

NOVÉ TUNELY NA VYSOKORYCHLOSTNÍ TRATI NORIMBERG – INGOLSTADT, ÚSEK „STŘED“

NEW TUNNELS ON THE “MIDDLE” SECTION OF THE NUREMBERG – INGOLSTADT HIGH-SPEED LINE

Mgr. JIŘÍ ZMÍTKO, ILF CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

ÚVOD

Příspěvek stručně charakterizuje jednu z největších v současnosti realizovaných tunelových 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 příspěvkem vymezen.

Vysokorychlostní trať Norimberk – Ingolstadt (Mnichov) 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 – Lipsko – Erfurt – Norimberk. Výsledkem má být trasa vysokorychlostní trati vedoucí od Skandinávie přes Berlín do Mnichova s napojením na Veronu v severní Itálii.

Takzvané „severo jižní 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 Norimberk – Mnichov:

Celková délka:	171 km
Norimberk – 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. EUR

Trasa Norimberk – Ingolstadt je rozdělena na pět úseků: úseky 7.2 a 1.1, „jih“, „střed“ a „sever“. Článek detailně popisuje inženýrsko-geologické podmínky a způsob výstavby úseku „střed“.

ÚSEK STŘED

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

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

- vypracování projektové dokumentace
- geologickou dokumentaci, interpretaci výsledků geotechnických měření, prognózu geologické situace (optimalizaci technologického postupu v závislosti na IG podmínkách, případně změna technologických tříd výrubu)
- technický dozor investora (kontrolu kvality a množství prováděných prací)

Geodetická měření a tunelový scanner Dibat zajišťovaly firmy Angermaier a Geodata. Systém Dibat (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 nadvýrubu či podvýrubu 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.

INTRODUCTION

The paper briefly characterises one of the largest tunnel structures being currently built in Europe. It contains the knowledge and facts from the years 1999 and 2000, describing basic features of individual tunnels and the most serious troubles connected with their development. Obviously, a more detailed characteristics of the particular tunnels, the geology and method of their construction would have required much larger space than the space allocated to the paper.

The Nuremberg – Ingolstadt (Munich) high-speed rail line is part of the high-speed network being newly developed in the FRG. After the unification of Germany, in the framework of its incorporation into the EU traffic infrastructure, a need originated of developing a new link between cities: Berlin – Halle – Leipzig – Erfurt – Nuremberg. The final result should be a high-speed line running from Scandinavia via Berlin to Munich, with a link to Verona in northern Italy. The European Union set the so-called “north-east connection” as a principal task within the scope of the “Trans-European network”.

The set task is being implemented either by reconstruction and optimisation of existing railway sections, or by construction of brand new track sections.

The Nuremberg – Ingolstadt line parameters:

Overall length:	171 km
Nuremberg – Ingolstadt	89 km
Ingolstadt – Munich	82 km
Travel time:	1 hour
Gradient conditions:	
New sections:	max. 20
Optimised sections:	max. 12.5
Cost:	EUR 1.98 billion

The Nuremberg – Ingolstadt line is divided into five sections, i.e. sections 7.2 and 1.1, “South”, “Middle” and “North”. This article describes in detail engineering geological conditions and the construction method at the “Middle” section.

THE MIDDLE SECTION

Horizontal alignment of the “Middle” section copies approximately the A9 motorway’s route. Three tunnels have been designed to solve the alignment passing across the Jura mountain range. These are, from the north to the south, the 7,260 m long Irlahüll tunnel, 650 m long Schellenberg tunnel, and 7,700 m long Euerwang tunnel. Between the Irlahüll and Schellenberg tunnels the route traverses the Altmühl river valley, and between the Schellenberg and Euerwang tunnels it crosses the Antlauter river valley.

Based on Deutsche Bahn’s order, ILF Consulting Engineers carried out following operations:

- development of design documents
 - geological documentation, interpretation of geotechnical measurements results, prognosis of geological situation (optimisation of the technical procedure depending on EG conditions, or, as the case may be, modification of excavation classes)
 - execution of client’s supervision (quality inspection, quantity surveying)
- Angermaier and Geodata provided the geodetic survey and the Dibat tunnel scanner. The Dibat system (Digitales Bildmeßsystem für den Tunnelbau) allows monitoring and spatial assessing of deviations from the designed shape at any place of the works to be carried out by means of stereophotogrammetric scanning of the tunnel surface in relevant partial construction phases. A great advantage of the DIBIT system is that it not only monitors individual points (as it is at a conventional geotechnical measurement), but also takes photographs, and assesses and documents the whole area being surveyed. In case of its application just after the excavation advance, i.e. before spraying primary lining, it allows photographs for the geological documentation to be taken. In addition, both primary and secondary liners can be recorded. If the DIBIT is utilised over more construction phases, an opportunity arises to follow the volumes of material consumed and thickness of the lining individual layers. If one phase is recorded by taking pictures at certain time intervals, the settlement and transversal and longitudinal displacements can be monitored too. The particular phases can be later compared with the designed cross section or between each other. Thus a possibility originates to follow overbreaks or underbreaks at any place of the tunnel, i.e. to determine exactly how the actual tunnel deviates from the design.

TUNELY

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 v karbonátech specifických vysokým stupněm zkrasování, které se projevuje 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 masivních), krasověním prakticky nepostižených vápenců.

Ražba tunelu **Schellenberg** probíhala kromě 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 fosilií, zvláště schráněk 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.

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 čeleb 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. Optimalizací 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 trhacích prací a ražby tunelovým bagrem, ve zvlášť zkrasovělých úsecích postačoval k rozpojování horniny tunelový bagr. Při použití 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 předvrtání 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 asi 20 m, v jejímž stropě „visely“ zaklíněné bloky o objemu 2 – 3 m³ (viz obr. 2, 3). Dutina pokračovala šikmo ve směru ražby do neznámé hloubky. K vyplnění dutiny došlo až po nasypaní přes 1500 m³ rubaniny ze severní ražby. K oddělení nebezpečného prostoru od vlastního ostění tunelu sloužila



Obr. 1 Umístění stavby
Fig. 1 The construction position

The construction implementation was provided by HOCHTIEF, who hired several sub-contractors. Czech companies were also used. Metrostav, a.s., constructed the South portal of the Euerwang tunnel excavation, reaching the best outputs within the "Middle" section after initial process of "acquainting", and Subterra, a.s., participated in escape exits and shafts excavation.

TUNNELS

A brief characteristic of geology

The whole area is formed by a complex of several hundreds of meters of a mighty series of measures of sedimentary rocks, with a prevailing slight dip of the measures towards the south.

The Irlahüll tunnel passes from the South portal through the Tertiary clayey – sandy sediments, followed by the Mesozoic (Jurassic) and dolomite limestones. Virtually all excavation took place in carbonates specific by a high degree of karstification, which manifested itself through poor rock quality and underground cavities occurrence. The cavities sizes often achieved several meters. Some underground spaces were filled with slipped loamy detritus containing limestone blocks, others were freely passable. A formation of bedded (locally even massive) limestone, practically unaffected by the karstification, followed after the karstified limestone.

With the exception of the portal sections, the Schellenberg tunnel excavation was carried out along its overall length in bedded limestone.

The Euerwang tunnel was driven in chalky siltstones changing later to clayey siltstones to claystones. The rocks often contained a significant amount of fossils, primarily ammonite shells. Towards the north, quarrying fine sandy claystones followed along a substantial part of the tunnel length. Fine-grained sediments prevailed at the North portal. Black plastic clays were found at the construction box bottom while at the overburden there were layers of weakly consolidated sandstones, sands and clayey sands.

The tunnel construction method

All tunnels were driven by the New Austrian Tunneling Method (NATM), which, thanks to its flexibility, suits the best the requirement of safe and economic construction of tunnels in complex and variable EG conditions.

Because of the length of the Irlahüll and Euerwang tunnels, the excavation started by construction of access tunnels driven downhill to the future tunnel's midpoint. This solution made the tunnel excavation from the midpoint towards portals possible. The excavation from the portals South and North began with a certain delay after the excavation from the tunnel midpoint. The four points of attack existing at each tunnel reduced the overall construction period significantly. The access tunnels were used for mucking out and ventilation of work places throughout the excavation time. Once the structures are completed, they will serve as escape ways. The fact that only one construction site was established for the two tunnel drives and the tunnels operatively shared mechanical equipment made optimisation of the work organisation and cost savings possible.

The Irlahüll tunnel excavation from the middle towards portals was carried out using a combination of drill-and-blast and face excavator. The face excavator was sufficient for excavation in extremely karstified sections. The advance per cycle at the horizontal face sequencing varied from 1 m to max. 1.7 m at the southern drive, or max. 2 m at the northern drive. Regular drilling ahead of the face to detect karst cavities proved indispensable. The drilling velocity and the drilling fluid colour were monitored in the advance drilling. The proposal on the further procedure or the drilling pattern depended on the exploration results. The situation worsened extremely, roughly at chainage of 1,530 m of the southern drive. A cavity about 20 m high appeared on one side of the face, with 2 – 3 m³ loose rock blocks wedged at the roof (see Fig. 2, 3). The cavity continued at an angle in the drive direction up to an unknown depth. Over 1,500 m³ of muck had to be brought from the northern drive to fill it. A concrete slab and protective wall were cast under the loose rock blocks to separate the dangerous space from the tunnel lining. Then about 50 m long adit was mined at the top heading centre, serving as an exploration gallery. When the extent of the problematic section had been verified, the works continued by enlarging the adit excavation to the full top heading cross section. The vault of the adit became part of the top heading roof, thus protecting this section against rockfall in an advance. In principle this method was a modification of a vertical excavation sequencing with the walls excavated and supported consequently.

The northern drive was performed in relatively good quality rock, and the troubles with karst cavities were not encountered so frequently. Not too big underground channels appeared carrying minor groundwater streams. A rather small opening was disclosed during trimming of the core profile at chainage 335 m (about 200 m behind the face). The opening allowed access to a 2 – 5 m wide crack perpendicular to the tunnel centre line. The dimensions of the cavity, containing a big stream at its bottom, reached up to 50 m in depth and over 100 m in length. Since it practically was not in contact with the tunnel, it was left in its original condition. The only measure was the performance of a more detailed survey of its neighbourhood and subsequently its strengthening and supporting by anchors.

The frequent and many times totally unexpected occurrence of cavities whose extent crossed original anticipations resulted in a necessity to carry out a backward detailed verification of their extent. Geophysics application seemed to be the simplest way. The 100 m long tunnel section which the extent and size of the cavities had already been verified in during the excavation was chosen for the purpose of the selection of geophysical measure-

deska a ochranná stěna vybetonovaná pod „visícími“ 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 začistování 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 velká 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.

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. Zvláště kritická místa byla prozkoumána jádrovými vrty. Dodatečně práce IG průzkumu značně zpomalily stavbu tunelu.

Jižní portál tunelu Irlahüll je situován ve svažované 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. 1 m 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 navrženy mikropily. Obavy z výskytu tekutých písků vedly k použití vakuového odvodnění okolního masivu. Během ražby nedošlo k zastížení žádné z těchto poloh. Po postupném zlepšení kvality horniny se v některých místech začalo používat trhacích prací. Prostředí tvořily jednotlivé pevné bloky horniny obklopené pestrá škálou jemnozrnných zemin jílovitopísčitého cha-

ments contractor. Unfortunately, the geophysical measurements were either totally incapable of detecting the cavities or they provided insufficient and ambiguous results only. Therefore a time-consuming and labour-intensive method of pre-drilling full-profile boreholes to the tunnel bottom was applied for the cavities detection. Same as in the case of the face pre-drilling, the boring velocity and drilling fluid colour were documented. Exceptionally critical locations were surveyed by core drilling. Those additional operations of the EG investigation slowed-down the tunnel construction significantly.

The South portal of the Irlahüll tunnel is situated in a sloped construction pit supported by sprayed concrete and anchors. The excavation proper took place in cohesive Tertiary grounds, mostly clayey sands, clays and claystones. Due to unfavourable properties of the material, the excavation continued in steps only, with the top heading advance lengths of 1 m as a maximum and immediate stabilisation of partial openings by shotcrete. Primary lining comprised lattice girders, two layers of KARI mesh and 30 cm thick sprayed concrete. Restriction of deformations was improved by widening the top heading footings and micropiles bored into the footings in exposed places. Fears of occurrence of quicksand led to application of vacuum drainage dewatering the neighbouring massif. No quicksand was encountered during the excavation. Once the rock quality had started to improve progressively, blasting operations commenced in some locations. The environment consisted of individual firm blocks of rock surrounded by a wide range of fine-grained ground of a clayey-sandy character. Obviously it was a heavily weathered surface of Neozoic limestones with cavities filled by Tertiary sediments. Absolutely unexpected situation occurred in a place where two thirds of the face were formed by weathered limestone and remnants of cohesive clayey-sandy ground. About 80 m³ of even-grained dry sand fell suddenly to the free space. The tunnel cover was not thicker than 20 m at that location. The collapse caused an immediate creation of a funnel-shape depression in a field above the tunnel. The fallen sand formed a cone in the opening, which, after stabilising by shotcrete, prevented further sand from falling from the overburden during the saving operations. Grouting and consolidating the ground secured the stability of the area above the vault. Once the collapsed section had been overcome, the excavation continued without problems. The presence of the sandy material was a great surprise not only for the mining crew and the construction supervision but also for local geologists.

The North portal of the Irlahüll tunnel (see Fig. 4, 5) is situated in a slope under the A9 six-lane motorway. For that reason maximum stability of the excavation had to be secured, and deformations of the cover restricted to a minimum level.

At the beginning the excavation was carried out in the Altmühl River's allu-



Obr. 2 Jeskyně zastížené během ražby tunelu Irlahüll
Fig. 2 Cavities encountered during the Irlahüll tunnel excavation



Obr. 3 Kaverny v podzemí Irlahüll
Fig. 3 Caverns in the Irlahüll underground



Obr. 4 Pohled na severní portál tunelu Irlahüll
Fig. 4 A view of the Irlahüll tunnel North portal



Obr. 5 Pohled na severní portál tunelu Irlahüll
Fig. 5 A view of the Irlahüll tunnel North portal

akteru. 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 jílovitopískité zeminy. Došlo zde k náhlému „vysypání“ zhruba 80 m³ stejnozrného suchého písku do volného výrubu. Nadloží tunelu v těchto místech nepřesahovalo 20 m. Zával se okamžitě projevil vznikem trychtýřovité propadliny v poli nad tunelem. Vysypání písku vytvořil 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 zpevněná 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. 4, 5) je situován ve svahu pod šesti-proudou dálnicí A9. Z tohoto důvodu bylo nutno zajistit maximální stabilitu výrubu a deformace nadloží omezit na minimum.

Ražba probíhala nejprve v náplavech řeky Altmühl, tvořenými nesoudržnými, středně ulehými písky, místy s příměsí štěrku, které přecházely do sva-hových sutí tvořených ostrohrannými úlomky vápence o velikosti do 8 cm, s písčítými a hlinitými vložkami. Poté již následovaly rozpukané vrstevnaté vápence.

První fázi prací představovalo přispáný přítěžovacího násypu ke stávajícímu násypu dálnice, z jehož etáží se realizovalo přikotvení části portálového svahu pramencovými kotvami. Vlastní ražba začala pod ochranou v předstihu navrtaného deštníku z mikropilót. 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. Problematické 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 pod ochranou klenby bez nebezpečí prolomení nadloží.

Vzhledem k obtížnému zajištění stability opěrů 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 písčítými jílovcí s tenkými vrstvičkami a ččkami jemnozrných 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 odprýskávání horniny z čelby. Nezbytností se proto stalo okamžité 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 předražených 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 předražených jehel.

Kvalita horniny se však postupně zlepšovala. Problém představovaly pouze rozvěvené 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. 6). Zvláštností bylo, že se tento krasový systém nalézal v horninách, které



Obr. 6 Podzemní potok na čelbě tunelu Euerwang
Fig. 6 Underground stream at the Eurwang tunnel face

vium, consisting of non-cohesive medium dense sands, locally with addition of gravel, transiting to slope debris formed by sharp fragments of limestone up to a size of 8 cm, with sandy and loamy inserts. Fractured bedded limestones followed then.

The first phase of the works consisted in adding a stabilising fill to the existing motorway embankment. Anchoring of a part of the portal slope with cable anchors was carried out from the partial levels of the fill. The excavation proper started under the protection of an in-advance-drilled micropile umbrella. A vertical sequence was used for the excavation of the whole section under the motorway, with a stress placed on quick closing of partial profiles. Owing to the measures adopted, the motorway embankment was passed under without any serious problem and without negative manifestations of the tunnelling in the above laying structures.

Because of the short length of the Schellenberg tunnel, the excavation was carried out from the South portal only. The problematic portal section built under a shallow cover of instable non-cohesive grounds was solved by the "Turtle" method. This means a tunnel excavation protected by an in-advance-constructed vault. The formwork for the vault consisted in suitably shaped natural ground. The advantage of this method is reduction in the earthwork volume, diminishing the depth of the construction pit, thus also reduction of the risk of lost stability of the pit slopes. The construction pit was backfilled after the vault construction. The risk of the overburden collapse is avoided by excavating under the completed vault.

Since it was difficult to secure the stability of the side wall areas during excavation of the tunnel core and the vault footings, stabilisation of non-cohesive materials by jet grouting was designed. The excavation continued in bedded limestones without significant problems once the portal section had been overcome.

The Euerwang tunnel excavation started from a central emergency escape tunnel towards portals. Both the southern and northern excavation was carried out in monotonous series of strata formed by fine sandy claystones with laminas and lenses of fine-grained sandstones. The rock mass was saturated and area inflows occurred with an intensity of several litres per second. Permanent breaking and outburst of the rock from the face occurred as a result of continuous primary stress relaxation in the rock, and water inflows. Therefore immediate application of shotcrete on the face became a necessity. The excavation was carried out by an excavator effectively along the whole section, excepting several locations with higher occurrence of sandstone interbeds where blasting was applied in a small extent. The advance length was, because of the rock properties, 1.2 m only, with installation of spiles in each cycle.

The South portal is situated in a slope supported by sprayed concrete and soil nails. The excavation started in slope debris and heavily weathered lime siltstones, exhibiting a character of loamy bouldery debris. The material behaviour was very instable. Breaking of the rock from the face and roof threatened permanently. A big amount of spiles had to be used to secure the safety.

However, the rock quality improved step by step. The only trouble was the open cracks with loamy fill, causing from time to time falling of large blocks of rock from the face and vault. The length of rounds increased with the progressing excavation and distance of the face from the portal, and drill-and-blast started to be used. But a karst cavity appeared unexpectedly at chainage 388.3 m, with a 10 litre/s flow underground stream (Fig. 6). It was peculiar that this karst system was found in grounds which are not subject to karstification and no other demonstration of the karstification was encountered. The whole underground system is probably a continuation of the karst system existing in the tunnel cover. It evacuated water from a vast area, which fact was proved by presence of pebbles of various rocks. Although this event slowed-down the works progress for a short time only, and the excavation continued without troubles after sealing off and draining water away from the tunnel.

The Euerwang North portal locality was formed by the Quaternary nappes represented by sandy loams with places filled with limestone loamy debris.



Obr. 7 Konstrukce „želvy“ na severním portálu Euerwang
Fig. 7 The "Turtle" vault structure at the North portal of the Eurwang tunnel

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 kvarténními pokryvy zastoupenými písčitymi hlínami s místy vyplněnými vápencovou zahliněnou sůtí. V nižších polohách následovaly písky až silně zvětralé nesoudržné pískovce. V úrovni počvy tunelu se našly 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. 7). Vzhledem ke specifickým geologickým podmínkám byla želva vybetonována mezi dvě pilotové stěny a sloužila tak jako rozpěra a náhrada kotvení pilotových stěn.

Po odtěžení zemního tělesa pod želvou pokračovala ražba podle zásad NRTM v písčitych zeminách. Neustálý problém ovšem způsobovalo vysypávání a sesouvání nesoudržných písčitych poloh, což vyvrcholilo vznikem komínu v klenbě tunelu. Po sanaci pokračovala ražba dál, postupně však docházelo k plastickým deformacím okolních zemín, 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

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.

ZÁVĚR

Realizace náročných stavby ve složitých a mnohdy nepředpokládaných inženýrsko-geologických podmínkách ukázala význam a nutnost stále 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 vysoké nároky na odbornou úroveň všech účastníků výstavby a schopnost rychlého reagování na vzniklou situaci. Na základě zastížených podmínek docházelo operativně ke změnám v zajištění výrubu a úpravám technologického postupu ražby tak, aby bylo nalezeno bezpečné a ekonomické řešení.

Sands to heavily weathered non-cohesive sandstones followed at lower levels. Plastic clays and claystones of dark grey to black colour of a stiff to soft consistency, with a content of fossils, were found at the tunnel invert level.

The portal section has been solved by the "Turtle" method within a length of 48 m (Fig. 7). Because of specific geological conditions, the vault was cast between two pile walls. Thus it served as bracing and substitution of the pile walls anchoring.

When the excavation of the ground body under the vault had been completed, the tunnel driving continued by the NATM, in sandy soils. However, there was a continuing problem caused by non-cohesive sandy interbeds falling and sliding down. It culminated by an overhead cavity in the vault. The excavation continued after the repair, but plastic deformations of surrounding soils and an increase in water inflows started to appear progressively. The situation culminated by deformation and collapse of a part of the lining. The excavation work was suspended and the whole section was subsequently supported by fans of "high-pressure" micropiles. Remaining excavation was performed under the protection of those in-advance-built fans.

Safety equipment of the tunnels

Escape exits enabling both the escape of persons and access for emergency and fire-fighting vehicles have been excavated at intervals of 1,000 m in the framework of safety requirements. Escape objects were excavated either as independent tunnels (adits) of a smaller diameter, or in parallel with the tunnel, breaking subsequently through into the tunnel, or as escape shafts.

CONCLUSION

The implementation of the complex construction under difficult and many times unexpected engineering geological conditions showed the importance and necessity of continuous inspection of progressing works, monitoring of EG conditions and correct interpretation of the geotechnical measurements results. A crucial condition of successful realisation of tunnels is adherence to specifications by civil engineering companies and their ability to respond immediately to a new situation. Unexpected situations put heavy demands on the professional level of all participants of the construction process, and on the ability to respond quickly to the new situation. Operative changes in the excavation support were implemented and the excavation technological procedure amended on the basis of the conditions encountered so that a safe and economic solution was found.

INZERÁT
Angermeier