v místech, kde čelbu ze dvou třetin tvořil zvětralý vápenec a zbytky soudržné jílovitopísčité zeminy. Došlo zde k náhlému "vysypání" zhruba 80 m³ stejnozrnného suchého písku do volného výrubu. Nadloží tunelu v těchto místech nepřesahovalo 20 m. Zával se okamžitě projevil vznikem trychtýřovité propadliny v poli nad tunelem. Vysypaný písek utvořil v prostoru výrubu kužel, který po stabilizaci stříkaným betonem bránil po dobu sanačních prací dalšímu vysypávání písku z nadloží. Stabilitu oblasti nad klenbou zajišťovala proinjektovaná a zpevněna zemina. Po překonání místa závalu již probíhala ražba dál bez problémů. Přítomnost písčitého materiálu představovala značné překvapení jak pro razičskou osádku a stavební dozor, tak i pro místní geology.

Severní portál tunelu Irlahüll (viz obr. č. 3,4) je situován ve svahu pod šestiproudou dálnicí A9. Z tohoto důvodu bylo nutno zajistit maximální stabilitu výrubu a deformace nadloží omezit na minimum.



(obr. č. 3,4) pohled na severní portál tunelu Irlahüll

Ražba probíhala nejprve v náplavech řeky Altmühl, tvořenými nesoudržnými, středně ulehlými písky, místy s příměsí štěrku, které přecházely do svahových sutí tvořených

ostrohrannými úlomky vápence o velikosti do 8 cm, s písčitými a hlinitými vložkami. Poté již následovaly rozpukané vrstevnaté vápence.

První fázi prací představovalo přisypání přítěžovacího násypu ke stávajícímu násypu dálnice, z jehož etáže se realizovalo přikotvení části portálového svahu pramencovými kotvami. Vlastní ražba začala pod ochranou v předstihu navrtaného deštníku z mikropilot. V celém úseku pod dálnicí probíhala ražba s vertikálním členěním výrubu a s důrazem na rychlé uzavření dílčích profilů. Díky provedeným opatřením proběhl podchod dálničního tělesa bez vážnějších problémů a bez negativních projevů tunelování na konstrukce v nadloží.

Vzhledem k malé délce **tunelu Schellenberg** probíhala ražba pouze od jižního portálu. Problematický portálový úsek v nestabilních nesoudržných zeminách s nízkým nadložím byl řešen metodou "želva". Jednalo se o ražbu tunelu pod ochranou v předstihu vybudované klenby. Bednění klenby tvořila vhodně vytvarovaná rostlá zemina. Výhodou metody je snížení objemu zemních prací, hloubky stavební jámy a tím i snížení rizika ztráty stability svahů jámy. Po vybudování klenby "želvy" byla stavební jáma opět zasypána a ražba probíhá bez nebezpečí prolomení nadloží.

Vzhledem k obtížnému zajištění stability opěří při ražbě jádra tunelu i vlastních patek želvy bylo navrženo zpevnění nesoudržných materiálů pomocí tryskové injektáže. Po překonání portálového úseku již ražba probíhala ve vrstevnatých vápencích bez výrazných problémů.

K zahájení ražby **tunelu Euerwang** došlo ze středového záchranného tunelu směrem k portálům. Jak jižní, tak i severní ražba probíhala v monotónním souvrství, tvořeném jemně písčitými jílovcí s tenkými vrstvičkami a čockami jemnozrnných pískovců. Masív byl zvodnělý a docházelo zde k plošným přítokům o vydatnosti několika l/s. Vlivem uvolňování primární napjatosti v hornině a přítoku vody, docházelo k neustálému vypadávání a odpryskávání horniny z čelby. Nezbytností se proto stalo okamžité zastříkání a zajištění čelby stříkaným betonem. Prakticky v celém úseku probíhala ražba bagrem s výjimkou několika míst s vyšším výskytem pískovcových poloh, kde se v malé míře použily trhací práce. Délka záběrů byla s ohledem na vlastnosti horniny jen 1,2 m, s osazením předrážených jehel v každém záběru.

Jižní portál je situován ve svahu zajištěném stříkaným betonem a hřebíkováním. Začátek ražby probíhal ve svahových sutích a silně zvětralých vápenatých prachovcích, které měly charakter zahliněné balvanité sutě. Materiál se choval jako značně nestabilní a neustále hrozilo vypadávání horniny z čelby a klenby. Pro zajištění bezpečnosti bylo nutno použít velké množství předrážených jehel.

Kvalita horniny se však postupně zlepšovala. Problém představovaly pouze rozevřené zahliněné pukliny, které někdy způsobovaly vypadávání velkých bloků horniny z čelby a klenby. S postupující ražbou a vzdáleností čelby od portálu se zvětšovala délka záběrů a přecházelo se výhradně k použití trhacích prací. Ve staničení 388,3 m se však neočekávaně objevila krasová dutina, kterou protékal podzemní potok o vydatnosti zhruba 10 l/s (obr.č.5). Zvláštností bylo, že se tento krasový systém nalézal v horninách, které běžně krasovění nepodléhají a ani zde se nevyskytl jiný projev krasovění. Celý podzemní systém je zřejmě pouze pokračováním krasového systému v nadloží tunelu a odváděl vodu z rozsáhlého okolí, o čemž svědčil výskyt valounků nejrůznějších hornin. Tato událost však pouze na krátkou dobu zpomalila postup prací a po zatěsnění a svedení vody mimo tunel pokračovala ražba bez problémů dál.

Lokalita **severního portálu** tunelu Euerwang byla tvořena kvartérními pokryvy zastoupenými písčitými hlínami s místy vyplněnými vápencovou zahliněnou sutí. V nižších polohách následovaly písky až silně zvětralé nesoudržné pískovce. V úrovni počvy tu-

nelu se nalézaly plastické jíly a jílovce tmavě šedé až černé barvy s obsahem fosílií. Tuhé až měkké konzistence.

Portálový úsek je řešen želvou délky 48 m (obr.č.6). Vzhledem ke specifickým geologickým podmínkám byla želva vybetonována mezi dvě pilotové stěny a sloužila tak jako rozpěra a náhrada kotvení pilotových stěn.



(obr. č.5) podzemní potok v tunelu Euerwang



(obr. č.6) želva, tunel Euerwang – Nord

Po odtěžení zemního tělesa pod želvou, započala ražba standardním způsobem v písčitéch zeminách. Neustálý problém ovšem způsobovalo vysypávání a sesouvání nesoudržných písčitých poloh, což vyvrcholilo vznikem komínu v klenbě tunelu. Po sanaci pokračovala ražba dál, postupně však docházelo k plastickým deformacím okolních zemin, nárůstu přítoků vody. Situace vyvrcholila deformací a porušením části ostění. Došlo k zastavení ražby a celý úsek byl následně zajištěn vějíři z „vysokotlakých“ mikropilot. Další ražba pokračovala již pod ochranou těchto "vějířů" realizovaných v předstihu

3.3 Bezpečnostní vybavení tunelů

V rámci požadavků na zajištění bezpečnosti jsou každých 1000 m vyraženy únikové východy umožňující jak únik osob, tak i příjezd záchranných a požárních vozidel. Únikové objekty byly vyraženy jednak jako samostatné tunely (štoly) menšího profilu nebo rovnoběžně s tunelem a následně propojeny s tunelem prorážkou, jednak jako hloubené šachty.

4 ZÁVĚR

Realizace náročné stavby ve složitých a mnohdy nepředpokládaných inženýrskogeologických podmínkách, ukázala význam a nutnost stálé kontroly probíhajících prací, sledování IG podmínek a správnou interpretaci výsledků geotechnických měření. Důležitým předpokladem zdárné realizace tunelů je dodržování technologické kázně ze strany stavebních firem a jejich schopnost okamžitě zareagovat na vzniklou situaci. Neočekávané situace kladly vysoká nároky na odbornou úroveň všech účastníků výstavby a schopnost rychlého reagování na vzniklou situaci. Na základě zastižených podmínek docházelo operativně ke změnám v zajištění výrubu a úpravám technologického postupu ražby tak, aby bylo nalezeno bezpečné a ekonomické řešení.
