

TUNEL PATNITOP – NEJDELŠÍ SILNIČNÍ TUNEL V INDIÍ

PATNITOP TUNNEL – THE LONGEST ROAD TUNNEL IN INDIA

PETR SVOBODA, MARTIN SRB

ÚVOD

Tunel Patnitop je stejně jako sedm kratších tunelů, popsaných v článku uveřejněném v časopise Tunel č. 1/2007, součástí projektu zkapacitnění státní silnice NH-1A, tzv. „severojižního koridoru“ probíhajícího Indií od jihu na sever a spojujícího města Srinagar (stát Jammu a Kashmir v Himálaji) a Kanyakumari (stát Tamilnadu na jihu Indie).

V podhůří Himálaje prochází tato původně stará obchodní cesta velmi složitým terénem. Směrové vedení komunikace zůstává prakticky beze změny od roku 1914, kdy byla upravena na jednopruhovou silnici. V roce 1954 byla deklarována jako státní silnice NH-1A (National Highway – 1A). Do provozu byl v tomtéž roce uveden Jawaharlal Nehru tunel procházející pod hřebenem Pir Panjal ve výšce cca 2500 m n. m. Silnice byla postupně vylepšována, a v roce 1968 se přistoupilo k rozšíření na komunikaci dvoupruhovou, stále s původním směrovým a výškovým vedením (obr. 1).



Obr. 1 Silnice NH-1A mezi Udhampurem a Srinagarem
Fig. 1 The NH-1A highway between Udhampur and Srinagar

Současný velký hospodářský růst Indie přináší i zvýšené nároky na dopravu a dopravní infrastrukturu. Proto bylo rozhodnuto o zkapacitnění komunikace NH-1A. Do budoucna by silnice měla mít dva dvoupruhové, směrově oddělené jízdní pásy.

Firma D2 Consult Prague se podílela na projektu jako tunelový konzultant americké firmy Louis Berger Inc. Činnost zahrnovala variantní návrhy možných tunelů pod masivem Patnitop, jejich srovnání multikriteriální analýzou a doporučení nejhodnějšího řešení. Následně byla vypracována zadávací dokumentace vybrané varianty 9 km dlouhého, dvoupruhového tunelu s protisměrným provozem a paralelní únikovou štolou.

PROJEKT

Projekt zvýšení kapacity silnice z Udhampur do Banihalu je pouze jedním z mnoha, které jsou v současnosti v Indii realizovány. Z pohledu množství rekonstruovaných nebo nově budovaných inženýrských objektů se však jedná o jeden z nejnáročnějších. Místní podmínky v podhůří Himálaje jsou velmi složité. Silnice vede po úbočí strmých svahů, oblastmi častých sesuvů a na cestě do centrálního Kašmírského údolí překonává několik výrazných hřebenů.

INTRODUCTION

Same as the seven shorter tunnels which were described in the article published in the issue No. 1/2007 of Tunnel magazine, the Patnitop tunnel is part of the project having the aim of increasing the capacity of the NH-1A National Highway, the so-called “North-Southern Corridor” running across India from the south to the north and connecting the city of Srinagar (the state of Jammu and Kashmir) with the city of Kanyakumari (the state of Tamilnadu, in the south of India).

In the Himalayan foothills, this, originally ancient, trade route passes a very difficult terrain configuration. The horizontal alignment of the way has remained virtually unchanged since 1914, when it was converted to a single-lane road. In 1954 it was declared to be the NH-1A National Highway. It was the year when the Jawaharlal Nehru Tunnel, passing under the Pir Panjal mountain ridge at an altitude of about 2500m a.s.l., was inaugurated. The road was step-by-step improved and, in 1968, the work on widening the road and changing it to a double-lane configuration commenced. The original horizontal and vertical alignment was not changed then (see Fig. 1).

The current great economic growth of India brings increased demands on transportation and traffic infrastructure. This is why the decision to boost the capacity of the NH-1A highway was made. In the future, the highway should become a two-lane dual carriageway.

D2 Consult Prague company participated in the design work, being a tunnelling consultant for Louis Berger Inc., a USA-based company. Its activities consisted of carrying out variant designs for possible tunnels under the massif of Patnitop, comparisons of the variants using the Multiple-Criterion Analysis and recommendations for the most suitable solution. The tender documents, which were based on the variant consisting of a 9km long, double-lane bi-directional tunnel and a parallel escape gallery, were prepared subsequently.

PROJECT

The project for the increasing of the Udhampur – Banihal highway is only one of the many projects which are currently being implemented in India. It is, however, one of the most demanding projects in terms of the number of new civil engineering structures to be reconstructed or newly built. Local conditions in the Himalayan foothills are very difficult. The highway leads on hillsides, through frequent landslide areas and passes several marked mountain ridges on the route to the valley of Kashmir.

The whole project is divided into three partial sections. No tunnel is designed for the first section (Jammu – Udhampur). The design for the second section (Udhampur – Banihal) contains 8 tunnels (the Patnitop tunnel is found in this section). Two tunnels are designed for the third section (Banihal – Srinagar).

The second section is further divided into five parts. No tunnel is designed for the first part. The second part contains only the 9km long Patnitop tunnel, which is currently the longest road tunnel under preparation in southeastern Asia. The third part and fifth part contain each one tunnel, whilst five tunnels are designed for the fourth part. This gives a total of seven shorter tunnels with the lengths between 200m and 900m, and one very long tunnel.

The section in question, from Udhampur to Banihal, first rises about one hundred metres from Udhampur, along the Tawi River valley, up to the Patnitop mountain ridge at an altitude of about 2030m. After passing across the mountain ridge, the road descends toward the city of Batot and further to the Chenab River valley, then it continues on steep slopes upstream the Bighlari River toward Banihal. It further runs across the Pin Panjal mountain ridge to Srinagar. This section is 122km long (see Fig. 2).

The objective of this project is to increase the capacity and improve the safety of the highway by increasing the number of traffic lanes and forming a dual carriageway. The road is designed for the speed of 50km/h (according to the requirements of Indian standards for national highways in mountainous terrain configuration).

The development of the 9km-long tunnel under Patnitop ridge will reduce the length of the route by 30km will allow the route to avoid the 1000m ascending and descending of the existing road.



Obr. 2 Severní portál tunelu
Fig. 2 Northern tunnel portal

Celý projekt je rozdělen na tři dílčí úseky. V prvním úseku (Jammu – Udhampur) není navržen žádný tunel. Ve druhém (Udhampur – Banihal) je navrženo celkem 8 tunelů (tunel Patnitop se nachází v tomto úseku). Ve třetím úseku (Banihal – Srinagar) jsou navrženy tunely dva.

Druhý úsek je dále podrobněji členěn na 5 částí. V první části není navržen žádný tunel. Druhá část obsahuje pouze 9 km dlouhý tunel Patnitop (tč. nejdelší připravovaný silniční tunel v jihovýchodní Asii). V třetí a páté části je vždy navržen jeden tunel, ve čtvrté části je tunelů pět. Celkem se tedy jedná o sedm kratších tunelů různých délek od 200 m do 900 m a jeden velmi dlouhý tunel.

Popisovaný úsek z Udhampuru do Banihalu nejdříve stoupá cca 1000 výškových metrů z Udhampuru úbočím řeky Tawi a až na hřeben Patnitop ve výšce 2030 m. Po překonání horského hřebene klesá cesta k městu Batot a dále do údolí řeky Chenab a poté pokračuje po úbočí strmých svahů proti proudu řeky Bighlari směrem na Banihal. Dále pak přes horský hřeben Pir Panjal do Srinagaru. Délka tohoto úseku je 122 km (obr. 2).

Cílem projektu je zvýšit kapacitu a bezpečnost komunikace zvýšením počtu jízdních pruhů a jejich směrovým oddělením. Komunikace je navržena na návrhovou rychlostí 50 km/h (dle indických standardů pro státní silnice v horském terénu).

Vybudování 9 km dlouhého tunelu pod hřebenem Patnitop zkrátí trasu o 30 km a vyhne se stoupání a klesání zhruba o 1000 m na stávající silnici.

POSTUP PRACÍ

Mezinárodně uznané území státu Jammu a Kashmir patří formálně Indii. Celá oblast je však fakticky rozdělena mezi Indii, Pakistán a Čínu. Indická část je silně obsazená armádou a policií. Území je zároveň částečně uzavřeno pro volný pohyb osob. To znamenalo různá administrativní zdržení a komplikace během zpracování projektu a získávání potřebných dokumentů a podkladů.

Dokumentace byla zpracována postupně ve dvou etapách. Práce byla zahájena na počátku roku 2005. Nejdříve byla po studiu mapových podkladů a prověření přímo v terénu vytypována místa možných portálů a tras tunelů. Studie obsahovala několik variant tunelů různých délek, tvaru příčných řezů a zhodnocení variant umožňující investorovi (NHAI – National Highway Authority of India, obdoba ŘSD v ČR) zvolit optimální řešení zohledňující také místní faktory.

Během procesu vyhodnocování a výběru variant byly vedeny intenzivní diskuse s investorem o vhodnosti jednotlivých řešení. Součástí této diskuse byla i bezpečnostní problematika a konečný návrh definitivního příčného řezu tunelu (podrobněji viz kapitola Příčný řez).

V roce 2005 probíhal geologický průzkum. V rámci průzkumu byly provedeny vrty v portálových oblastech tunelu, ale i hlubší vrty v místech s vysokým nadložím přímo z hřebene. Tyto vrty nedosahují až k niveletě tunelu. Celý průzkum byl pro potřeby návrhu doplněn podrobným geologickým mapováním a geotechnickým vyhodnocením, na kterém se podíleli odborníci z Technická univerzita Graz.

V roce 2006 – 2007 byla zpracována zadávací dokumentace pro vybranou variantu 9 km dlouhého tunelu včetně paralelní únikové štoly.

PROGRESS OF WORKS

The internationally recognised territory of the state of Jammu and Kashmir is formally part of India. However, the whole territory is factually divided among India, Pakistan and China. The Indian portion is heavily occupied by the army and police. In addition, free movement of persons in a part of the territory is prohibited. This fact meant various administrative delays and complications during the work on the design and obtaining the documents required.

The documents were worked out in two phases, starting at the beginning of 2005. The first step consisted of the studying of the terrain layout, verification in situ, followed by searching for locations suitable for portals and for the tunnel routes. The study contained several variants of tunnels with various lengths and geometry of cross sections, as well as the assessment of the variants, which allowed the client (NHAI – National Highway Authority of India, which is an analogy of the Directorate of Roads and Motorways in the Czech Republic) to choose the optimum design taking into consideration, among others, the local factors.

Intense discussion with the client was held during the variant assessment and selection process regarding the suitability of individual variants. The safety problems and the final design of the definite cross section were also discussed (for more details see the “Cross Section” chapter).

The geological survey was conducted in 2005. The survey consisted of drilling in the tunnel portal areas and deeper drilling, directly from the top of the ridge, where the tunnel overburden is higher. The boreholes did not reach the tunnel bottom. The entire survey was supplemented by detailed geological mapping and a geotechnical assessment, which was carried out with the TU Graz experts participating.

The tender documents were developed in 2006 – 2007, for the selected variant consisting of a 9km-long tunnel and a parallel escape gallery.

GEOLOGY AND GEOTECHNICS

The geological composition along the highway route consists of two basic ground types. Sedimentary rock types prevail in the southern part of the route section, the so-called Murree Formation, whilst igneous rock types and rock types which developed through the metamorphose from igneous rock, the so-called Panjal Formation, prevail in the central and northern part. The Patnitop Ridge, which is to be passed under by the tunnel, is found in the Murree Formation.

The Murree formation consists of Lower to Middle Miocene rocks, primarily dark red, purple and grey sandstone, marlstone, claystone, brittle shales and various conglomerates.

Medium blocky sandstone displays various texture, with the grain size ranging from fine to very coarse. The strength of the material varies between medium and high. Joints between blocks are frequently filled with clay. The sandstone layers are locally weakly weathered to weathered.

The bedded claystone and clayey shales are finely grained, with a low compressive strength. Limy marmoration or venation is frequently observable. Stress relaxation results in decomposition and loss of moisture (see Fig. 3).

Alternation of weak rock (claystone and clay) zones with hard rock (sandstone) layers is typical of this formation. The ratio of claystone to sandstone, which are found in layers with various thickness, and the possible presence of ground water during the excavation are the main factors affecting the stability of the excavation face and the excavated opening. This will be the basis for the making of decisions not only on the application of particular excavation support classes but also on the division of the face and advancing of



Obr. 3 Výchozy na severním portálu
Fig. 3 Outcrops at the northern portal

GEOLOGIE A GEOTECHNIKA

Geologické skladba podél trasy komunikace sestává z dvou základních typů. V jižní části úseku převládají horniny sedimentárního původu tzv. Murree formation, ve střední a severní části úseku převládají horniny vyvěřelé a horniny metamorfované z vyvěřelin Panjal formation. Hřeben Patnitop, pod kterým prochází popisovaný tunel, náleží k formaci Murree.

Murree je tvořen horninami ze spodního až středního miocénu. Jedná se převážně o temně červené, nachové a šedivé pískovce, slínovce, jílovce a křehké jílové břidlice a různé konglomeráty.

Středně blokované pískovce mají různou zrnitost od jemné až po velmi hrubou. Pevnost materiálu se pohybuje od střední k vysoké. V puklinách mezi jednotlivými bloky je často jílová výplň. Místy jsou vrstvy pískovců mírně navětralé až zvětralé.

Vrstevnaté jílovce a jílové břidlice jsou jemně zrnité s nízkou pevností v tlaku. Často je pozorovatelná vápenitá mramorovitost až žilkovitost. Vlivem uvolnění napětí dochází k rozpadání a ztrátě vlhkosti.

Pro tuto formaci je typické střídání pásů měkkých hornin (jílovce a jíly) s pásy hornin tvrdých (pískovce) (obr. 3). Vzájemný poměr jílovců a pískovců uložených v různých silných vrstvách a případná přítomnost podzemní vody během ražby jsou hlavní faktory ovlivňující stabilitu čelby a výrubu. Na tomto základě bude rozhodováno o použití dané třídy výrubu, ale i členění a pobírání jednotlivých dílčích výrubů. Na zásadní vliv tloušťky jílovcových vrstev ukázalo i provedené numerické modelování (obr. 4).

Dalším faktorem významně ovlivňujícím deformační a stabilitní chování výrubu je stav napjatosti horninového masivu. Při maximálním nadloží 1000 m je očekávána vertikální složka odpovídající výšce nadloží. Vzhledem k aktivní tektonické historii oblasti, morfologii terénu a dostupným informacím o tektonických zlomech v oblasti tunelu se předpokládá spíše nižší horizontální napjatost ve směru kolmém na osu tunelu.

Návrh způsobu ražby, členění a zajišťování výrubu vychází z předpokládaných typů chování výrubu včetně extrémních, tj. velmi nepříznivého chování vyžadujícího členění a zajištění čelby kaloty a opatření před čelbou.

Vzhledem k omezeným informacím získaným průzkumem a vzhledem k malým zkušenostem s ražbami obdobných profilů v oblasti je především odhad rozložení geotechnických typů a očekávaných způsobů ražby (technologických tříd) zatížen velkou nejistotou.

PŘÍČNÝ ŘEZ

Návrh příčného řezu tunelu byl ovlivněn zejména prostorovými požadavky na světlý průřez tunelu, šířku vozovky a také nutnou velikostí vzduchových kanálů pro uvažovanou příčnou ventilaci.

Stejně jako u kratších tunelů byla i u tunelu Patnitop dlouho diskutována zejména šířka vozovky v tunelu. Diskusi ovlivňoval i projekt obdobného tunelu (cca 7 km dlouhého) v sousedním úseku z Banihalu do Srinagaru pod masivem Pir Panjal, kde je tunelovým konzultantem/projektantem francouzská firma Sctaroute, a požadavek investora na jednotné řešení.

Konečná podoba příčného řezu byla na základě požadavků NHAJ stanovena na 9,35 m šířky vozovky, dva 1 m široké zvýšené chodníky po stranách a paralelní únikovou štolu s propojkami. Plocha příčného řezu se zvětšila na cca 147 m², uspořádání viz obr. 5.

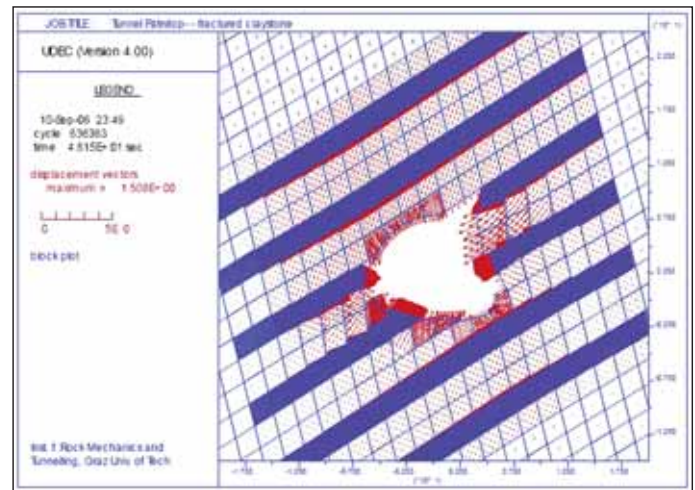
Ražba štol proběhne s krátkým předstihem před hlavním tunelem, bude sloužit jako průzkumné dílo a bude indikovat chování masivu a očekávané problémy. Dále bude mít funkci drenážní a dopravní během výstavby.

Ve výsledném návrhu tvoří vnitřní líc definitivního ostění kružnice o poloměru 6,65 m se středem v ose tunelu 3,2 m nad povrchem vozovky. Vrchol klenby je 9,85 m nad vozovkou. Ve výšce 5,7 m nad vozovkou je umístěn mezistrop odělující vzduchové kanály od dopravního prostoru tunelu. Poloměr mírného vyklenutí mezistropu je 40 m. Velikost vzduchových kanálů je 2 x 17 m².

Příčný řez má celkem tři základní varianty podle použité třídy výrubu (A, B a C). U varianty A je klenba tunelu uložena na železobetonových patkách. Výška patek je 550 mm. U variant B a C je dno tunelu zajištěno protiklenbou. Poloměr vnějšího líce protiklenby u typu B je 14,65 m a vrchol klenby je 2,7 m pod niveletou vozovky. Typ C má vrchol protiklenby 3,3 m pod niveletou a poloměr je 10,15 m.

Minimální tloušťka ostění ve vrcholu klenby je 400 mm. Tloušťka protiklenby je proměnná.

Isolace tunelu je navržena jako deštníková (tj. pouze v prostoru horní klenby). Za patkami ostění jsou uloženy boční drenáže Ø 250 mm.



Obr. 4 Modelování výrubu programem UDEC

Fig. 4 Excavation modelling using the UDEC program

individual partial headings. The fundamental influence of the thickness of the clay layers was also proven by numerical modelling (see Fig. 4).

Another factor which significantly influences the stability and deformational behaviour of the excavation is the state of stress in the rock massif. At the maximum overburden 1000m high, the vertical component is expected to correspond to the overburden height. Considering the active tectonic history of the area, the terrain morphology and information about faults in the tunnel area available, there is an assumption that the horizontal stress perpendicular to the centre line of the tunnel will be rather low.

The design for the excavation technique, division of the face and excavation support is based on the anticipated types of the excavation behaviour, including extreme ones, i.e. very unfavourable behaviour requiring the division and support of the top heading face and measures to be implemented ahead of the face.

With respect to the limited information obtained by surveys, and considering the insufficient experience in excavating similar profiles in the given area, the estimation of the distribution of the geotechnical types and the expected excavation procedures (excavation support classes) is, most of all estimations, subjected to great uncertainty.

CROSS SECTION

The tunnel cross section design was affected, above all, by spatial requirements for the net cross section of the tunnel, the width of the roadway and the necessary dimensions of the ventilation ducts for the planned transverse ventilation.

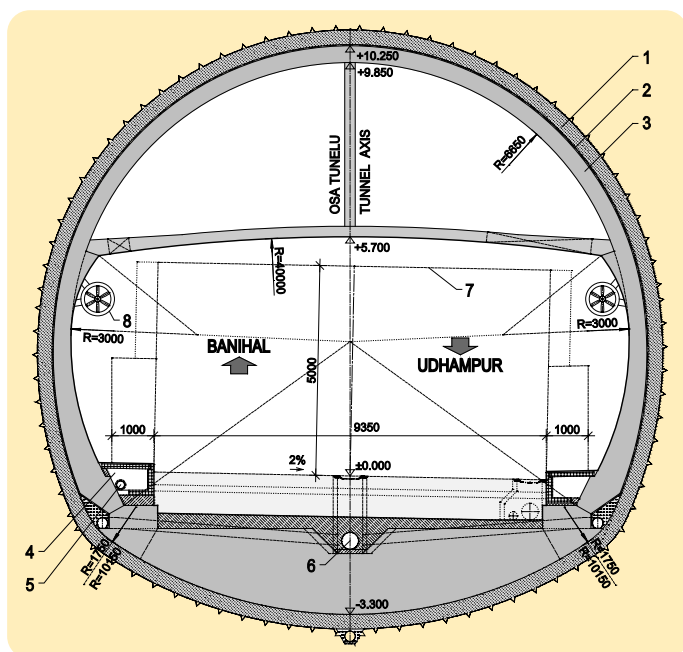
Same as in the case of the shorter tunnels, the width of the roadway in the Patnitop tunnel was also one of the main issues which were discussed for a long time. The discussion was affected even by the design of a similar tunnel (about 7km long) in the neighbouring section from Banihal to Srinagar, running under the Pir Panjal massif, where French-based company Sctaroute is the consultant/designer, and by the owner's requirement for a unified design.

The final design for the cross section was determined on the basis of the NHAJ requirements as follows: the road width of the roadway, two 1m-wide raised walkways on both sides, and a parallel escape gallery with cross passages. The cross-sectional area was increased to about 147 m²; for the configuration see Fig. 5.

The gallery excavation will start with a short advance ahead of the main tunnel. It will serve as an exploration gallery, and will indicate the rock mass behaviour and anticipated problems; further it will have drainage and transportation functions.

In the resulting design, the internal contour of the final lining forms a circle with the radius of 6.65m and the centre on the tunnel centre line 3.2m above the roadway surface. The top of the crown is 9.85m above the roadway surface. A suspended slab is at a height of 5.7m above the roadway. It separates ventilation ducts from the traffic space in the tunnel. The radius of the moderate arching of the suspended slab is 40.0m. The cross-sectional area of the ventilation ducts is 2 x 17 m².

The cross section has three basic variants, depending on the respective excavation support class (A, B and C). For the variant "A", the tunnel vault is supported by reinforced concrete footings. The footing is 550mm high. The variants "B" and "C" have the excavation bottoms stabilised by an invert. The radius of the outer surface of the invert at the type "B" is 14.65m and the lowest point of the inverted arch is 2.7m under the roadway surface. The type



Obr. 5 Příklad příčný řez tunelu: 1 – primární ostění, 2 – hydroizolace, 3 – sekundární ostění, 4 – kabelový kanál, 5 – požární vodovod, 6 – centrální tunelová stoka, 7 – průjezdni průřez, 8 – podélný proudový ventilátor
Fig. 5 Tunnel cross-section: 1 – primary lining, 2 – waterproofing layers, 3 – secondary lining, 4 – cable duct, 5 – fire main, 6 – central tunnel sewer, 7 – clearance profile, 8 – longitudinal jet fan

Drenáže jsou obsypány mezerovitým betonem. Každých 60 m – 70 m (podle skladby jednotlivých typů bloků) je v místě revizní šachty boční drenáž propojena se středovou kanalizační stokou \varnothing 400 mm.

Pod oběma chodníky je vytvořen prostor pro uložení slaboproudých i silnoproudých vedení. Kable budou po uložení zasypány pískem a zakryty betonovými deskami. Spáry mezi deskami budou opatřeny záhlvkou tak, aby nedocházelo k zatékání vody.

Na vnitřní straně (směrem k únikové štolě) je v tomto prostoru uložen i požární vodovod. To umožní napojení vodovodu na řad ve druhém tunelu po jeho dokončení.

V odstavném zálivu je vozovka jednostranně rozšířena o odstavný pruh šířky 2,5 m. Strana řezu bez rozšíření je stejná jako v řezu normálním. Klenba tunelu je asymetrická. Minimální tloušťka ostění ve vrcholu klenby je 450 mm (obr. 6). Délka jednoho bloku betonáže bude 10 m.

Příčný řez ražené tunelové propojky má dvě varianty: se spodní klenbou a na patkách bez spodní klenby. Zde je také navržena deštníková izolace. Za patkami jsou uloženy podélné drenáže. Tyto drenáže jsou pomocí šachet napojeny na hlavní tunelovou stoku.

Příčný řez únikové štoly neuvádíme. V projektu bylo navrženo variantní řešení bez i s definitivním ostěním. Vzhledem k předpokládané pozdější výstavbě druhého tunelu bude štola zřejmě zajištěna pouze primárním ostěním.

Vzhledem ke konfiguraci terénu na obou portálech není nutno budovat hloubené části tunelu. Přímo za raženým portálem je vždy vybudována budova vzduchotechniky.

SMĚROVÉ A VÝŠKOVÉ VEDENÍ TUNELU

Vzhledem ke stísněným podmínkám úzkých údolí se strmými svahy je osa komunikace vedena relativně ostrými oblouky. Směrové vedení komunikace v tunelu začíná u jižního portálu tunelu levým obloukem o poloměru 300 m, pokračuje dlouhou přímkou (8450 m). U severního portálu tunelu prochází směrové vedení dvěma protisměrnými oblouky. Levý směrový oblouk má poloměr 550 m, následuje krátká mezipřímá (128 m) a pravý směrový oblouk s poloměrem 300 m. Délka celého tunelu je 9020 m. Ražený úsek má délku 8980 m.

Niveleta komunikace je v tunelu vedena se střechovitým sklonem tak, aby bylo umožněno gravitační odvodnění. Od jižního portálu komunikace stoupá podélným sklonem 0,5 %. Vrchol polygonu je 2387 m od jižního portálu. Poloměr zaoblení je 20 000 m. Výškové vedení dále klesá se sklonem 0,5 % k severnímu portálu. Výškový rozdíl mezi portály je 21,28 m. Jižní portál leží 1230,30 m n. m., severní potom 1209,07 m n. m.

“C” has the lowest point of the invert 3.3m under the roadway surface and the radius is 10.15m.

The minimum thickness of the lining in the crown is 400mm. The invert thickness is variable.

The tunnel waterproofing will be of the umbrella type (i.e. only in the space of the upper vault. There are side drains \varnothing 250 mm behind the footings of the lining. The drains are embedded in porous concrete. The side drains are connected with the \varnothing 400 mm central sewer every 60 – 70m (depending on the composition of individual block types), with the branches starting from the manholes on the drains.

There is a space formed under both walkways, which will be used for the installation of weak current and heavy current lines. The cables will be back-filled by sand and covered by concrete slabs after the installation. The joints between the slabs will be sealed to prevent leakage of water.

In addition, the space on the inner side (in the direction toward the escape gallery) houses a fire main. This design will make the connection of the water main to the main in the other tunnel tube when it is completed.

In the lay-by, the roadway width is enlarged by the addition of a 2.5m wide lane. The side of the cross section which is not widened is identical with that in the normal cross section. The tunnel vault is asymmetric. The minimum thickness of the lining in the crown is 450mm (see Fig. 6). A concrete casting block will be 10m long.

There are two variants of the cross section of the mined cross passage: a variant with an invert and a variant supported by footings, without an invert. This variant is also protected by the umbrella-type waterproofing system. Longitudinal drains are located behind the footings. These drains are also connected via manholes to the main tunnel sewer.

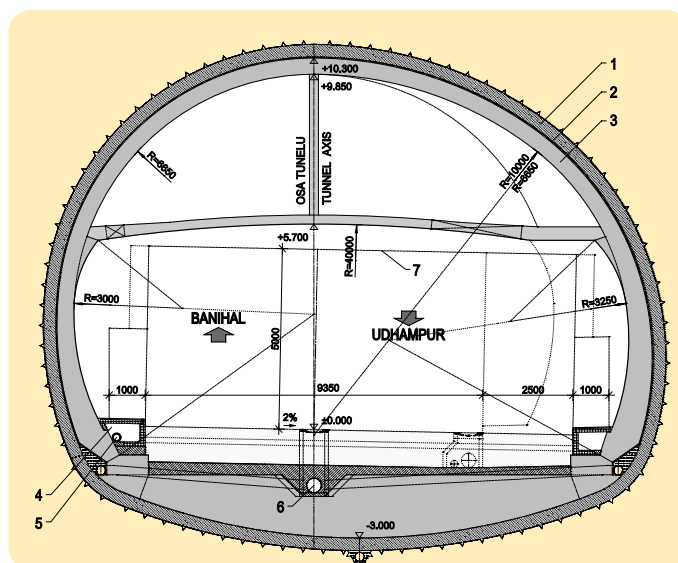
We do not present the cross section through the escape gallery. The design contains two variants – without the final lining or with it. With respect to the expected subsequent construction of the second tunnel tube, the gallery will probably be provided only with the primary lining.

Considering the terrain configuration at both portals, no cut-and-cover tunnel sections are necessary. There will be a ventilation plant building directly behind each portal.

HORIZONTAL AND VERTICAL ALIGNMENT OF THE TUNNEL

Because of the confined conditions in narrow valleys with steep slopes, the centre line of the road follows relatively narrow curves. The horizontal alignment of the road in the tunnel starts at the southern portal through a 300m radius left-hand curve, then it continues through a long straight section (8450m). At the northern portal, it runs through two reverse curves. The left-hand curve has a diameter of 550m; a short tangential path (128m) and a 300m right-hand curve follow. The length of the entire tunnel amounts to 9020m. The mined section is 8980m long.

The vertical alignment of the tunnel is roof-shaped so that gravity drainage of the tunnel is possible. The road ascends from the southern portal at a gradient of 0.5%. The peak of the polygon is at a distance of 2387m from



Obr. 6 Příklad příčný řez tunelu v odstavném zálivu: 1 – primární ostění, 2 – hydroizolace, 3 – sekundární ostění, 4 – kabelový kanál, 5 – požární vodovod, 6 – centrální tunelová stoka, 7 – průjezdni průřez
Fig. 6 Tunnel cross-section in the lay-by: 1 – primary lining, 2 – waterproofing layers, 3 – secondary lining, 4 – cable duct, 5 – fire main, 6 – central tunnel sewer, 7 – clearance profile

TECHNOLOGICKÉ TŘÍDY VÝRUBU

Návrh předpokládaných technologických tříd výrubu určují hlavně dva faktory. Prvním je rozdělení masivu na tzv. kvazihomogenní celky a druhým neméně důležitým je vliv výšky nadloží, tedy stav napjatosti masivu. Tyto faktory určují předpokládané chování výrubu během ražby. Vliv na způsob členění výrubu a jeho následné zajištění má samozřejmě i velikost výrubu a další ovlivňující faktory (např. hydrogeologické). U tunelu Patnitop se plocha výrubu pohybuje v závislosti na aplikované třídě od cca 147 m² do 175 m² v normálním profilu tunelu, v odstavném závalu se pohybuje od 175 m² do 197 m².

Při návrhu způsobu ražby a zajišťování výrubu a k určení schémat vystrojení výrubu jednotlivých tříd byla využita rakouská norma ÖNORM B 2203, vydání z roku 1994, a směrnice OEGG pro geotechnický návrh tunelů. Pro přehlednost a snadnou pochopitelnost byly technologické třídy označeny podle jednotlivých typů chování horninového masivu.

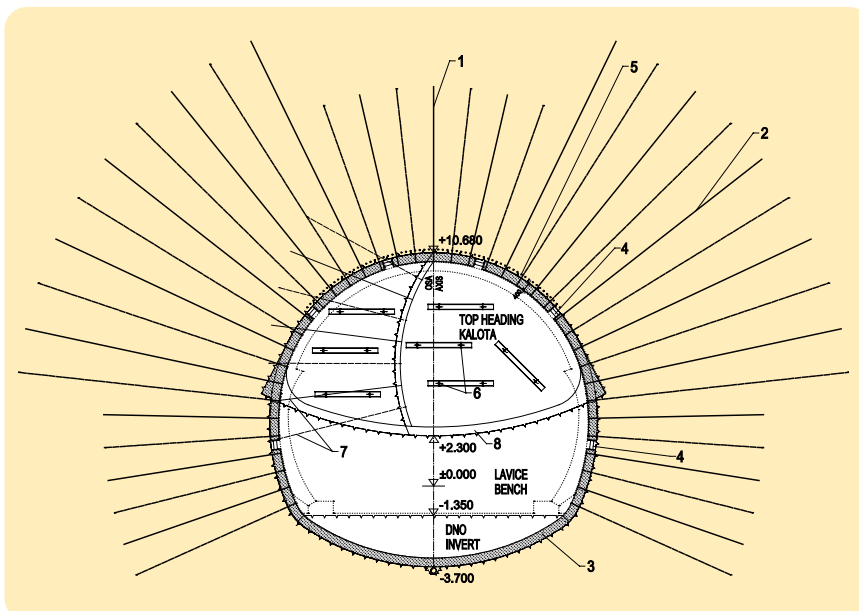
Projekt ražeb bude upřesněn podle výsledků ražby únikové štoly, která zároveň poslouží jako průzkumné dílo pro ražbu velkého tunelu. Během realizace stavby budou pak upřesněna jednotlivá schémata vystrojení na základě zastižených geologických podmínek na čelbě.

Navržený systém předpokládá a umožňuje efektivní spolupráci odpovědných a odborně kompetentních pracovníků investora ve funkci stavebního dozoru (tzv. Engineer dle FIDIC) a zhotovitele, rozhodujících o geotechnickém zařazení, systému vystrojení a o způsobu postupu ražby přímo na stavbě v souladu s principy observační metody.

Pro zadávací dokumentaci byly navrženy čtyři technologické třídy. Tyto třídy se liší velikostí výrubu, tvarem počvy výrubu a částečně i způsobem pobírání dílčích částí výrubu.

TŘÍDA A jako jediná z navržených tříd nemá dno výrubu zajištěno protiklenbou. Pro postup ražby je předpokládáno horizontální členění výrubu na kalotu a lavici (jádro). Výrub je zajištěn 200 mm sřikáného betonu se dvěma vrstvami výztužné sítě 150 x 150 x 6 mm a systémovým kotvením svorníky délky 6 a 8 m (15 resp. 14 ks v záběru). Celková plocha výrubu je 146,8 m². V klenbě kaloty bude prováděno jehlování podle potřeby. Maximální délka záběru je 2 m. Na délku záběru má kromě zastižených geotechnických podmínek významný vliv i množství rubaniny, kterou je třeba vytěžit a množství materiálu zabudovaného do vystrojení výrubu. Maximální odstup mezi kalotou a lavicí je 100 m.

TŘÍDA B s plochou výrubu 165,6 m² předpokládá horizontální členění výrubu na kalotu, lavici a dno. Zajištění výrubu tvoří 300 mm sřikáného betonu vyztuženého dvěma vrstvami sítě 150 x 150 x 8 mm. Systémové kotvení představují svorníky délky 8 m (17 resp. 16 ks v záběru). Podle potřeby bude jehlována klenba kaloty a použito kotvení čelby samozávrtnými kotvami (IBO) délky 12 m. Maximální délka záběru je 1,5 m. Odstup lavice za kalotou je 50 m. Dno tunelu se zavírá protiklenbou ze sřikáného betonu do 15 m za lavici. Vrchol protiklenby je 3 m pod niveletou vozovky. Pokud by během ražby docházelo k velkým svislým deformacím výrubu, bude v kalotě použito rozšíření patek ostění kaloty nebo se profil kaloty uzavře dočasnou protiklenbou.



Obr. 7 Technologická třída výrubu C: 1 – svorníky délky 8 m, 2 – svorníky délky 12 m, 3 – primární ostění, 4 – stlačitelné elementy, 5 – jehlování, 6 – čelbové kotvy délky 12 m, 7 – dočasné kotvy v dílčí kalotě (6 m), 8 – protiklenba v kalotě

Fig. 7 Excavation support class "C": 1 – rock bolts 8m long, 2 – rock bolts 12m long, 3 – primary lining, 4 – yieldable elements, 5 – spiling, 6 – 12m long anchors to the face, 7 – temporary anchors in a partial top heading (6 m), 8 – top heading invert

the southern portal. The radius of curvature is 20,000m. The horizontal alignment further descends at 0.5% toward the northern portal. The difference between the elevations of the portals is 21.28m. The altitudes of the southern and northern portals are 1230.30m a.s.l. and 1209.07m a.s.l. respectively.

EXCAVATION SUPPORT CLASSES

The specification of anticipated excavation support classes is determined, above all, by two factors. The first one is the division of the rock mass into the so-called "quasi-homogenous units"; the other one, not less important, is the influence of the overburden height, i.e. the state of stress in the mass. These factors determine the anticipated behaviour of the excavated opening during the excavation. Of course, the excavation dimensions and other factors (e.g. hydrogeological conditions) also influence the system of sequencing and subsequent supporting of the excavation. Regarding the Patnitop tunnel, the excavated cross sectional area ranges, depending on the applied class, from about 147m² to 175m² in the normal tunnel profile and from 175 m² to 197 m² in the lay-by.

The design of excavation means and methods was carried out and the specifications for the excavation support for the individual classes were determined using the Austrian standard ÖNORM B 2203, the 1994 issue, and the OEGG directive on geotechnical tunnel design. For the benefit of good arrangement and clarity, the excavation support classes were marked according to individual types of the rock mass behaviour.

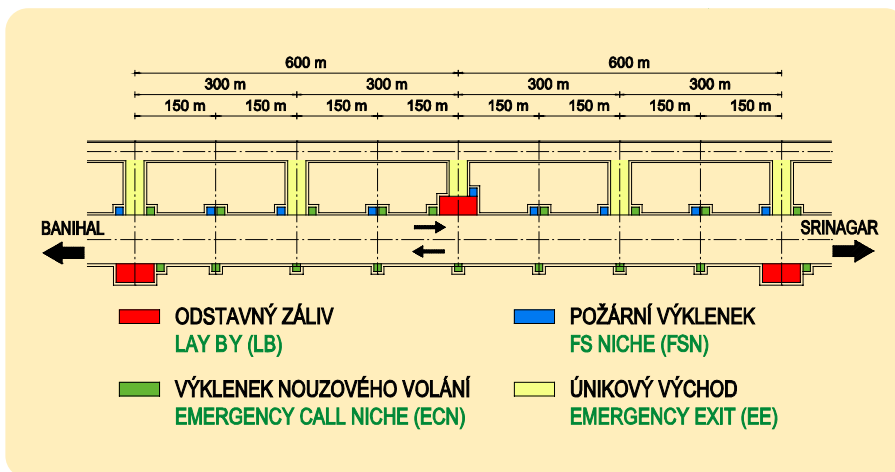
The design of means and methods will be adjusted according to the results of the excavation of the escape gallery, which will, at the same time, serve as an exploration gallery for the excavation of the large tunnel. The individual specifications for the excavation support will be adjusted during the construction on the basis of the geological conditions encountered at the heading.

The designed system expects and allows effective cooperation of responsible and qualified owner's personnel performing the site supervision (the Engineer in terms of the FIDIC) with contractor's staff, who will jointly decide about the geotechnical classification, the support system and the excavation procedure directly on site, in accord with the Observational Method principles.

Four excavation support classes were specified in the tender documents. The classes differ in the dimensions of the excavated cross section, the shape of the excavation bottom and, partially, the method of excavation at individual partial headings.

CLASS "A" is the only class for which the excavation bottom is not stabilised by an invert. The excavation is assumed to proceed with the face divided horizontally into the top heading and bench. The excavation is supported by a 200mm thick layer of shotcrete with two layers of mesh 150 x 150 x 6mm and systematic anchoring with 6m and 8m long rock bolts (15 or 14 pieces per round). The total excavated cross-sectional area is 146,8 m². Forepoling will be carried out in the crown of the top heading if necessary. The maximum round length is 2.0m. The round length is significantly affected, apart from the geotechnical conditions encountered, also by the volume of muck which must be removed and the volume of the material which must be used for the excavation support. The maximum distance between the top heading and bench is 100m.

CLASS "B" with the excavated cross-sectional area of 165,6 m² assumes the horizontal excavation sequence consisting of the top heading, bench and invert. The excavation support comprises 300mm of shotcrete, two layers of mesh 150 x 150 x 8mm and systematic anchoring with 8m long rock bolts (17 or 16 pieces per round). Forepoling will be used in the crown and 12m long self-drilling IBO anchors will stabilise the excavation face if required. The maximum round length is 1.5m. The distance between the bench and top heading is 50m. The closing of the profile by the invert (shotcrete) will not be at a greater distance from the bench than 15m. The lowest point of the invert is 3.0m under the roadway surface. Should large vertical deformations occur during the excavation, the feet of the top heading lining will be widened or the top heading lining will be closed by temporary invert.



Obr. 8 Bezpečnostní vybavení, typické uspořádání
Fig. 8 Safety equipment - typical arrangement

TRÍDA C je nejtěžší použitou vystrojovací třídou. Plocha výrubu je 175,4 m². I zde je předpokládáno jako základní horizontální členění výrubu, v případě nutnosti však může být kalota tunelu ražena s dělenou čelbou. Do ostění ze stříkaného betonu tloušťky 400 mm se dvěma vrstvami sítě 150 x 150 x 8 mm jsou umístěny i ocelové stlačitelné elementy. Tyto přídatné prvky snižují riziko rozpraskání ostění vlivem velkých deformací výrubu. Po obvodu výrubu jsou osazeny svorníky délky 8 a 12 m (21 resp. 20 ks v záběru). Klenba tunelu bude během ražby jehlována. Čelba je jištěna rastrem samozávrtných 12m kotev. Stabilitu čelby samozřejmě zvyšuje vertikální rozdělení kaloty na dvě části. V případě nutnosti bude v kalotě provizorně uzavíráno dno tunelu, maximálně 5 m za čelbou. Podélná vzdálenost mezi čelbami dělené kaloty je maximálně 25 m, po dalších 25 m následuje ražba laviče a dno je dobíráno a zajišťováno s odstupem dalších 10 m (obr. 7).

TRÍDA D je v zásadě shodná s třídou C, liší se pouze v zajištění klenby kaloty. Zde je tvořena mikropilotovým deštníkem z ocelových trubek. Tato třída je určena na zdolávání častých poruchových zón.

Stejně jako pro hlavní tunel bylo provedeno rozdělení technologických tříd výrubu pro ražbu únikové štoly a všechny tunelové propojky. Opět bylo použito rozdělení na A, B a C. Dále nebudeme vzhledem k omezenému prostoru tohoto článku jednotlivé třídy popisovat.

Odhad rozdělení do jednotlivých technologických tříd slouží hlavně k přehledu objemů a odhadu nákladů.

TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ

Požadavky na technologické vybavení tunelu a bezpečnostní řešení je navrženo v souladu se současnými mezinárodními standardy a respektuje požadavky evropské směrnice 2004/54/ES. Typické rozmístění stavebně bezpečnostních úprav je patrné z obr. 8.

Základním opatřením pro bezpečnost osob v případě nebezpečí (havárie) je možnost úniku propojkami do paralelní únikové štoly, která může sloužit také pro přístup záchranných jednotek a bude v případě požáru v tunelu přetlakově větrána od portálů.

Na obou portálech tunelu jsou umístěny řídicí střediska provozu. Na jižním portále je hlavní středisko, na severním středisko záložní. U obou portálů jsou také navrženy nádrže pro požární vodovod.

Větrání dopravního tunelu je navrženo příčné se vzduchovými kanály nad vozovkou a ventilačními budovami u portálů. V profilu tunelu jsou navíc umístěny podélné ventilátory pro snazší řízení proudění vzduchu v tunelu.

Funkční požadavky na systém řízení provozu, zabezpečení a údržby v tunelu jsou koncepčně definovány v zadávací dokumentaci, specifické systémy, zařízení a vybavení budou upřesněny v průběhu výstavby.

ZÁVĚR

Tunel Patnitop je v současné době nejdlejší projektovaný silniční tunel v jihovýchodní Asii a po realizaci předpokládán v letech 2008 – 2014 bude nejvýznamnějším tunelovým objektem na státní silnici NH-1A v indickém státě Jammu a Kashmir.

Úspěšnost jeho výstavby bude ovlivněna nejen vypracovaným návrhem, ale především jeho aplikací v zatím nevyzkoušených podmínkách a dodržení předpokladů návrhu, a to nejen technických, ale také organizačních a kompetenčních.

Odpovědný přístup investora a zajištění účasti odborníků při provádění může výrazně snížit rizika tohoto ojedinělého tunelového projektu.

ING. PETR SVOBODA, svoboda@d2-consult.cz,
ING. MARTIN SRB, srb@d2-consult.cz,
D2 CONSULT PRAGUE, s. r. o.

CLASS "C" is the most difficult excavation support class. The excavated cross-sectional area is 175,4 m². The horizontal excavation sequence is assumed to be basic even for this class, however, if necessary, the top heading excavation can be subdivided. The primary lining consisting of a 400mm thick layer of shotcrete and two layers of mesh 150 x 150 x 8mm will contain yielding steel elements. These yielding elements reduce the risk of cracking of the lining resulting from large deformations of the excavation. There will be 21 or 20 pieces of 8m and 12m long rockbolts installed in each round around the tunnel circumference. The crown of the tunnel will be supported by forepoling. The excavation face will be supported by means of a grid of 12m long anchors. Of course, the stability of the face will be

increased in the case of the top heading which is divided into two parts. In the case of necessity, the tunnel invert will be closed in the top heading, at a minimum distance of 5m from the face. The distance between the partial headings of the divided top heading is 25m as a minimum; the bench excavation follows at a distance of other 25m, and the invert excavation is to be completed and stabilised further 10m behind (see Fig. 7).

CLASS "D" is, in principle, identical with class "C"; the only difference is in the support of the crown. In this case, it is provided by canopy tube pre-support. This class is intended for the passing through the frequent weakness zones.

The excavation support classes for the escape gallery and all cross passages were determined in the same way as those determined for the main tunnel. Again, the division into classes A, B and C was used. With respect to the limited space available for this paper, we do not describe the individual classes.

The estimation of the division into individual excavation support classes is used mainly for calculations of volumes and estimation of costs.

TUNNEL EQUIPMENT

The tunnel equipment has been designed in compliance with the current international standards and it follows the requirements of the European Directive 2004/54/ES. A typical arrangement of the structural safety measures is shown in Figure 8.

The basic measure in terms of safety of persons in the case of an emergency (an accident) is the possibility of escaping through cross passages to the parallel escape gallery, which can be even used as an access route for rescue units; it will be pressure ventilated from the portals in the case of a fire in the tunnel.

The operation management centres are located at both portals. The main centre is at the southern portal, while the management centre at the northern portal is a standby. Reservoirs supplying the fire main are provided also at both portals.

A transverse ventilation system with ventilation ducts above the roadway and ventilation plant buildings at the portals is designed for the road tunnel. Additional fans, which are located within the tunnel cross-section, are intended to allow easier control of the airflow in the tunnel.

The performance requirements for the operation, safety and maintenance management system are conceptually defined in the tender documents; requirements for specific systems, equipment and facilities will be specified during the course of the construction.

CONCLUSION

The Patnitop tunnel is currently the longest tunnel being designed in South Eastern Asia. When it has been completed, it will become the most important tunnel structure on the NH 1A National Highway in the Indian state of Jammu and Kashmir.

The success of the construction will be affected not only by the completed design but also by its implementation in the conditions which have not been tested yet and by the degree of compliance with the design assumptions – not only technical but also organisational and those related to qualification.

A responsible attitude of the owner and participation of experts during the construction may significantly reduce the risks associated with this outstanding tunnelling project.

ING. PETR SVOBODA, svoboda@d2-consult.cz,
ING. MARTIN SRB, srb@d2-consult.cz,
D2 CONSULT PRAGUE, s. r. o.