

PROJEKT A REALIZACE VZDUCHOTECHNICKÉHO OBJEKTU NOUZOV TUNELŮ STAVBY 513 NA SILNIČNÍM OKRUHU KOLEM PRAHY NOUZOV VENTILATION STATION ON LOT 513 OF PRAGUE CITY RING ROAD – DESIGN AND CONSTRUCTION

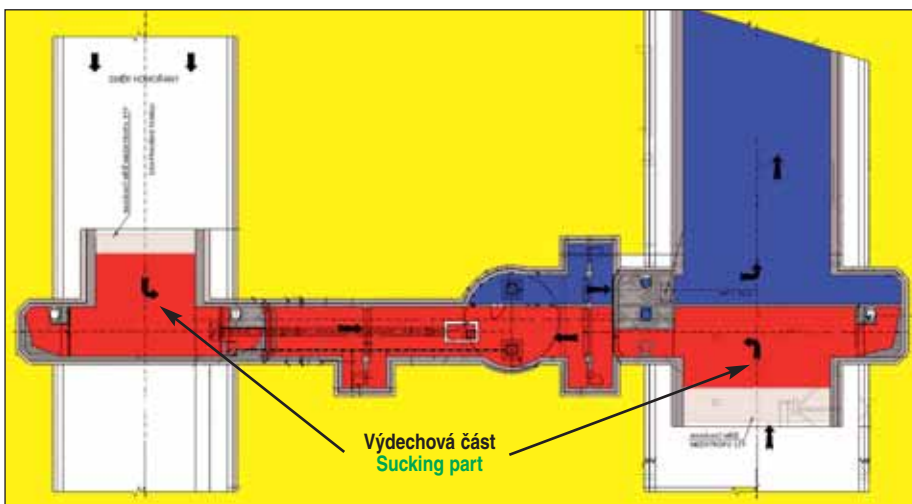
RADAN BOHMAN, VLADIMÍR PRAJZLER, LIBOR MAŘÍK

ÚVOD

Projektování a realizace tunelů dnes již neznamená jen perfektní zvládnutí geotechnické problematiky nebo technologických postupů výstavby. Na bezpečnost provozu silničních a dálničních tunelů dohlíží sofistikované řídicí systémy a při návrhu technického řešení je nutno zohlednit nejen výši investičních a provozních nákladů a bezpečnostních hledisek, ale i vliv dopravy v tunelu na životní prostředí. Součástí zadávací dokumentace na výstavbu tunelů Silničního okruhu kolem Prahy (SOKP) v úseku stavby 513 byla i výstavba vzduchotechnického objektu Nouzov, který při vysokých dopravních zátěžích zajišťuje, aby koncentrace škodlivin při provozu nepřekračovaly hygienickými předpisy povolené meze. Objekt se skládá z nadzemní části, kde je umístěna strojovna vzduchotechniky, technologické zázemí a výdechový komín, a dále ze vzduchotechnické šachty a podzemního vzduchotechnického rozpletu napojeného na oba hlavní tunely. Článek popisuje proces optimalizace technického řešení podzemní části vzduchotechnického objektu a realizaci stavební části vzduchotechnické šachty a podzemního rozpletu.

PŮVODNÍ NÁVRH DLE ZADÁVACÍ DOKUMENTACE

Vzduchotechnický objekt lze z hlediska vedení vzduchu rozdělit do dvou částí. Na část odsávající znečištěný vzduch z obou tunelových trub do vzduchotechnické šachty a dále přes nadzemní část objektu do výfukového komína. V druhé části objektu je do stoupačích třípruhového tunelu dodáván čistý vzduch, který po smísení se vzduchem v tunelu snižuje koncentraci škodlivin tak, aby na cholupickém portále splňovala hygienické normy pro vypouštění znečištěného vzduchu z tunelu do ovzduší. Půdorysné schéma navrženého technického řešení viz obr. 1, kde je modrou barvou vyznačen přísávaný čistý vzduch a červenou barvou odsávaný znečištěný vzduch. Součástí podzemního rozpletu byla, kromě poměrně složitěho systému chodeb a kanálů, i úprava konstrukce ostění obou tunelů v místě napojení na vzduchotechnický objekt. Profil tunelu byl oproti standardnímu tvaru nadvýšen, na bocích tunelu byly navrženy sestupné šachty se žaluziemi pro odsávání znečištěného



Obr. 1 Půdorysné schéma původního technického řešení
Fig. 1 Layout plan of the original technical solution

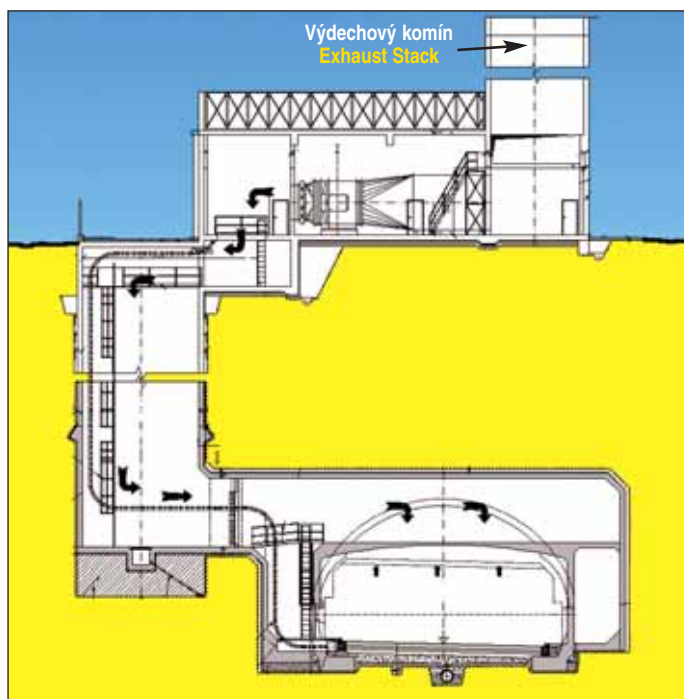
INTRODUCTION

No more does designing and constructing mean only perfect coping with geotechnical problems or technological procedures of construction. Safety of traffic in road and motorway tunnels is supervised by sophisticated control systems. When a technical solution is being designed, it is necessary to take into consideration not only the amount of capital and operating costs and safety aspects, but also the environmental impact of traffic passing through the tunnel. Part of the tender documentation for the construction of tunnels on the Prague City Ring Road (the outer ring), construction lot 513, was, among others, the construction of Nouzov ventilation station, which secures that the concentration of pollutants due to high traffic volumes during the tunnel operation does not exceed limits allowed by hygiene regulations. The station structure comprises a superstructure containing a ventilation plant, a technical area and an exhaust stack and further, a ventilation shaft, an underground ventilation junction node linking to both main tunnels. This paper describes the process of optimising the technical solution to the underground part of the ventilation station and execution of civils works on the ventilation shaft and the underground junction node.

ORIGINAL DESIGN ACCORDING TO REQUIREMENTS OF TENDER DOCUMENTATION

The ventilation station structure can be divided in terms of the air routing into two parts, i.e. a part sucking polluted air from both tunnel tubes and discharging it to a ventilation shaft and further, through the superstructure, to an exhaust stack, and the other part supplying fresh air to the triple-lane (ascending) tunnel to reduce the concentration of pollution by mixing it with the air in the tunnel so that the pollution level at the Cholupice portal complies with requirements of hygiene standards for exhausting polluted air to the atmosphere. For the layout of the technical solution draft see Figure 1, where the fresh air which is being sucked in is marked in blue and the polluted air being exhausted in red. Part of the underground junction node was, apart from a relatively complex system of galleries and ducts, also a modification of the lining of both tunnels at the point where it connects to the ventilation station structure. Compared with the standard cross section, the tunnel profile height was increased, descending shafts with dampers were designed for the sites to remove polluted air from the tunnel. Fresh air was supplied to the space above a suspended slab in the triple-lane tunnel and blown into the tunnel at a sufficient distance from the extraction dampers so that it was not immediately sucked back. The proposed technical solution was not optimal for several reasons:

The tunnel excavation encountered very hard rock which required the use of the drill-and-blast disintegration technique. The ventilation junction node is found roughly in the middle of the mined tunnels section, at a location where the overburden is the highest. Blasting operations would have caused significant deterioration of the rock mass during the excavation of the designed system of ventilation adits, a ventilation shaft and



Obr. 2 Schéma napojení vzduchotechnického objektu na jižní tunel
Fig. 2 Chart of the connection of the ventilation station to the southern tunnel

vzduchu. Čerstvý vzduch byl přiváděn do prostoru nad mezistropem třípruhového tunelu a vyfukován do tunelu v dostatečné vzdálenosti od nasávacích žaluzií, aby nedocházelo k jeho opětovnému nasávání. Navržené technické řešení nebylo optimální hned z několika důvodů:

- Při ražbě tunelů byly zastíženy velmi pevné skalní horniny, jejichž rozpojení vyžadovalo použití trhacích prací. Vzduchotechnický rozplet se nachází zhruba uprostřed úseku ražených tunelů v místě s nejvyšším nadložím. Vlivem negativních účinků trhacích prací při ražbě navrženého systému vzduchotechnických štol, šachty a tunelové propojky by došlo vzhledem k minimální vzdálenostem podzemních prostor ke značné degradaci horninového masivu s nežádoucími dopady i do oblasti hlavních tunelů.

- Profily vzduchotechnických chodeb a kanálů navržené v obdélníkových a asymetrických tvarech s velmi plochou horní klenbou se nejeví jako výhodné z hlediska statického působení.

Mezi podzemním vzduchotechnickým objektem a tunelovou propojkou č. 5 zbýval velmi tenký horninový pilíř, který v místě výklenků vzduchotechnické chodby dosahoval mocnosti jen 1 metr!

- Vzduchotechnický rozplet byl složitý na realizaci i na následnou údržbu při provozování tunelu. Detaily napojení jednotlivých podzemních prostor byly velmi náročné na provádění a mohly být zdrojem vad. Zejména při netěsnostech hydroizolační fólie by vyžadovala sanace průsaků použití velmi nákladných a obtížně proveditelných opatření.

- Profil tunelu, který dosahuje v severní troubě 107 m² a v jižní troubě dokonce 138 m², doznal v místě rozpletu dalšího zvětšení vytvořením vzduchotechnického kanálu nad profilem obou tunelů. Obr. 2 ukazuje schéma napojení podzemního vzduchotechnického objektu na třípruhový tunel podle zadávací dokumentace. Zvětšení profilu by při výstavbě znamenalo úpravu technologického postupu a použití mnoha atypických prvků jak v primárním, tak definitivním ostění.

- Navržený princip větrání předpokládal vybudování mezistropu v obou tunelových troubách. V třípruhovém tunelu se jednalo

a tunnel cross passage. The negative effects would have been spread even to the area of the main tunnel tubes.

The rectangular and asymmetric geometry of ventilation adits with extremely flat upper vaults which had been designed does not appear advantageous in terms of the structural behaviour.

A very thin rock pillar remained between the underground ventilation station structure and cross passage No.5; it was only 1m thick in the locations of niches in the ventilation adit!

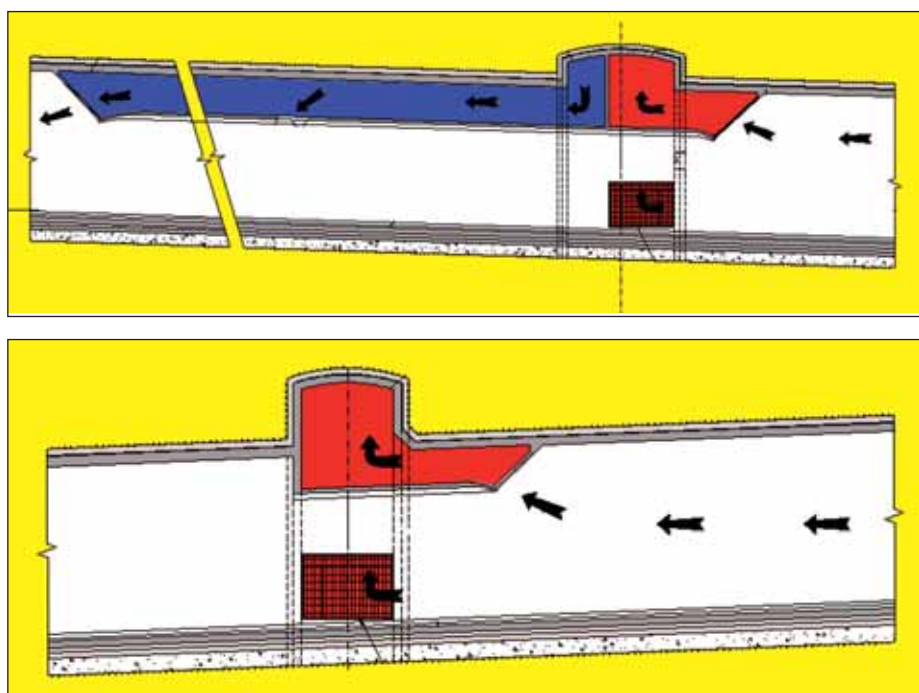
The ventilation junction node was complex as far as the construction work and subsequent maintenance during operation is concerned. Structural details of connections for individual underground spaces were very difficult to perform and were potential sources of defects. First of all in cases of the waterproofing membrane leakage, removing leaks would require very expensive and difficult to implement measures.

The tunnel cross-sectional area, reaching 107m² in the northern tube and even 138m² in the southern, was further enlarged in the junction node location as a result of the creation of a ventilation duct above the profile of both tunnel tubes. Figure 2 shows the connection of the underground ventilation station to the triple-lane tunnel as required by the tender documentation. Enlarging the profile during the construction work would have meant the necessity to modify the technological procedure and use many atypical elements of both the primary and final linings.

The proposed principle of ventilation expected that an intermediate deck would be built in both tunnel tubes. The section in question was 55m long in the triple-lane tunnel and only 5m long section in the double-lane tube. Using the cross-section containing the intermediate deck required structural modification of standard travelling forms for casting of the final lining and using special formwork for the casting of the intermediate deck itself. This would have affected both the construction time and the cost of works because the special formwork for the intermediate deck would have been used on a very short tunnel section. The planned extent of the intermediate deck use in the northern and southern tunnel tubes is shown on Fig. 3.

The intermediate deck is a critical element in terms of fire safety because the task to secure fire resistance of the deck is much more difficult to solve compared with the tunnel lining vault. In a case of a collapse of the structure, the collapsed intermediate roof means blocking of the escape route, just in the location of the cross passage in this specific case.

The net cross-sectional area of the tunnel in the area of the intermediate deck is reduced by nearly 25%, which is not optimal in a case of smoke spreading through the tunnel during a fire. The



Obr. 3 Rozsah mezistropu dle zadávací dokumentace
Fig. 3 The extent of the intermediate deck according to the tender documentation

o úsek délky 55 m, v dvoupruhovém tunelu dokonce jen o úsek délky 5 m. Použití příčného řezu s mezistropem by vyžadovalo při betonáži definitivního ostění konstrukční úpravu standardních bednicích vozů a použití speciálního bednění v případě vlastní betonáže mezistropu. To by mělo dopad jak do doby výstavby, tak do ceny prováděných prací, neboť speciální bednění mezistropu by bylo použito na velmi krátkém úseku tunelu. Plánovaný rozsah použití mezistropu v severní i jižní tunelové troubě ukazuje obr. 3.

- Mezistrop představuje kritický prvek z hlediska požární bezpečnosti, protože zajištění jeho požární odolnosti v porovnání s klenbou ostění je podstatně složitější. Při kolapsu konstrukce znamená zřícení mezistropu zneprůchodnění únikové cesty, v tomto případě dokonce v místě tunelové propojky.

- V oblasti mezistropu dochází ke zmenšení světlé plochy tunelu o téměř 25 %, což při šíření kouře v tunelu při požáru není optimální. Snížení průjezdné výšky vylučuje přepravu nadměrných nákladů.

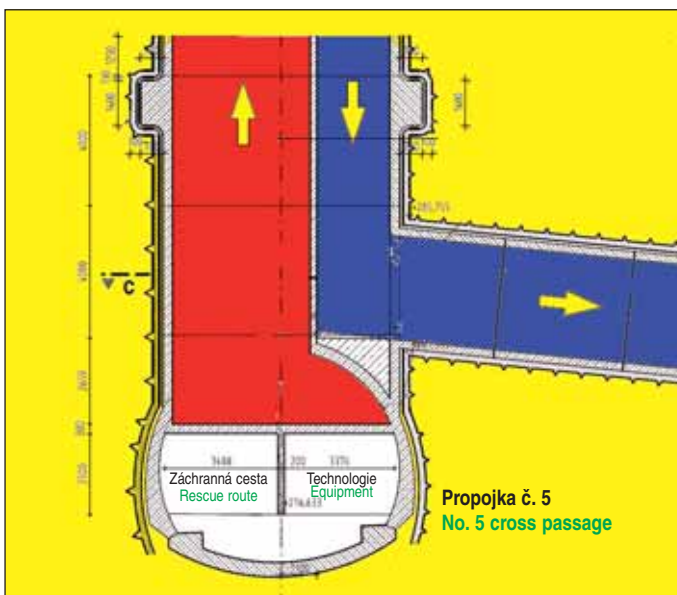
Z výše uvedených důvodů přistoupil projektant realizační dokumentace po dohodě se zástupci zhotovitele i investora k optimalizaci technického řešení stavební části vzduchotechnického objektu. Tato optimalizace byla možná jen za úzké spolupráce s autorem vzduchotechnického návrhu a zpracovatelem realizační dokumentace vzduchotechniky tunelu – firmou Satra, a. s.

ÚPRAVA TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ PŘI ZPRACOVÁNÍ REALIZAČNÍ DOKUMENTACE

Při úpravě technického řešení vycházel projektant realizační dokumentace z následujících požadavků:

- úprava technického řešení nesmí být na úkor funkčnosti díla jako celku;
- úpravy nesmí vyvolat navýšení investičních a provozních nákladů;
- minimalizovat zásah do horninového masivu a zejména horninového pilíře mezi tunely;
- zkrácení doby výstavby;
- přívod, resp. odvod požadovaných objemů vzduchu pro obě tunelové roury bude zajištěn dostatečným profilem vzduchotechnických cest stanoveným zpracovatelem realizační dokumentace vzduchotechniky tunelů (firmou Satra), přičemž nesmí dojít ke smísení „čistého“ a znečištěného vzduchu;
- zjednodušení ražby a provádění definitivního ostění rozpletu nebude mít negativní vliv na výstavbu hlavních tunelů.

Ke klíovým okamžikům při návrhu nového technického řešení patřilo rozhodnutí o sloučení tunelové propojky č. 5 a vzduchotechnického objektu do jednoho celku. Zpočátku projektant uvažoval o provedení štoly atypických rozměrů mezi oběma tunely, která by svým profilem vyhovovala oběma účelům. Díky spolupráci



Obr. 5 Schéma vedení vzduchu dle nového řešení
Fig. 5 Air distribution system according to the new design



Obr. 4 Umístění vrtu DN800 mm na dně vzduchotechnické šachty
Fig. 4 Location of the DN800mm borehole at the ventilation shaft bottom

reduced height clearance makes the passage of vehicles with excessive height loads impossible.

For the above-mentioned reasons, the author of the detailed design, after discussions with representatives of the client and the contractor, started to optimise the technical solution of the civil part of the ventilation station structure. The optimisation was possible only under the condition of close co-operation with Satra a. s., the author of the ventilation design and the detailed design for the tunnel ventilation.

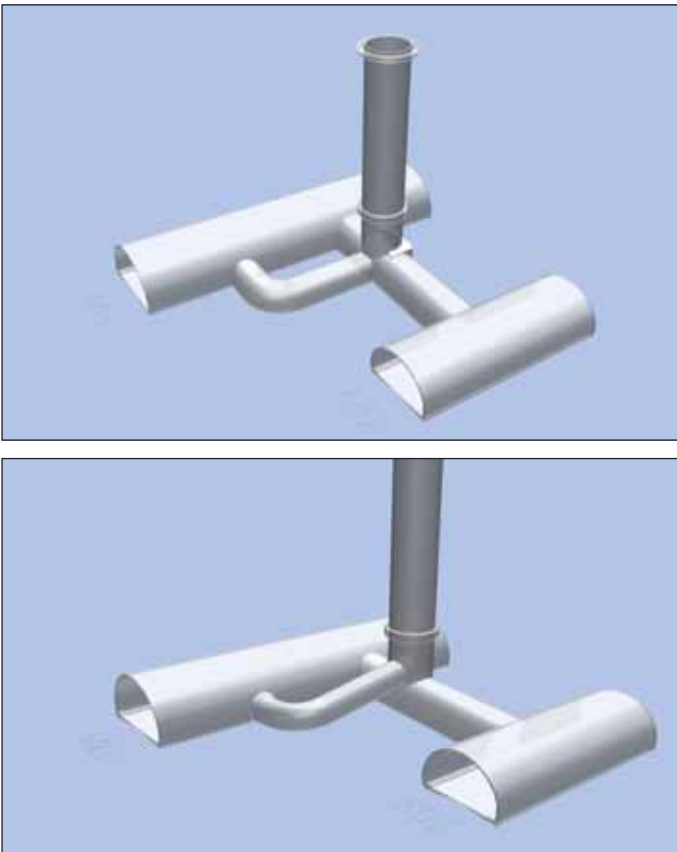
MODIFICATION OF THE TECHNICAL SOLUTION DURING THE WORK ON THE DETAILED DESIGN

The designer for detailed design, when modifying the technical solution, started from the following requirements:

- The changes in the technical solution must not be carried out on behalf of the overall works functioning;
- The changes must not result in increased capital expenses or operating costs;
- The intervention to the rock mass must be minimised, above all as far as the intermediate pillar between the tubes is concerned;
- The construction time must be cut;
- The supply or extraction of the required volumes of air will be ensured for both tunnel tubes through a sufficient area of the ventilation routes, which will be determined by calculations carried out by the author of the detailed design for the tunnel ventilation (Satra a. s.); the fresh air and polluted air must not get mixed together;
- The simplification of the excavation must not negatively affect the construction of both main tunnels.

One of the moments crucial for the new technical solution design was the decision to join No. 5 passage with the ventilation station to form one unit. In the beginning, the designer considered constructing a gallery with atypical dimensions between both tunnels, the profile of which would be convenient for both purposes. However, thanks to the co-operation with the designer for ventilation, they succeeded in using a standard profile of the cross passage, identical with the profiles of all other escape routes in the tunnel, and use its height by inserting the intermediate deck, over which polluted air sucked from both tunnels will flow. This solution gave rise to a multi-functional underground structure serving as an escape route, a space for switchboards and a fundamental element of the ventilation of both tunnels in a case of increased concentration of pollutants in the tunnel atmosphere. The new design replaces the intermediate decks in the tunnels by a ventilation by-pass adit through which fresh air is supplied to the ascending triple-lane tunnel. No. 5 cross passage will house, in addition, the connection of both branches of the hydrant main with an over 3m deep shaft housing pressure control valves.

In this case, the location of the underground structure is bound, in addition, to the above ground structure of the ventilation station, which is confirmed in the land-use plan and the location of which is limited by the plan area of permanent works. A large-diameter, DN



Obr. 6 Varianty podzemního rozpletu na 3D modelu

Fig. 6 Variants of the underground junction node in a 3D model

s řešitelem vzduchotechniky se však podařilo použít standardní profil tunelové propojky jako u všech ostatních únikových cest v tunelu a využít její výšku vložím mezistropu, nad kterým bude uskutečněno odsávání znečištěného vzduchu z obou tunelů. Vznikl tak multifunkční podzemní objekt, který slouží jako úniková cesta, prostor pro rozváděče i zásadní prvek odvětrání obou tunelů v případě zvýšení koncentrace škodlivin v ovzduší. Mezistropy v tunelech nahrazuje v novém návrhu obchodí vzduchotechnická štola, která přivádí čistý vzduch do stoupajícího třípruhového tunelu. V propojce č. 5 je navíc umístěno propojení obou větví požárního vodovodu s šachtou redukčních ventilů hloubkou přes 3 m.

Umístění podzemního objektu je v tomto případě vázáno i na povrchový objekt vzduchotechniky, který je zakotven v územním plánu a jehož poloha je omezena záborom pozemků. Při ražbě průzkumné geotechnické štoly byl v těchto místech proveden velkopřůměrový vrt DN 800 mm, který sloužil k jejímu odvětrání. Poloha vzduchotechnického vrtu měla původně odpovídat poloze plánované vzduchotechnické šachty s využitím vrtu při hloubení šachty pro shoz rubaniny do úrovně tunelů. Před zahájením projekčních prací proto došlo k zaměření skutečné polohy vrtu a na základě nových informací bylo zjištěno, že vrt byl situován asi 3 m od polohy předpokládané projektem. Bez posunu vzduchotechnické šachty by vrt procházel primárním ostěním zajišťujícím stabilitu výrubu při jejím hloubení. V rámci záboru pozemků došlo proto k mírnému posunu celého nadzemního objektu tak, aby poloha stávajícího vrtu a jeho vzdálenost od ostění šachty umožňovala práci mechanismů použitých při hloubení. Obr. 4 ukazuje dno šachty a poblíž lezného oddělení se nachází zmiňovaný vzduchotechnický vrt DN 800 mm. Půdorysné rozměry nadzemního vzduchotechnického objektu zůstaly zachovány.

Přesné napojení vzduchotechnické šachty (s vazbou na povrch) a štol v podzemí bylo dále vázáno na bloky betonáže definitivního ostění tunelů. Při ražbě tunelů v místě propojky č. 5 nebyla díky novému návrhu nutná zásadní úprava technologického postupu ražeb, pouze dodržení délky záběru max. 1,5 m a provedení systémového kotvení pro navrženou technologickou třídu výrubu v místě propojek.

Obchodí vzduchotechnická štola délky 29 m o ploše výrubu 18 m² vychází ze vzduchotechnické šachty a zaústíje do třípruhového

800mm borehole was carried out while excavating a geotechnical exploration gallery, designed to ventilate it. The location of the ventilation borehole was originally expected to coincide with the location of the planned ventilation shaft. It was to be used during the course of the shaft sinking for dropping the muck down to the tunnel level. The actual location of the borehole was therefore surveyed before commencing the work on the design. It was found on the basis of new information that the borehole was located at a distance of about 3m from the location assumed in the design. If the ventilation shaft had not been shifted, the borehole would have run through the primary lining supporting the excavation during the shaft sinking operations. The entire above ground structure was therefore slightly shifted, within the plan area of permanent works, so that the location of the existing borehole and its distance from the shaft lining allowed the shaft sinking equipment to work. Figure 4 shows the shaft bottom; the above-mentioned DN 800mm ventilation borehole is found in the vicinity of the ladder compartment. Ground plan dimensions of the above ground part of the ventilation structure remained unchanged.

The exact connection of the ventilation shaft (with a relation to the surface layout) and adits in the underground was further bound to the casting blocks of the tunnel lining. Owing to the new design, no substantial changes in the technological procedure for the excavation were necessary when driving in the location of cross passage No. 5. It was only necessary to maintain the maximum round length of 1.5m and install an anchoring system specified for the excavation support class determined for the location in which the cross passages were designed.

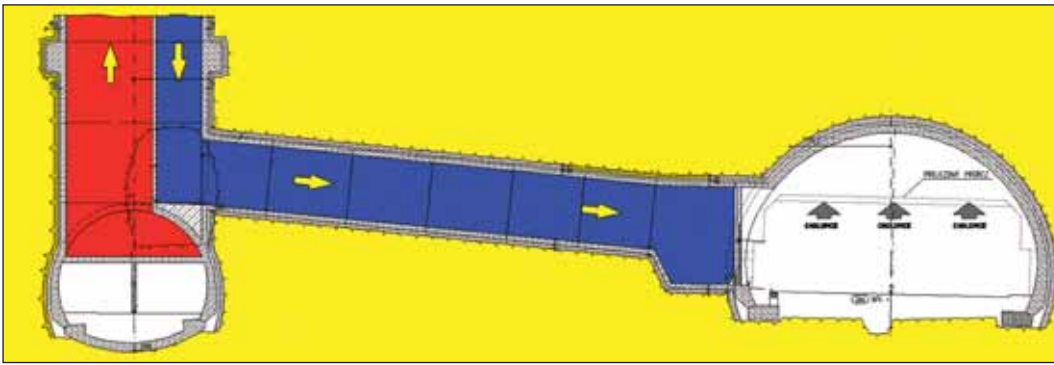
The 29m long ventilation by-pass adit with the excavated cross-sectional area of 18 m² starts from the ventilation shaft and connects to the triple-lane (southern) tunnel. The cross-sectional area of the adit had to be increased to 26m² in the location of the adit connection to the tunnel to allow the installation of a ventilation damper with actuators. The end of the by-pass adit connecting to the triple-lane tunnel was designed to be at a distance of 23m from the suction outlets so that sucking of fresh air back to the exhaust part of the structure was prevented. The joining of No. 5 tunnel cross passage with the underground junction node complies with the conditions for maximum allowable intervals between cross passages stipulated by an European standard. The cross passage, which was designed in the standard way only for escape of people, serves also ventilation purposes after the changes. Owing to the addition of the intermediate deck to the cross passage, a space originated suitable for the extraction of polluted air from both tunnels (see Fig. 5). The space underneath the intermediate roof in the cross passage serves as an escape route for people and for the installation of the tunnel equipment.

Finding all spatial relationships, both in terms of construction work and operation, required a 3D model to be developed. In the beginning, the by-pass adit was planned to be connected to the cross passage at the same level. After thoroughly assessing all positives and negatives, the designer decided to change the location of the by-pass ventilation adit connection, shifting it to join the ventilation



Obr. 7 Betonáž mezistropu v propojce č. 5

Fig. 7 Casting of the intermediate deck in No. 5 cross passage



Obr. 8 Napojení obchozí štoly na jižní tunel – rozvinutý řez
Fig. 8 Connection of the by-pass adit to the southern tunnel

jižního tunelu. V místě napojení štoly na tunel musela být štola rozšířena na plochu 26 m^2 z důvodu osazení vzduchotechnické klapky a jejího ovládání. Vyústění obchozí štoly do třípruhového tunelu navrhl projektant ve vzdálenosti 23 m od nasávacích otvorů, aby nedocházelo ke zpětnému nasávání čerstvého vzduchu do výfukové části objektu. Sloučení tunelové propojky č. 5 s podzemním rozpletem vyhovuje podmínkám maximálně přípustné vzdálenosti propojek podle evropského standardu. Propojka standardně navržená jen pro únik osob po úpravě slouží i vzduchotechnickým účelům. Přidáním mezistropu do propojky vznikl prostor pro odsávání znečištěného vzduchu z obou tunelů – viz obr. 5. Prostor pod mezistropem propojky slouží pro únik osob i pro umístění technologického vybavení tunelu.

Nalezení všech prostorových souvislostí jak po stránce stavební, tak provozní si vyžádalo vytvoření 3D modelu. Zpočátku se uvažovalo se zaústěním obchozí štoly do propojky na stejné výškové úrovni. Po důkladném zhodnocení všech kladů a záporů rozhodl projektant o změně polohy zaústění obchozí vzduchotechnické štoly do větrací šachty nad úroveň klenby propojky. K pozitivům navrženého řešení patří lepší možnost odvodnění vzduchotechnické štoly, větší tuhost průniku šachty, štoly a propojky i lepší využitelnost technologických prostor v propojce. Zkoumané varianty technického řešení se zaústěním obchozí vzduchotechnické štoly na úroveň dna propojky a nad vrchol klenby propojky ukazuje obr. 6.

Vzhledem k tomu, že šachta ústí přímo do klenby tunelové propojky a její ostění přenáší část zatížení ze šachty, navrhl projektant v místě průniku šachty v propojce spodní klenbu, která lépe přenáší zatížení do podlahy. Dalším opatřením k omezení přenosu zatížení ze vzduchotechnické šachty do ostění propojky představovalo zazubení ostění šachty vyztuženým límcem výšky 1,4 m situovaným cca 3 m nad zaústěním obchozí štoly do vzduchotechnické šachty.

Nový návrh bylo nutné konzultovat se zpracovatelem požárně-bezpečnostního řešení stavby, Fakultou bezpečnostního inženýrství VŠB Ostrava, neboť se jednalo o zásadní zásah do původně navrhovaných konstrukcí i celkové koncepce podzemního rozpletu. Vzhledem k tomu, že celý vzduchotechnický objekt není začleněn do požárního režimu větrání tunelu, jednalo se o posouzení, zda při požáru v jedné tunelové trubě nemůže dojít k ohrožení bezpečnosti v druhé tunelové trubě, která v takovém případě slouží jako bezpečná úniková cesta. Největší problém představovalo získání certifikátu požární odolnosti vzduchotechnických klapek oddělujících vzduchotechnický kanál nad mezistropem tunelové propojky č. 5 od obou tunelů. Pokud by nedošlo prokazatelně k zajištění požadované požární odolnosti klapky, mohl by se požár z jedné tunelové trouby rozšířit i do druhé tunelové trouby, což je z pohledu požárně-bezpečnostního řešení neakceptovatelné. Na toto téma proběhla řada diskusí a jednání. Vzhledem k tomu, že jednání již ohrožovala plynulou realizaci stavby, zhotovitel díla prohlásil, že požadovaný certifikát před uvedením díla do zkušebního provozu doloží.

VÝHODY NOVĚ NAVRŽENÉHO TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

Novým návrhem technického řešení vzduchotechnického rozpletu s redukcí na šachtu, multifunkční tunelovou propojku a obchozí vzduchotechnickou štolu došlo k výraznému zjednodušení díla. Nadzemní část objektu zůstala po stavební stránce beze

shaft above the cross passage crown. Among the positives of the proposed solution, we can name better possibility of draining the ventilation adit, higher rigidity of the shaft – adit – cross passage intersection, as well as a higher degree of utility of equipment spaces in the cross passage. The variants of the technical solutions which were examined, i.e. solutions containing the connection of the ventilation adit at the cross passage bottom or above the cross passage crown, are shown on Fig. 6.

Taking into consideration the fact that the shaft is directly connected to the cross passage vault and its lining carries part of the loading exerted by the shaft, the designer proposed an inverted arch for the location at the intersection with the shaft, which better transfers loads to the sub-base. Another measure designed to limit the transfer of loads from the ventilation shaft to the cross passage lining comprised a shear key formed by a 1.4m high reinforced collar on the ventilation shaft lining, located about 3m above the connection of the by-pass adit to the ventilation shaft.

The new design had to be consulted with the author of the fire safety design (the Faculty of Safety Engineering of the Technical University of Ostrava) because it was a crucial intervention into the originally designed structures and the general concept of the underground junction node. Since the entire ventilation station is not incorporated into the fire ventilation regime of the tunnel, the task was to assess whether a fire in one tunnel tube could jeopardise the safety in the other tunnel tube, which serves as an escape route in such a case. The biggest problem was the necessity to obtain fire resistance certification for the fire ventilation dampers separating the ventilation duct above the intermediate deck of No. 5 cross passage from both tunnels. If the required fire resistance of the dampers had not been provably met, a fire could have spread from one tunnel tube even to the other tube, which would have been absolutely unacceptable in terms of the fire design. This issue was a topic of many discussions and negotiations. Taking into consideration the fact that the negotiations threatened the fluent construction works, the contractor stated that it would submit the required certificate before the tunnel is opened to traffic.

ADVANTAGES OF THE NEWLY DESIGNED TECHNICAL SOLUTION

The structure was significantly simplified owing to the new design for the technical solution to the ventilation junction node with connections to the shaft, the multi-functional tunnel cross passage



Obr. 9 Prorážka šachty do přístupové štoly
Fig. 9 Shaft breakthrough into the access adit



Obr. 10 Hydroizolace v místě podzemního rozpletu
Fig. 10 Waterproofing in the underground node location

změn. Pro podzemní vzduchotechnický objekt byla využita tunelová propojka č. 5, čímž došlo k vypuštění celého původního komplexu kanálů a štol nad a mezi tunely. Tvar propojky i dimenze jejího ostění jsou shodné s ostatními propojkami stavby 513. Standardní ostění propojky doznalo změn pouze vložím mezistropu a průnikem se vzduchotechnickou šachtou. Betonáž mezistropu v multifunkční propojce ukazuje obr. 7. Zhotovitel mohl při výstavbě tunelů postupovat stejným technologickým postupem, pouze v případě napojení obchozí vzduchotechnické štol na třípruhový tunel bylo nutné zajistit speciální krček bednění v průniku obou děl. Napojení definitivního ostění obou tunelů v místě propojky č. 5 bylo stejné jako v případě všech ostatních průniků tunelů s propojkami. Konstrukce mezistropu propojky a napojení na šachtu byly prováděny dodatečně po vybetonování definitivního ostění tunelu. Obr. 8 ukazuje rozvinutý podélný řez obchozí vzduchotechnickou štolou a schéma proudění čistého i znečištěného vzduchu.

REALIZACE ŠACHTY A PODZEMNÍHO ROZPLETU

Při provádění geotechnického průzkumu pro tunely byla v kalotě třípruhového tunelu vyražena v celé jeho délce průzkumná štola. V místě vzduchotechnické šachty Nouzov byl proveden již zmiňovaný vzduchotechnický vrt průměru 800 mm a přístupová štola vedená z průzkumné štol k jeho patě, která byla situována tak, že částečně zasahovala do profilu tunelové propojky, částečně do horninového masivu mimo propojku. Stávající vzduchotechnický vrt byl využit při hloubení šachty pro shazování rubaniny do podzemí, odkud byl tento materiál vyvážen jižním tunelem na deponii. Šachta o průměru 7,9 m a hloubky 43 m byla prováděna z povrchu se zajištěním stability výrubu primárním ostěním ze stříkaného betonu tl. 200 mm se sítěmi KARI a výztužnými ocelovými rámy. Horninový masiv vyztužovaly krátké kotvy délky 2 m, instalované po obvodu šachty. Hloubení šachty probíhalo podle standardního technologického postupu bez komplikací, horninový masiv vykazoval dobrou stabilitu a přítoky vody svědčily o minimálním zvodnění horninového masivu. V okamžiku, kdy dno šachty dosáhlo stropu přístupové štol spojující průzkumnou štolu a vzduchotechnický vrt, muselo dojít k přerušení hloubení, vyplnění tohoto prostoru hubeným betonem a následně k přezmáhání do tvaru profilu tunelové propojky č. 5. Prorážku šachty do přístupové štol vedoucí k patě vzduchotechnického vrtu ukazuje obr. 9 (foto D2 Consult Prague).

Po vyrazení tunelové propojky č. 5, napojení na vzduchotechnickou šachtu a po vyrazení obchozí vzduchotechnické štol mohla začít instalace mezilehlé fóliové izolace tl. 2,5 mm se signální vrstvou. K nejnáročnějším úsekům na tunelech SOKP 513 z hlediska provádění izolací bezesporu patří právě podzemní vzduchotechnický rozplet, a to i přes veškerá zjednodušení, kterých se v průběhu zpracování realizační dokumentace podařilo dosáhnout. Systém zajištění vodonepropustnosti ostění vycházel z deštníkového typu s tím, že se na bocích obchozí vzduchotechnické štol nenacházejí boční drenáže, ale pouze nopová fólie. Díky podélnému sklonu



Obr. 11 Standardní vyztužení definitivního ostění šachty – síť KARI
Fig. 11 Standard reinforcement of the final shaft lining – KARI mesh

and the by-pass ventilation adit. From the structural point of view, the above ground part of the structure remained unchanged. No. 5 cross passage was used for the underground ventilation structure, therefore the whole original complex of ducts and adits above and between the tunnels was left out. The cross passage geometry and dimensions of the cross passage lining are identical with the other cross passages in construction lot 513. The standard lining of the cross passage underwent changes consisting only of the insertion of the intermediate deck and the intersection with the ventilation shaft. Figure 7 shows the casting of the intermediate deck in the multi-functional cross passage. The tunnelling contractor was able to use the same technological procedure during the course of the construction, with the exception of the by-pass ventilation adit connection to the triple-lane tunnel, where a special formwork collar had to be installed at the intersection between both workings. The connection of the final lining of both tunnels in the location of No. 5 cross passage was the same as the connections of the tunnels in the cases of all other cross passages. The intermediate deck structure and the connection to the shaft were carried out subsequently, after the casting of the final tunnel lining. Figure 8 presents the unwrapped longitudinal section through the ventilation by-pass adit and a chart of the fresh and polluted air flows.

CONSTRUCTION OF THE SHAFT AND UNDERGROUND JUNCTION NODE

A geotechnical gallery was driven throughout the tunnel length, following the trace of the future triple-lane tunnel top heading. The above-mentioned 800mm-diameter ventilation borehole was carried out in the location of the Nouzov ventilation shaft, with an access adit leading from the exploratory gallery to the bottom of the borehole, which was located partially within the profile of the cross passage and partially in the rock mass outside the cross passage. The existing ventilation borehole was used during the shaft sinking work for dropping the muck down to the underground, where it was loaded and transported through the southern tunnel to a stockpile. The shaft, 7.9m in diameter and 43m deep, was sunk from the surface, with the excavation support provided by a 200mm thick primary lining consisting of shotcrete, KARI mesh and lattice girders. The rock mass was reinforced by short, 2m long anchors installed around the shaft circumference. The shaft sinking operations proceeded in accordance with a standard excavation technique, without complications; the rock mass was relatively stable and water inflows gave evidence of the minimum saturation of the rock mass with water. At the moment when the shaft bottom touched the roof of the access adit connecting the exploratory gallery and the ventilation borehole, the shaft sinking had to be suspended. The space had to be backfilled with lean concrete and, subsequently, the space had to be re-excavated to correspond to the profile of cross passage No. 5. The shaft breakthrough into the access adit leading to the bottom of the ventilation borehole is shown in Fig. 9 (Photo courtesy D2 Consult Prague).

After completing the excavation of cross passage No. 5, connecting it to the ventilation shaft and excavating the ventilation -



Obr. 12 Vyztužení prutovou výztuží v místě průniku šachty a propojky č. 5
Fig. 12 Reinforcement at the shaft intersection with the cross passage No. 5 using reinforcing bars

obchozí štoly 10 % a umístění mezi oběma tunely stačí nopová fólie bez problémů svádět podzemní vodu z boků štoly k bočním drenážním třípruhového jižního tunelu.

Zatímco standardní délka bloku betonáže propojky dosahuje pouze 5 m, v místě průniku se vzduchotechnickou šachtou se délka bloku betonáže prodloužila na 10 m. V místě průniku propojky a šachty musel proto zhotovitel nasadit speciální bednění, umožňující betonáž bloku délky 10 m se spodní klenbou. Provádění průniku bylo náročné jak z hlediska izolačních prací, tak vlastní betonáže. Pohled do vzduchotechnické šachty s napojením obchozí štoly ve fázi provádění hydroizolací ukazuje obr. 10.

Pracovní spáry rozpletu byly umístěny nad horní klenbu propojky a cca 1 m za krčkem obchozí vzduchotechnické štoly. Po vybetonování průniku již probíhala betonáž ostění šachty po blocích délky 4 m a tloušťce ostění 300 mm. Posun bednění po betonáži a odbednění zajišťoval jeřáb umístěný nad ohlubení šachty. Výztuž definitivního ostění šachty byla upravena tak, aby na vylamovací trny mohla být stykována výztuž střední dělicí stěny betonované s časovým odstupem za betonáží ostění šachty. Standardní výztuž definitivního ostění šachty tvořily síť KARI u obou povrchů ostění (obr. 11 foto Ekostav), pouze v místě průniku šachty s propojkou a obchozí štolou byla použita prutová výztuž (obr. 12). Dělicí stěna rozděluje profil vzduchotechnické šachty na část přivádějící čerstvý vzduch do tunelů a na část odvádějící znečištěný vzduch z tunelů.

Stejným způsobem, jako v případě napojení střední stěny a ostění šachty, byla pomocí vylamovacích trnů stykována výztuž dodatečně betonovaného mezistropu a ostění v tunelové propojce č. 5. Z hlediska výroby patřila k náročným úkolům i příprava bednění obchozí vzduchotechnické štoly. Trasa podkovovitého profilu štoly ležela ve směrovém i výškovém oblouku, což kladlo při výrobě, montáži i osazování bednění zvýšené nároky na provádění.

Vzduchotechnická šachta slouží i pro vedení kabelů spojujících nadzemní vzduchotechnický objekt s tunely. Vzhledem k nejasným majetkovým vztahům bylo dlouhou dobu obtížné rozhodnout o způsobu napájení nadzemního vzduchotechnického objektu. Projektant proto vycházel z původního návrhu napájení nadzemního objektu z tunelů. Na stěnu vzduchotechnické šachty proto byly instalovány kabelové rošty. Pro revizi šachty slouží ocelové lezní oddělení, vyrobené vzhledem k očekávané agresivitě ovzdušší z nerezové oceli. Pohled do části vzduchotechnické šachty s lezným oddělením určené pro přívod čistého vzduchu ukazuje obr. 13.

NADZEMNÍ VZDUCHOTECHNICKÝ OBJEKT

Nad vzduchotechnickou šachtou se nachází nadzemní objekt, který tvoří monolitická, železobetonová konstrukce o půdorysných rozměrech 31 m x 22 m s výdechovým komínem výšky 20 m, založená na subtilní základové desce tloušťky 300 mm. Stejně jako podzemní prostory i nadzemní objekt můžeme z hlediska vzduchotechniky rozdělit na část nasávací a výdechovou. Nasávání čerstvého vzduchu probíhá přes mohutnou žaluzii rozměru 4 m x 4 m, světlý půdorysný rozměr výdechového komínu dosahuje 5 m x 5,4 m. Pro sání je navržen jeden ventilátor, výdechový ventilátor je zdvojený,

by-pass adit, it was possible to commence the installation of an intermediate waterproofing system consisting of a 2.5mm thick membrane with a signal layer. One of the sections of the tunnels in construction lot 513 of the Prague City Ring Road most demanding in terms of the waterproofing installation is, undoubtedly, the above-mentioned underground ventilation junction node, despite all the simplifications which were achieved during the course of the work on the detailed design. An umbrella type system securing the waterproof lining was applied, with a dimpled sheet membrane along the sides of the ventilation by-pass adit instead of drains. Owing to the 10% longitudinal incline of the by-pass adit and its location between both tunnels, the dimpled membrane is without problems capable of diverting ground water from the adit sides to side drains of the triple-lane (southern) tunnel. While the standard length of a casting block of a cross passage reaches only 5m, it was extended to 10m in the location of the intersection between the adit and the ventilation shaft. For that reason the contractor had to use special formwork in this location, which allowed the casting of a 10m long block with an invert. The work on the intersection was difficult in terms of both the installation of the waterproofing and the casting itself. Figure 10 presents a view down the ventilation shaft, with the by-pass adit connecting to it, in the phase of the waterproofing installation.

Construction joints of the junction node were located above the upper vault of the cross passage, about 1m behind the collar of the ventilation by-pass adit. When the casting of the intersection had been completed, the casting of the 300mm thick shaft lining continued in 4m long blocks. The formwork after stripping was moved by means of a crane installed above the pit bank. The reinforcement of the shaft final lining was installed in a way allowing the reinforcing bars for the central dividing wall, which was cast with a delay after the casting of the shaft lining, to be spliced with break-off starter bars. The standard reinforcement of the final shaft lining consisted of two layers of KARI mesh installed at both surfaces of the lining (see Fig. 11 – Photo courtesy Ekostav); reinforcing bars were used only at the shaft intersection with the cross passage and the by-pass adit (see Fig. 12). The cross-section of the ventilation shaft is divided by a dividing wall into a part supplying fresh air to tunnels and a part sucking polluted air from the tunnels.

The same method as in the case of connecting the central wall and the shaft lining, using break-off starter bars, was applied to the splicing of rebars of the additionally cast intermediate deck and the lining in cross passage No. 5. In terms of the assembly, the preparation of the formwork for the ventilation by-pass adit lining belonged among difficult tasks. The alignment of the horseshoe shaped profile adit was curved both horizontally and vertically, which put heavy demands on workmanship during the course of the production, assembly and installation of the formwork.

The ventilation shaft also serves to housing of cables connecting the above ground ventilation structure with the tunnels. Because of unclear property relationships, it was difficult for a long time to decide on the system of supplying power to the above ground ventilation structure. The designer therefore started from the original



Obr. 13 Lezné oddělení ve vzduchotechnické šachtě v části pro přívod vzduchu
Fig. 13 Ladder compartment in the ventilation shaft – the air supply part



Obr. 14 Nadzemní část vzduchotechnického objektu
Fig. 14 Above ground part of the ventilation structure

příčemž jeden ventilátor slouží jako záložní. Nad každým ventilátorem se nachází jeřábová dráha určená pro jeho zavážení, montáž a demontáž při případné výměně. Napojení na vzduchotechnickou šachtu je provedeno v prvním podzemním podlaží. Zatěsnění prostoru výkopu po obvodu objektu je provedeno popílkocementem, aby nedocházelo k dotaci puklin v horninovém masivu v okolí šachty z prostoru zasypané stavební jámy objektu. Bezobslužný objekt se nachází na samotě u lesa a tomu odpovídá jeho strohé provedení. Vzhledem k možným a očekávaným projevům vandalizmu nemá objekt kromě nasávacích žaluzií a dveří v obvodových stěnách žádné další otvory. Původně navržená zelená střecha je nahrazena plochou střechou bez zeleně, a to zejména s ohledem na údržbu.

ZÁVĚR

Proces schvalování změn během výstavby v úrovni realizační dokumentace je zdoluhavý a náročný na čas i argumentaci při jednávání s objednatel. Po dosažení cíle a úspěšné realizaci je možno konstatovat, že výsledek stojí za vynaloženou námahu a navržené technické řešení je ku prospěchu investora i zhotovitele.

Investorem stavby SOKP 513 je ŘSD ČR, autorský dozor provádí firma Pragoprojekt. Vzduchotechnický objekt Nouzov pro firmu SKANSKA BS subdodávkou realizují firmy Subterra a Ekostav, realizační dokumentaci stavební části tunelových objektů zpracovává firma IKP Consulting Engineers. Zpracovatelem realizační dokumentace vzduchotechniky je firma SATRA. Autorem požárně-bezpečnostního řešení stavby je VŠB TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.

Díky pozitivnímu přístupu zástupců investora, autorského dozoru, zhotovitele realizační dokumentace stavby a v neposlední řadě projektanta vzduchotechniky bylo možné provést optimalizaci vzduchotechnického uzlu, která umožnila zvýšit bezpečnost provádění, snížit investiční náklady, minimalizovat riziko vzniku vad během výstavby a zkrátit dobu výstavby objektu. Neodiskutovatelné je i zjednodušení údržby objektu po celou dobu provozování tunelu. Pozitivní dopad navržených úprav je zřejmý porovnáním původního a realizovaného technického řešení.

ING. RADAN BOHMAN, rbohman@subterra.cz,
SUBTERRA, a. s.,

ING. LIBOR MAŘÍK, libor.marik@ikpce.com,
ING. VLADIMÍR PRAJZLER, vladimir.prajzler@ikpce.com,
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

Recenzoval: Ing. Viktória Chomová

design for the power supply for the above ground structure, from the tunnels. For that reason, cable racks were installed on a wall of the ventilation shaft. Inspections of the shaft will be carried out using a steel ladder compartment, which was produced in stainless steel with respect to the anticipated corrosivity of the atmosphere. Figure 13 presents a view down the ventilation shaft with the ladder compartment, which is designed for supplying fresh air.

ABOVE GROUND VENTILATION STATION STRUCTURE

Above the ventilation shaft, there is an above ground, cast-in-situ reinforced concrete structure with plan dimensions of 31 x 22m, with a 20m high exhaust stack. It is founded on a thin, 300mm thick slab foundation. The same as the underground spaces, the above ground structure can also be divided from the ventilation aspect into a fresh-air-drawing part and an exhaust part. Fresh air is drawn in via a large damper with dimensions of 4x4m; the net plan dimensions of the exhaust stack reach 2m x 5.4m. One fan is designed for drawing air in; two exhaust fans are designed, with one of them serving as a stand-by. Crane rails are above each fan, designed for its installation or dismantling in a case of a necessity of replacing it. The connection to the ventilation shaft is carried out on the first underground level. Cinder cement is used for sealing of the excavated space on the circumference of the structure to prevent water from flowing from the space of the backfilled construction trench to fissures in the rock mass in the surroundings of the shaft. The unmanned structure is found in an isolated location, at the edge of the woods. For that reason its design is quite austere. Taking into consideration possible and anticipated manifestations of vandalism, there will be no openings there apart from suction dampers and doors in external walls. The originally designed green roof is replaced by a flat roof without greenery, mainly with respect to the maintenance purposes.

CONCLUSION

The process of approving changes in the detailed design during the course of construction has been slow-paced, demanding in terms of the time and argumentation required for discussions with the client. When the aim has been achieved and the construction is successfully completed, it is possible to state that the result is worth the effort put in the process and the technical solution designed is beneficial for both the client and contractor.

The client for construction lot 513 of the Prague City Ring Road is the Road and Motorway Directorate of the Czech Republic; author's supervision is carried out by Pragoprojekt, a.s. The Nouzov ventilation station is being constructed by Subterra a.s. and Ekostav a.s., subcontractors for SKANSKA BS; the detailed civil design for the tunnel structures is being performed by IKP Consulting Engineers, s.r.o. SATRA a.s. is the author of the detailed design for ventilation. The fire safety design was carried out by the Faculty of Safety Engineering of the Technical University of Ostrava.

Thanks to the positive attitude of representatives of the client, author's supervision, the author of the detailed design and, at last but not least, the designer for the ventilation system, it was possible to optimise the ventilation node. The optimisation made it possible to improve safety of the construction works, cut the capital cost, minimise the risk of defects originating during the course of the construction and reduce the construction time. The simplification of the maintenance of the station throughout the period of its operation is another undisputed fact. The positive effect of the design changes becomes obvious if we compare the original solution and the technical solution being implemented.

ING. RADAN BOHMAN, rbohman@subterra.cz,
SUBTERRA, a. s.,

ING. LIBOR MAŘÍK, libor.marik@ikpce.com,
ING. VLADIMÍR PRAJZLER, vladimir.prajzler@ikpce.com,
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Ředitelství silnic a dálnic ČR.: SOKP Stavba 513 Vestec – Lahovice, Tunel Komořany, zadávací dokumentace stavby
- [2] Pragoprojekt a. s.: SOKP 513, Změna DSP 06/2007