

## ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB

## WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTION

## TUNEL STRENGER

Ve dnech 6. až 8. listopadu roku 2003 uskutečnil Český tunelářský komitét exkurzi na velmi zajímavý tunel Strenger, který se staví v Rakousku na rychlostní komunikaci S 16 několik kilometrů západně od Landecku. Níže uvedený text čerpá z této exkurze a z článku z časopisu World Tunnelling.

## STRENGER TUNNEL

The Czech Tunnelling Committee visited the very interesting tunnel Strenger on 6 to 8 November 2003. The tunnel is being built in Austria, on the S 16 speedway, several kilometres west of Landeck. The following text draws from this excursion and from an article published in the World Tunnelling magazine.

## ÚVOD

Stará obchodní stezka mezi Tyrolskem s hlavním městem Innsbruckem a nejzápadnější částí Rakouska, kterou je spolková země Vorarlbersko (hlavní město Bludenz), vedla vždy od Landecku na západ proti proudu řeky Rossa. Počátkem 18. století to již byla regulérní silnice pro koňské povozy. Za tehdejší horalskou vesnici St. Anton překonávala v arlberském sedle ve výšce skoro 1800 m nad mořem horský hřeben, který je přirozenou hranicí mezi Tyroly a Vorarlberskem. Stále se však jednalo o sezónní komunikaci, protože v zimních měsících byla cesta přes sedlo i řadu měsíců neprůjezdná.

S rozvojem dopravy význam této dopravní trasy vzrůstá. Nejprve byla jako celoroční komunikace postavena železniční trať, která dlouhým tunelem podchází arlberské sedlo. Silniční doprava však sílí a potřeba kapacitního a celoročně spolehlivého spojení stále roste. Proto byla v roce 1971 zahájena výstavba rychlostní čtyřpruhové komunikace S 16 mezi Landeckem a Bludenzem. Jako první se stavěl její klíčový úsek včetně nejnáročnějšího objektu, kterým byl 14 km dlouhý arlberský automobilový tunel.

Jednotlivé úseky rychlostní komunikace S 16 byly postupně uváděny do provozu, ale později se její výstavba zastavila. Především úsek západně za Landeckem, který je technicky i finančně velmi náročný, čekal na další impuls. Tím byl nejen tlak obyvatel městečka Strengen a dalších vesnic v údolí, kteří musí snášet vrůstající intenzitu automobilového provozu, ale také politické změny v Evropě po roce 1989. Narůstající význam kapacitních komunikací ve směru západ - východ vedl k tomu, že byla v roce 2000 po dlouhých přípravách zahájena stavba rozhodujícího objektu v tomto úseku - tunelu Strenger.

## POPIS STAVBY

Jedná se o silniční tunel se dvěma dvoupruhovými tunelovými trubami ražený novou rakouskou tunelovací metodou. Z řady variant byla pro realizaci vybrána varianta s dlouhým tunelem. Důvodem výběru dlouhé varianty tunelu byly ekologické a bezpečnostní aspekty stavby. Pokud by nedošlo k výstavbě tunelu, projíždělo by v roce 2010 městem Strengen 18750 automobilů za 24 hodin. Výstavbou tunelu dojde ke snížení intenzity dopravy až na třetinu. Tunelové řešení zvyšuje bezpečnost silničního provozu, snižuje vznik emisí i spotřebu pohonných hmot, zcela vylučuje lavinové nebezpečí a nebezpečí skalního řízení.

Východní portál tunelu Strenger je situován u osady Pians, západní portál u vesnice Flirsch. Vzhledem ke složitě geologické stavbě strmého údolí s křehkou stabilitou svahů byla trasa obou trub záměrně vedena hlouběji v hoře, neboť se zde očekávaly lepší geotechnické podmínky pro ražbu (viz obr. 1). Z hlediska bezpečnosti provozu je tunel mimo jiné vybaven šesti průchozími a pěti průjezdnými propojkami a 46 požárními a SOS výklenky. Z důvodu úspory investičních nákladů je plocha příčného řezu minimalizována. Toho je dosaženo příčným natočením tunelového profilu, takže tunelová osa je kolmá na rovinu vozovky.

## ZÁKLADNÍ PARAMETRY TUNELU

	Jižní tunelová trouba	Severní tunelová trouba
Celková délka tunelu	5 775 m	5 851 m
z toho: ražená část	5 659 m	5 740 m
hloubená část - východ	36 m	26 m
hloubená část - západ	80 m	85 m
Sklon	2,92 %	2,91 %
Nadm. výška		
- východní portál	925,4 m n.m.	925 m n.m.
- západní portál	1 093,4 m n.m.	1 094,2 m n.m.
Průjezdný profil	4,7 x 7,5 m	
Teoretický profil	bez protiklenby 77,1 m <sup>2</sup>	
	s protiklenbou 78,8 m <sup>2</sup> a 88,4 m <sup>2</sup>	
Světlý profil	55 m <sup>2</sup>	

Vzorový příčný řez tunelu mimo nouzové zálvy viz obr. 2.

## INTRODUCTION

An old trade path between Tyrol, with its capital Innsbruck, and the westernmost part of Austria, the Vorarlberg province (capital Bludenz), always led from Landeck to the west, up the Rossane River. At the beginning of the 18th century, it already was a regular road for horse-drawn carts. Behind St. Anton, then a mountain village, at an altitude of nearly 1,800 m a.s.l., at the Arlberg pass, it crossed a mountain crest, which is a natural border between Tyrol and Vorarlberg. Still it was a seasonal road, because the route across the pass was impassable even for several months in winter.

With developing transport, the importance of this route increased. A railroad passing under the Arlberg pass was constructed as a first permanent connection. Road transportation, however, becomes more intensive, and a need for a capacity and year-round reliable connection keeps growing. For that reason, the construction of the S16 four-lane speedway between Landeck and Bludenz began in 1971. Its key section, including its most demanding structure, the 14 km long Arlberg road tunnel, was built first.

Individual sections of the speedway S16 were opened to traffic in stages, but later the construction work was suspended. The section to the west of Landeck above all, which is technically demanding and costly, waited for a new impulse. The pressure by inhabitants of Strengen and other villages in the valley, who have to suffer the increasing intensity of vehicular traffic, and also the political changes in Europe after 1989 were the impulse.

The growing importance of high-capacity roads in the west - east direction was the reason why the construction of the crucial object of this section, the Strenger tunnel, started in 2000, after a long planning period.

## PROJECT DESCRIPTION

The road tunnel, featuring two double-lane tubes, will be excavated by the NATM. The long variant was selected for construction, out of a number of variants, respecting environmental and safety aspects of the construction. Without the tunnel in operation, 18,750 vehicles per 24 hours would pass through Strengen in 2010. The tunnel construction will reduce the traffic intensity to roughly one third. The tunnel solution improves safety of road traffic, reduces emissions and fuel consumption, and completely removes the threats by avalanches or falling rock.

The portal East of the Strengen tunnel is situated at a village Pians, the portal West at Flirsch village. Considering the complex geology of the steep valley with delicate stability of slopes, the alignment of the two tubes was placed deeper under the mountain, because of better geotechnical conditions for mining anticipated at that depth (see Fig. 1).

Regarding operational safety, the tunnel is also equipped with six crosscuts passable for pedestrians, five crosscuts passable for vehicles, and 46 emergency call and fire-fighting niches.

The cross-section area is minimised to save investment costs. This is achieved by rotating the tunnel profile transversally so that the tunnel axis is perpendicular to the carriageway plane.

## BASIC TUNNEL PARAMETERS

	Southern Tunnel Tube	Northern Tunnel Tube
Total tunnel length	5 775 m	5 851 m
Out of that: mined part	5 659 m	5 740 m
Cut-and-cover part - East	36 m	26 m
Cut-and-cover part - West	80 m	85 m
Gradient	2,92 %	2,91 %
Altitude - Portal East	925.4 m a.s.l.	925 m a.s.l.
- Portal West	1,093.4 m a.s.l.	1,094.2 m a.s.l.
Clearance envelope	4,7 x 7,5 m	
Excavated cross-section - without invert	77.1 m <sup>2</sup>	
- with invert	78.8 m <sup>2</sup> a 88.4 m <sup>2</sup>	
Net cross-section area	55 m <sup>2</sup>	

For a typical tunnel cross section found beyond emergency bays see Fig. 2.

Stavbu tunelu provádí sdružení dodavatelských firem ARGE Tunnel Strengen tvořené firmami Beton- und Monierbau GmbH Innsbruck, Universale Bau AG Salzburg, Alpine-Mayreder Bau GmbH Wals a Jäger Bau GmbH Schruns.

## USPOŘÁDÁNÍ TUNELU

Současná bezpečnostní hlediska se promítla do uspořádání tunelu následovně:

- vzdálenost bezpečnostních zálivů šířky 3 m a délky 44,4 m činí 1000 m;
- obě tunelové trouby jsou po 500 m propojeny průchozími, resp. průjezdnými spojovacími chodbami. Chodby vycházející z bezpečnostních zálivů umožní průjezd vozidel záchranné služby a požárníků. Z důvodu nedostatku místa před portály budou u každého portálu v tunelu zřízeny průjezdné chodby pro otáčení vozidel zimní údržby (pluhy apod.);
- vzdálenost mezi místy tíšňového volání je stejně jako v případě požárních hydrantů 250 m.

Požární vodovod bude mít dimenzi DN 125 a z důvodu snížení tlakových ztrát bude propojen přes každou spojovací chodbu i u obou portálů. Napojen bude na existující rozvod a vodojem o obsahu 100 m<sup>3</sup>, který slouží tunelu Flirsch.

## VĚTRÁNÍ TUNELU

Rozměry výrubu jsou ovlivněny také koncepcí podélného větrání, které bude zajišťováno 8 dvojicemi ventilátorů v každé troubě s instalovaným výkonem 720 kW (celkově pro obě trouby 1 440 kW).

## ODVODNĚNÍ TUNELU

Odvedení podzemní vody v předpokládaném celkovém množství 20 l/sec bude zajišťováno podélnými drenážemi DN 200 mm, které při spádu 2,9 % poskytnou dostatečnou kapacitu 320 l/sec pro obě tunelové trouby. Drenáže budou u východního portálu zaústěny přímo do recipientu (potok Faldernalbach).

Pro odvedení vod nebo jiné kapaliny (v případě havárie v tunelu) z povrchu vozovky byl stanoven požadavek odvedení 200 l/sec v celkovém množství 50 000 l z úseku tunelu délky 200 m. To vyvolalo potřebu instalovat dvojité gule každých 50 m včetně sifonového uzávěru proti šíření případného požáru. Odtok z tohoto systému bude u východního portálu napojen na stávající čisticí tunel z tunelu Quadratsch.

## GEOLOGICKÉ POMĚRY

Zájmové území se nachází ve velmi složitých inženýrskogeologických poměrech. Pro povrch území jsou charakteristické mohutné svahové sesuvy a potenciální nestabilita, která se projeví v souvislosti s každým zásahem do terénu. Při volbě trasy bylo snahou situovat portálové úseky mimo sesuvná území. Tento záměr se nepodařilo v případě východního portálu splnit. Jeho umístění bylo předurčeno morfologií údolí a nutností napojení na Pians.

Geologicky je prostor ražby tvořen metamorfovanými horninami – křemitými fylity a slídnatými krystalickými břidlicemi ve velkém rozsahu tektonicky porušenými. Vyskytují se i horniny zcela porušené a nesoudržné.

## PORTÁLY

Východní portál u Pians musel být prováděn ve stupňovité stavební jámě kotvené v každé etáži. Vyvolaly to velmi nehomogenní geotechnické podmínky - podrcené horniny až na jemná zrna, říční sedimenty, morény i nestabilita svahu.

Na západě se podařilo pouze portál jižního tunelu situovat tak, že zahájení ražby probíhalo v relativně kvalitní hornině. Ražba severního tunelu však začíná ve svahových uloženíích, které tvoří okraj rozsáhlého starého sesuvu. Ten prošel pravděpodobně od poslední doby ledové dalšími pohyby a současnou stabilitu si vytvářel po celou tuto dobu. Bylo proto naprosto nutné volit takové postupy ražby a zajištění portálové jámy, aby vyvolané deformace svahu byly co nejmenší. Toho se dosáhlo velkým množstvím masivně kotvených železobetonových převážek s kotvami dlouhými až 80 m (viz obr. 3 a 4).

## POSTUP RAŽEB

Ražba probíhá s využitím nové rakouské tunelovací metody při horizontálním členění výrubu na kalotu a jádro se dnem. Ražba byla zahájena z obou portálů v březnu, resp. květnu 2001. Ražba probíhala současně na 6. čelbách – 4 čelby v kalotě a 2 v jádru. Na stavbě pracovalo celkem 250 pracovníků sdružení dodavatelských firem a 40 pracovníků subdodavatelů. Výstavba je zajišťována dodavatelskými firmami ve třech osmihodinových směněch, stavební dozor probíhá ve dvou dvanáctihodinových směněch.

Pro ražbu bylo připraveno 7 technologických tříd výrubu, avšak s ohledem na horší geologii bylo použito pouze 5 horších tříd. Maximální délka záběru

*The tunnel construction is carried out by the ARGE Tunnel Strengen joint venture consisting of Beton- und Monierbau GmbH Innsbruck, Universale Bau AG Salzburg, Alpine-Mayreder Bau GmbH Wals and Jäger Bau GmbH Schruns.*

## TUNNEL CONFIGURATION

*Current safety requirements were reflected in the tunnel configuration in the following manner:*

- *Emergency bays 3m wide and 44.4 m long, built every 1,000 m*
- *The two tubes are interconnected every 500 m by crosscuts passable for people and vehicles respectively. The galleries starting from the emergency bay will allow even big industrial vehicles to pass. Remaining galleries will allow passage of ambulances and fire-fighting vehicles. Regarding U-turning of winter maintenance vehicles (snow ploughs etc.), which is impossible in front of the tunnel due to the lack of space, the cross passages near the portals will allow this turning operation.*
- *Emergency-call niches spacing is the same as that of fire hydrants, i.e. 250 m.*

*The DN 125 fire-fighting water supply pipeline will be interconnected through each cross passage and at both portals so that the pressure losses are reduced. This pipeline will be connected to an existing water distribution system and a 100 m<sup>3</sup> reservoir serving the Flirsch tunnel.*

## TUNNEL VENTILATION

*Dimensions of the excavation are also affected by the conception of longitudinal ventilation, which will contain 8 pairs of fans in each tunnel tube, each having an installed output of 720 kW (1,440 kW in total for both tubes).*

## TUNNEL DRAINAGE

*Evacuation of groundwater at an anticipated total outflow rate of 20 lt/s will be provided by longitudinal drains DN 200 mm. Their capacity at the given gradient of 2.9% will amount to 320 lt/s for both tubes, which is sufficient. The drains will discharge directly to a recipient (the Faldernalbach creek) at the portal East.*

*To remove water or another liquid from the pavement (in case of an accident), a requirement was set out that the system must be able to cope with 200 lt/s at a total volume of 50,000 litres, over a tunnel length of 200 m. For this reason, double gullies had to be installed every 50 m, including a siphon preventing the contingent fire spreading. The discharge from this system will be connected at the portal East to the water protection plant of the Quadratsch tunnel.*

## GEOLOGICAL CONDITIONS

*The area of operations is found in very complex engineering geological conditions. Significant landslides and potential instability following any cutting in the terrain are characteristic of the area surface. The design of the alignment followed an idea that the portal sections be placed beyond the landslide zones. This intention was unsuccessful so far as the portal East is concerned. Its location was predestined by the morphology of the valley, and a necessity of connecting to Pians.*

*From the geological aspect, the area of excavation consists of metamorphic rock types – quartzitic phyllites and micaceous crystalline schist, broken tectonically at a large extent. Even totally broken and non-cohesive rock occurs.*

## PORTALS

*The portal East nearby Pians had to be built in a side-benched excavation pit anchored at each bench level. This was due to very inhomogeneous geotechnical conditions - to fine grains crushed rock, river sediments, moraines and also slope the instability.*

*On the west, the portal of the southern tunnel tube only was successfully situated to relatively good quality ground. But the excavation of the northern tunnel starts in slope deposits, forming an edge of a vast old landslide. The landslide probably moved frequently during the past ice age, and the process of establishing its current stability has been lasting for all that time. It was therefore absolutely necessary to chose excavation procedures and support of the portal excavation reducing the slope deformations caused by the works to a minimum. This was achieved by many anchored reinforced concrete walers, with anchor lengths up to 80 m (see Fig. 3 and 4)*

## EXCAVATION PROCEDURE

*The excavation is carried out using the New Austrian Tunnelling Method, with horizontal division of the face to the top heading, bench and invert. The work started from both portals in March 2001. Six partial faces were excavated simultaneously, i.e. 4 top headings and 2 benches. The construction has been carried out by 250 workers of the contractor joint venture, and 40 workers of subcontractors. Three shifts of 8 hours each are worked by contractors, while the site supervision takes place in two 12-hour shifts. Originally 7 excavation classes were prepared for the excavation, but only 5 of them, the worse ones, were applied due to worse geology encountered. Maximum round length was not more than 1.7 m. Excepting the portal sec-*

nepřesáhla 1,7 m. Ražba probíhala kromě příportálových úseků s nasazením trhacích prací. Aby osádka nemusela při odstřelu opouštět tunel, jsou v tunelu k dispozici ocelové bezpečnostní kontejnery vybavené zásobníky stlačeného vzduchu, osvětlením a telefonem. V nich se při odstřelu a po dobu odvětrání zplodin může ukrýt až 10 pracovníků.

Během ražby byly naštěstí zastíhny pouze nízké přítoky podzemní vody, i ty však vedly vzhledem ke kvalitě horninového masivu k rychlému rozbahnění počvy.

Zajímavý je systém větrání použitý při ražbě. Po proražení několika propojek se vybudovala v jižní tunelové troubě větrná přepážka, za kterou se instalovaly dva ventilátory. Pomocí foukacích luten jeden z nich přímo větral pracoviště v jižní troubě, druhý obdobně přes propojku větral pracoviště v severní troubě. Celá jižní trouba od portálu až k větrné přepážce slouží jako větrná tah, a to i po zahájení realizace sekundárního ostění v této troubě.

Jak už to u podzemních staveb bývá, ne všechny předpoklady se splnily. Po dobrém zvládnutí ražby příportálových úseků se pokračovalo v poměrně slušné geologii, avšak obtiže se proti předpokladům objevily a narůstaly ve vzdálenosti asi 1200 m od portálu. Hodnoty radiální deformace dosahovaly 700 až 800 mm s maximem uprostřed délky tunelu, kde došlo ke zdvínání počvy v kalotě až o 1000 mm. Extrémní deformace líce výrubu vedly k odstřelování hlav u SN kotev a nežádoucím drčení betonu primárního ostění. Proto byly pro umožnění deformace vytvářeny v primárním ostění podélné niky, do kterých se instalují deformační ocelové prvky tvořené ocelovými plotnami propojenými 40 cm vysokými přivařenými trubkami o průměru asi 15 cm. Nejprve se v kalotě používalo až 5 deformačních nik, postupně se jejich počet redukoval až na dvě. Současně bylo prováděno zahuštění kotev. Na vnitřním líci primárního ostění byla z bezpečnostních důvodů osazena síť chráničů pracovníků před odtrženými podložkami kotev. Ke snížení napětí v kotvách způsobeného radiální deformací výrubu byly používány upravené podložky. Na jejich rubu byly jako kompenzační prvek navařeny ocelové trubky o průměru cca 40 mm (viz obr. 5). K plné aktivaci kotvy došlo až po deformaci trubek. Ani tyto kotvy však mnohde nevydržely nárůst deformací a jejich hlavy vystřelovaly do prostoru výrubu. Nárůst deformací v prvních dnech činil až 80 mm za 24 hodin. Obrázek 6 zachycuje stav primárního ostění s osazenými kompenzačními prvky v nikách, dodatečně provedeným dokotvením a ochrannými sítěmi. Desky dodatečně osazených kotev jsou označeny modrými kříži a nejsou dosud deformovány horninovým tlakem.

Vzhledem k tomu, že skutečné deformace výrazně překročily prognózané hodnoty, musely být některé úseky tunelu přeprofilovány. Po těchto zkušenostech pokračovala další ražba s nadvýšením až 80 cm. Úprava nadvýšení profilu s sebou přináší další problémy, které je nutno řešit. Prvním problémem je zvětšení objemu rubaniny o cca 10 m<sup>3</sup>/bm tunelu s dopadem do objemu materiálu ukládaného na deponiích. Deponie u východního portálu byla v době návštěvy již zaplněná a kapacitu deponie u západního portálu bylo nutno pomoci různých opatření zvětšovat. Přestože prvotní nárůst deformace je poměrně rychlý, dosažení deformace 800 mm probíhá delší dobu. Proto je nutno rozhodnout, zda vyčkat až do ustálení deformací na rychlosti 2 mm/měsíc, či budovat definitivní ostění do deformujícího se primárního ostění. To má dopad na objem betonu definitivního ostění, množství výztuže, čas výstavby a tím do výše investičních nákladů. Větší část definitivního ostění

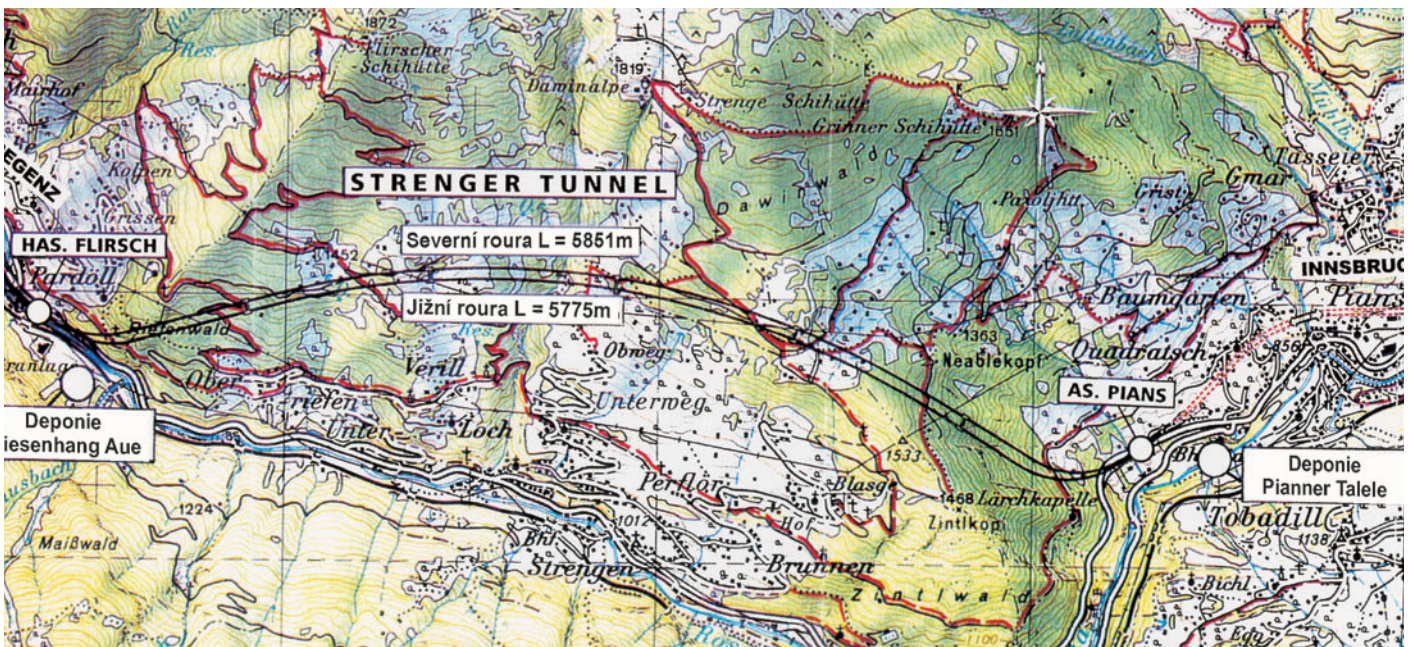
the drill-and-blast was utilised. For the mining crew not to have to leave the tunnel during the blasting, there are steel protection containers equipped with pressurised air tanks, lighting and telephone, available in the tunnel. The containers can provide a shelter for 10 workers during the blasting and defuming.

Fortunately, only low inflows of groundwater were encountered during the excavation. Even those, however, due to the poor quality of the rock mass, caused rapid waterlogging of the bottom.

The ventilation system used for the excavation is also a matter of interest. When several cross passages had been broken through, a brattice was built in the southern tube, with two fans installed behind. One of them ventilated the face in the southern tube through a blower duct, the other one ventilated the northern tube similarly, via the cross passage. The entire southern tube from the portal to the brattice functions as a current of air, even when the work on the secondary lining starts in this tube.

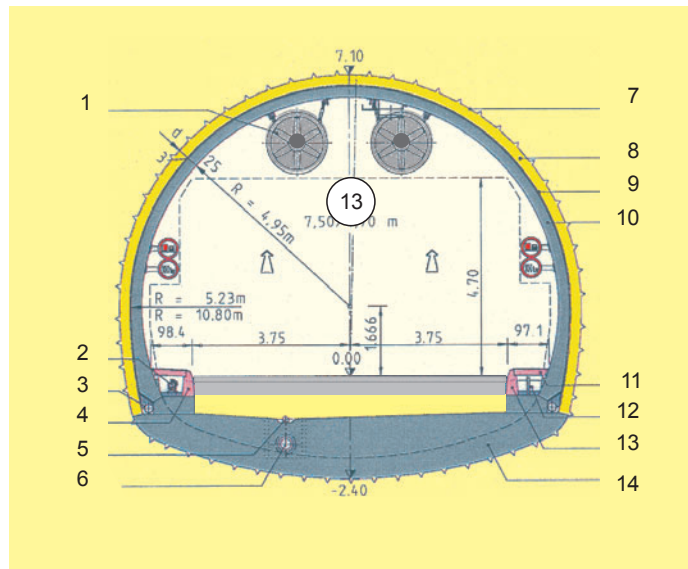
As usual in underground construction, not all assumptions came true. Once the portal sections had been overcome successfully, the excavation continued through rather favourable geology. Troubles, which had not been anticipated, emerged and grew at a distance of about 1,200 m from the portals. The values of radial deformations reached 700 to 800 mm, with the maximum at the tunnel midpoint, where the invert floor heaving occurred up to 1,000 mm. Extreme deformations of the rock face resulted in bursting of the SN anchor heads, and undesired crushing of the concrete primary lining. To prevent this damage by allowing the deformation, longitudinal niches were created in the primary lining, and deformation steel elements, consisting of steel plates interconnected by welding 40cm-high pipes 15 cm in diameter, installed into the niches. At the beginning, up to 5 deformation niches were applied, this number was step-by-step reduced down to two niches. Densening of the anchoring pattern took place simultaneously. For safety reasons, a net protecting the crew from the torn-off anchor washers was fixed to the primary lining surface. Modified washers were used to reduce the tension in the anchors due to the radial deformations of the excavated opening. They had 40mm-diameter pipes welded to their back side as a compensation element (see Fig. 5). The anchor got activated fully after deformation of the pipes. Even those anchors in many cases did not resist the increased deformation, and their heads shot into the excavated space. The increase in deformations in the first days amounted to 80 mm per day. Fig. 6 shows the condition of the primary lining with the compensation elements installed in the niches, additionally applied anchors and protective nets. The plates of the additionally installed anchors, not deformed by the rock pressure yet, are marked by blue crosses.

Since the actual magnitude of deformations was significantly larger than anticipated, some sections of the tunnel had to be re-profiled. Based on this experience, the further excavation continued with overcutting up to 80 mm. The overcutting induces other problems to be solved. The first problem is an increased volume of muck (about 10 m<sup>3</sup>/lm) and subsequent impact to the volume of the dump sites. The dump site at the eastern portal was already full at the time of our visit, and the capacity of the dump site at the western portal had to be extended by various measures. Despite the fact that the initial increase in deformations was relatively fast, it takes a longer time to achieve a deformation of 800 mm. It is therefore necessary to decide whether the tunnellers are to wait until the deformation rate reaches 2 mm/month, or to build the final lining while the primary lining is still deforming.



Obr. 1 Situace výsledné varianty směřovacího řešení  
Fig. 1 Final variants of the horizontal alignment design

- 1 – Ventilátor Da = 1450 mm
- 2 – Rozvod vody
- 3 – Podélná drenáž
- 4 – Obrubník
- 5 – Drenáž
- 6 – Odvodnění vozovky
- 7 – Teoretický výrub 86,2 m<sup>2</sup>
- 8 – Primární ostění
- 9 – Izolace
- 10 – Definitivní ostění
- 11 – Zakrytí kabelového kanálu
- 12 – Kabelový kanál
- 13 – Obrubník
- 14 – Spodní klenba



- 1 – Fan = 1450 mm
- 2 – Water Distribution
- 3 – Longitudinal drain
- 4 – Curb
- 5 – Drainage
- 6 – Roadway Drainage
- 7 – Neat Line of Excavation 86,2 m<sup>2</sup>
- 8 – Primary Lining
- 9 – Waterproofing Membrane
- 10 – Final Lining
- 11 – Cable Duct Covering
- 12 – Cable Duct
- 13 – Curb
- 14 – Invert

Obr. 2 Vzorový příčný řez  
Fig. 2 Typical cross section

ni tunelu je i v těchto inženýrskogeologických podmínkách navržena z prostého betonu.

Příčinou vysokých deformací výrubu a zdvíhání počvy v kalotě je působení horninového tlaku na takřka svisle uložené vrstvy filitů. Přitom stabilita čelby nevyžadovala mimo nastříkání stabilizační ochranné vrstvy stříkaného betonu žádná opatření. Při ražbě tunelových propojek, tj. kolmo na vrstvy filitů, nedocházelo k žádným komplikacím a deformace se výrazně snížily. Běžná vzdálenost profilů pro měření deformací výrubu je 10 až 15 m, v problematických úsecích se zřizují podle potřeby i každý den.

Z důvodu časového průběhu deformací se přistoupilo k velkému předstihu ražby kaloty. Jádro se razí se značným zpožděním po odeznění hlavních deformací v kalotě. Po odtěžení jádra se urychleně dobírá počva a primární ostění se uzavírá spodní klenbou.

V době exkurze byla jižní trouba zcela proražena a provádělo se v ní sekundární ostění. K prorážce severní trouby chybělo necelých 200 m. Ražba kaloty zde probíhala pouze ze západního směru, protože další ražba z východu byla z důvodu velkých deformací zastavena a probíhalo přeprofilování výrubu.

## SEKUNDÁRNÍ OSTĚNÍ

Projekt předpokládal provedení sekundárního ostění z prostého betonu tloušťky 25 cm, pouze v nouzových zálivech měl být použit monolitický drátkobeton tloušťky 35 cm (viz obr. 7). Ve skutečnosti byl v závislosti na průběhu deformací primárního ostění drátkobeton použit i v některých úsecích mimo zálivy. Některé pasy byly dokonce klasicky vyztuženy sítěmi.

Výsledky geotechnických měření jsou účastníkům výstavby kdykoli k dispozici prostřednictvím internetu. Přístup k datům je chráněn heslem. Výsledky měření jsou podkladem pro dimenzování definitivního ostění. Dimenzování probíhá jednak z hlediska tloušťky ostění, kvality betonu a typu vyztuže (prostý beton, drátkobeton, síť). Pokud není stanoveno jinak, je ostění vestavěno v okamžiku, kdy rychlost deformací nepřesáhne hodnotu 2 mm/měsíc.

## DEPONIE PRO RUBANINU

Rubaninu z tunelu nelze využít k žádnému účelu. Je úspěchem, že se v úzkém údolí řeky Rossany podařilo vyřešit místo pro trvalé deponie v blízkosti obou portálů. Rubanina na deponii u východního portálu se odváží auty, zatímco u severního portálu se použilo unikátní nové řešení. Všechna rubanina je předčena a pak pomocí dopravníkového systému ROPECON přemístována na deponii. Jedná se o kombinaci dopravníkového pásu a lanovky. Na podpěrné pilíře jsou ukotvena dvě lana ve dvou výškových úrovních, po kterých se pomocí koleček pohybuje vlastní dopravníkový pás. Kolečka jsou s pásem, který má svislé krajní bočnice, pevně spojena. Koncové výsypné zařízení se po lanech může v určitém rozsahu pohybovat a slouží současně jako jakási napínací a obracíací stanice. Pás se zde zcela otočí, aby se na cestě zpět k místu nakládky pohyboval opět špinavou stranou nahoru (viz obr. 8). Nedočází tedy ke klasickému otočení, jak je známo u dopravníkových pásů.

## ŘÍZENÍ STAVBY

Stavba je financována ze státního rozpočtu. Investorem jsou Alpen Strassen AG, které zastupuje ÖBA/ASG, projektantem ILF Consulting Engineers Innsbruck a dodavatelem sdružení firem ARGE ATS.

Trvalý stavební dozor zajišťují vždy 3 lidé ve dvou dvanáctihodinových směnách (2 pro ražbu a 1 pro definitivní ostění).

ming. This decision affects the volume of concrete for the final lining, the quantity of steel reinforcement, construction period, thus the investment costs value. Larger part of the final tunnel lining is in unreinforced concrete even in those engineering-geological conditions.

The reason for the large deformations of the excavation, and the invert floor heaving, is the effect of the rock pressure acting on nearly vertically deposited layers of phyllites. At the same time, the face stability required no other measures (apart from application of a stabilisation protective shotcrete layer). No complications occurred, and deformations were significantly smaller at the excavation of cross passages, perpendicular to the phyllite layers. Common spacing of the excavation deformation measurement profiles is of 10 - 15 m. In troublesome sections the profiles are established as needed, even daily.

Because of the time behaviour of the deformations, the top heading advance ahead of the bench excavation is long. The bench is excavated with a significant delay, when the major deformations at the top heading have faded away. When the bench has been removed, the invert is excavated expeditiously, and the lining is closed by the invert.

At the time of the excursion, the southern tube excavation was completed, and erection of the final liner was in progress. Less than 200 m of excavation remained to the northern tube breakthrough. The top heading excavation took place from the west only, as further excavation from the east had to be suspended and re-profiling carried out.

## SECONDARY LINING

The design expected 25 cm thick secondary lining from unreinforced cast-in-situ concrete. Steel fibre reinforced concrete (SFRC) lining 35 cm thick was designed for the emergency bays only (see Fig. 7). In fact, the steel fibre reinforced concrete was also applied to some sections beyond the bays, depending on the behaviour of deformations of the primary lining. Some sections were even reinforced in a standard manner, using welded mesh.

Results of geotechnical measurements are available to the project parties anytime, through the Internet. Access to the data is protected by a password. The measurement results are a basis for proportioning of the final lining. The proportioning covers the lining thickness, concrete quality, and reinforcement type (unreinforced concrete, SFRC, mesh). Unless required otherwise, the lining is erected at the moment when the deformation rate is not higher than 2 mm/month.

## MUCK DUMP SITES

The muck from the tunnel cannot be utilised for any other purpose. It is a success that locations for permanent deposition of muck were found in the narrow valley of the Rossane River near both portals. From the eastern portal, the muck is moved to the dump site by dump trucks, while a new unique solution was applied at the northern portal. All muck from this portal is treated by a crusher and moved to the dump site by the ROBECON conveyor system. This system is a combination of a belt conveyor and a cableway. Two cables are fixed to supporting pillars at two levels, with the conveyor belt moving along the cables by means of rollers, firmly connected with the belt. The belt is provided with vertical sideplates. The terminal discharge device can move along the cables within a certain range, and it also works as a tensioning and turning station. The belt turns in the station completely so that it moves back to the loading point again with the dirty side upward (see Fig. 8). This is not a standard way of turning as we know it at standard belt conveyors.



Obr. 3 Zajištění stability západního příportálového úseku tunelu  
Fig. 3 Support of the western pre-portal section of the tunnel



Obr. 4 Zajištění stěny západního portálu  
Fig. 4 Support of the western portal wall



Obr. 9 Východní portál a stávající komunikace  
Fig. 9 Eastern portal and existing road

Praktické řízení stavby je v rukou dvou lidí - jeden je pověřený pracovník zastupující investora a druhý zastupuje dodavatelské sdružení firem. Tito lidé na základě komplexního monitoringu a dat vyplývajících i ze zaměřování výrubu rozhodují o dalším postupu, především o použití konkrétní technologické třídy výrubu nebo dalších dodatečných opatřeních. V případě rozdílných názorů pak jako rozhodčí orgán fungují nezávislí experti, v tomto případě profesori innsbrucké univerzity.

#### PROJECT MANAGEMENT

The project is funded from the state budget. The client, Alpen Strassen AG, is represented by ÖBA/ASG. ILF Consulting Engineers Innsbruck is the designer, the contractor is the ARGE ATS joint venture. Permanent site supervision is provided by 3 persons in each of the two 12-hour shifts (2 for excavation, 1 for the final lining).



Obr. 5 Deformační prvky vkládané do primárního ostění a na desky kotvěv  
Fig. 5 Deformation elements inserted into the primary lining and fixed to the anchor face plates



Obr. 6 Dodatečně překotvená oblast s deformačními prvky v primárním ostění  
Fig. 6 Additionally re-anchored area with deformation elements in the primary lining



Obr. 7 Definitivní ostění v místě závlivu a tunelové propojky  
Fig. 7 Final lining at the bay and cross passage location



Obr. 8 Odtěžování drcené rubaniny dopravníkovým pásem unikátní konstrukce  
Fig. 8 Transportation of crushed muck by the unique-design belt conveyor

## ZÁVĚR

Při výstavbě tunelu pomocí NRTM byly jako doprovodná opatření použity deformační niky ve stříkaném betonu kaloty. Hodnota radiálních deformací výrubu dosahovala až 800 mm. Pro zajištění stability výrubu bylo použito stříkaného betonu se sítí a kotvami délky 4, 6 a 8 m. K prorážce došlo 11. 10. 2003. Zprovozněním tunelu dojde k výraznému zlepšení životního prostředí odlehčením dopravního zatížení stávající komunikace, snížením množství exhalací a spotřeby pohonných hmot. Rovněž dojde ke snížení nehodovosti a rizika ohrožení dopravy vlivem skalního řícení nebo lavin v zimním období. Obrázek 9 zachycuje stávající situaci v oblasti východního portálu.

Uvedení stavby do provozu bylo původně plánováno na prosinec 2005, ale z důvodu komplikací vyplývajících ze skutečně zastižených geotechnických podmínek se dnes jeví jako reálný termín provozu červen roku 2006. Výše investičních nákladů činí 199,95 mil. EUR.

Zasvěcený a vstřícný výklad poskytli pánové Dipl. Ing. Christian Sprenger za investorskou stranu a Dipl. Ing. Budil za sdružení dodavatelů ARGE ATS.

Practical construction management is performed by two people - one of them is authorised by the client, the other represents the joint venture. On the basis of the comprehensive monitoring and data obtained, among others, from the tunnel surveying, those two people decide on the further procedure, above all on application of a particular excavation class or other additional measures. In case of differing opinions, independent experts (in the given instance professors of the University of Innsbruck) are invited as an arbitration body.

## CONCLUSION

Deformation niches in shotcrete lining of the top heading were used as supplementary measures to the NATM at the tunnel construction. The magnitude of radial deformations of the opening reached 800 mm. Shotcrete with mesh and 4.6 to 8 m long anchors were used to secure the excavation stability. The breakthrough took place on 11/10/2003. When the tunnel is opened to traffic, the environment will improve significantly thanks to reduction in the traffic load on the existing road, lowering of the volume of emissions and consumption of fuels. Also the accident rate and risk of threatening the traffic by falling rock or avalanches in winter seasons will drop. Fig 9 shows the existing situation in the area of the eastern portal.

The tunnel inauguration was originally scheduled for December 2005, but, due to the complications following from the actually encountered geotechnical conditions, the date of June 2006 appears more realistic today. The investment cost amounts to EUR 199.95 million.

Well informed and prompt explanation was provided by Dipl.-Ing. Christian Sprenger on behalf of the client, and Dr. Andreas Budil on behalf of the contractor, the ARGE ATS joint venture.

Ing. Miloslav Novotný, Ing. Libor Mařík