

Projekt a realizace vzduchotechnického objektu Nouzov tunelů stavby 513 silničního okruhu kolem Prahy

V. Prajzler & L. Mařík

IKP Consulting Engineers, s. r. o., Praha, Czech Republic

R. Bohman & J. Krajíček

SUBTERRA a. s., Praha, Czech Republic

J. Fiala

EKOSTAV a. s., Praha, Czech Republic

SOUHRN: Součástí stavby tunelů stavby 513 Silničního okruhu kolem Prahy (SOKP) je i vzduchotechnický (VZT) objekt Nouzov, který zajišťuje v případě překročení koncentrací škodlivin na Cholupickém portále odvod znečištěného vzduchu ze stoupací tunelové trouby a přívod čistého vzduchu do obou tunelových trub. V průběhu zpracování realizační dokumentace došlo k zásadním změnám původně navrženého technického řešení souvisejících jak se zjednodušením celého podzemního objektu a prováděním, tak s dopracováním detailů definitivního ostění obou tunelů i vlastního VZT díla. Objekt tvoří nadzemní část se strojovnou vzduchotechniky, VZT šachta o průměru téměř 8 m a hloubky 40 m a v neposlední řadě podzemní rozplet s napojením VZT kanálů na oba tunely. Příspěvek popisuje průběh projednávání a zpracování změn od projektu k vlastní realizaci, zkušenosti z výstavby, pozitivní dopady na související objekty i komplikace s prosazením změn z hlediska požárně bezpečnostního řešení tunelů. V době pořádání konference bude již v objektu namontována technologie a pravděpodobně bude zahájen zkušební provoz tunelu.

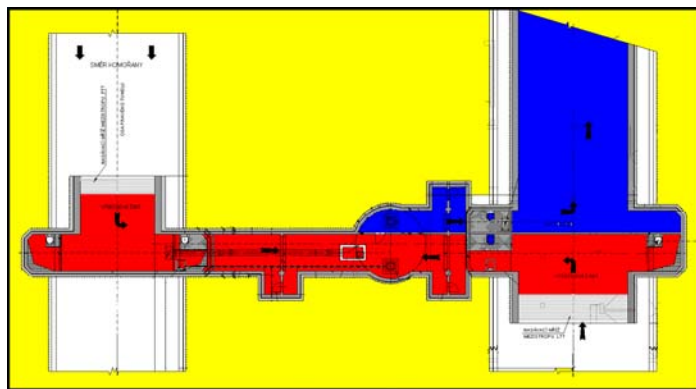
1 ÚVOD

Projektování a realizace tunelů dnes již neznamená jen perfektní zvládnutí geotechnické problematiky nebo technologických postupů výstavby. Na bezpečnost provozu silničních a dálničních tunelů dohlížejí 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.

2 PŮVODNÍ NÁVRH DLE ZADÁNÍ STAVBY

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 stoupacího 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 obrázek č. 1.



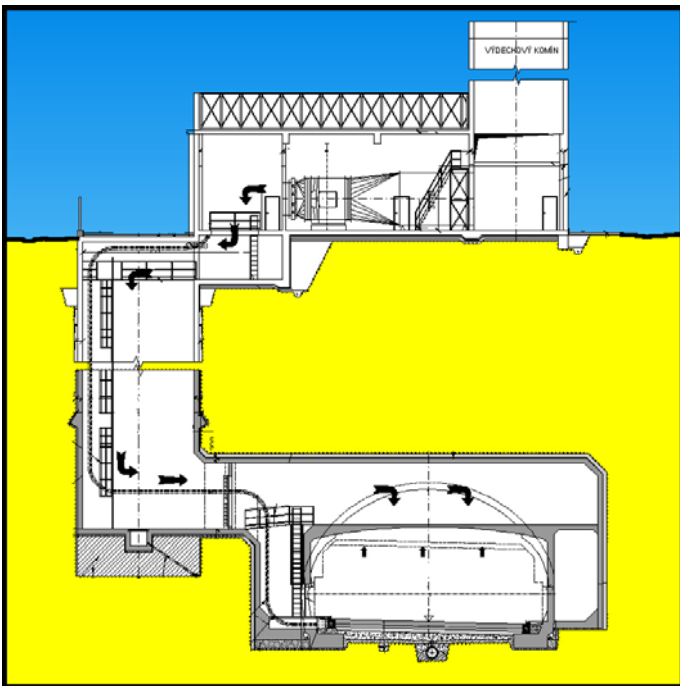
Obrázek 1. Půdorysné schéma původního technického řešení

Součástí podzemního rozpletu byla, kromě poměrně složitýho 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 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 zastiženy velmi pevné skalní horniny, jejichž rozpojení vyžadovalo po-

užití 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 minimálním 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.



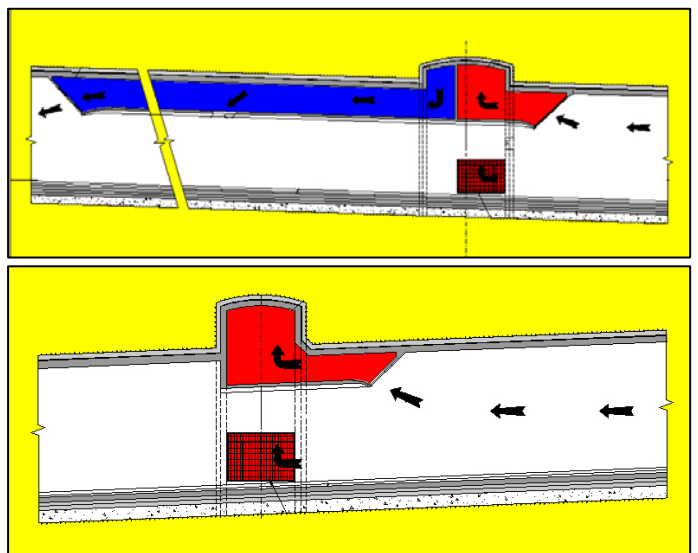
Obrázek 2. Schéma napojení VZT objektu na jižní tunel

- Profil tunelu, který dosahuje v severní troubě 107 m^2 a v jižní troubě dokonce 138 m^2 , doznal v místě rozpletu dalšího zvětšení vytvořením vzduchotechnického kanálu nad profilem obou tunelů. Obrázek č. 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 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.

- 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.



Obrázek 3. Rozsah mezistropu dle zadávací dokumentace

Tato optimalizace byla možná jen za úzké spolupráce s autorem vzduchotechnického návrhu a zpracovatelem realizační dokumentace vzduchotechniky tunelu, firmou Satra, a. s.

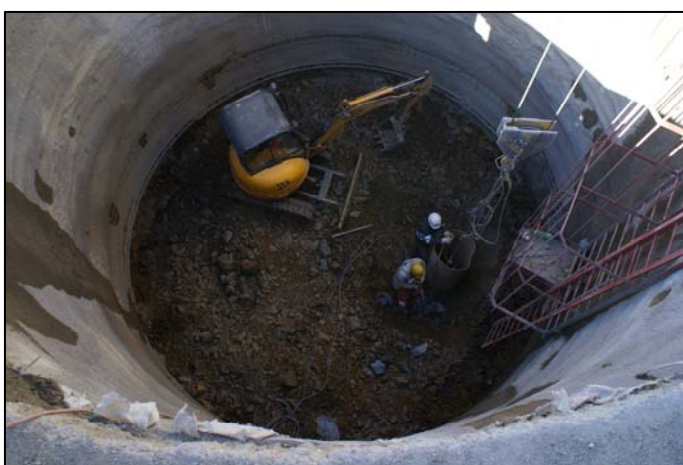
3 ÚPRAVA TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ PŘI ZPRACOVÁNÍ REALIZAČNÍHO PROJEKTU

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 stanovených výpočtem provedeným zpracovatelem realizační dokumentace vzduchotechniky tunelů (firmou Satra), přičemž nesmí dojít ke smíšení „čistého“ a znečištěného vzduchu;
- zjednodušení ražby a provádění definitivního ostění rozpletu nebude mít negativní vliv na výstavbu hlavních tunelů.

Ke klíčovým 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 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 skutečně 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 obchozí 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 hlubokou přes 3 m. Umístění podzemního objektu je v tomto případě vázáno i na povrchový objekt vzduchotechniky, který je zakotven v územním plánu a jeho poloha je omezena záborem 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.

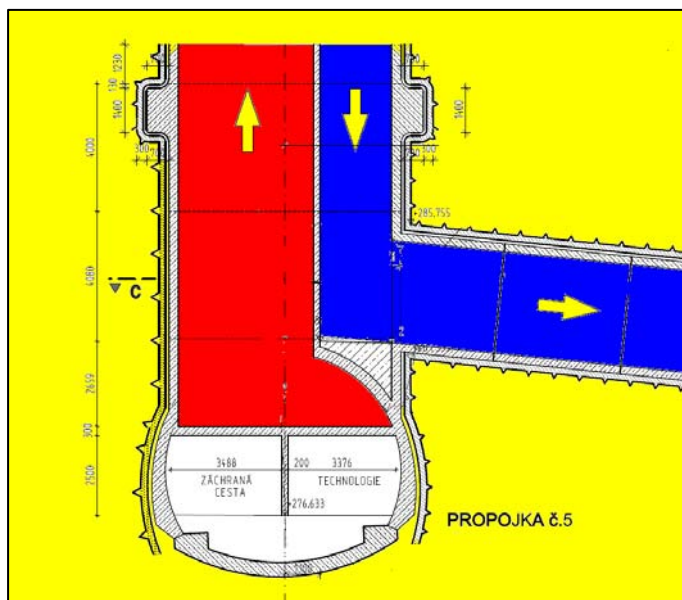


Obrázek 4. Umístění vrtu DN 800 mm na dně VZT šachty

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. Obrázek č. 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. Obchozí vzduchotechnická štola délky 29 m o ploše výrubu 18 m² vychází ze vzduchotechnické šachty a zaústí se do třípruhového jižního tunelu. V místě napojení štoly na tunel musela být štola rozšířena na plochu 26 m² 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 obrázek č. 5.



Obrázek 5. Schéma vedení vzduchu dle nového řešení

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 úrovní 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.

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 podloží. 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.

4 VÝHODY NOVĚ NAVRŽENÉHO 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 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 vložení mezistropu a průnikem se vzduchotechnickou šachtou. Betonáž mezistropu v multifunkční propojce ukazuje obrázek č. 6. Zhotovitel tunelů mohl při výstavbě postupovat stejným technologickým postupem, pouze v případě napojení obchozí

vzduchotechnické štoly na třípruhový tunel bylo nutné zajistit speciální krček bednění v průniku obou děl.



Obrázek 6. Betonáž mezistropu v propojce č. 5

Napojení definitivního ostění obou tunelů v místě propojky č. 5 bylo stejné jako v případě všech ostatních průníků tunelů s propojkami. Konstrukce mezistropu propojky a napojení na šachtu byly prováděny dodatečně po vybetonování definitivního ostění tunelu.

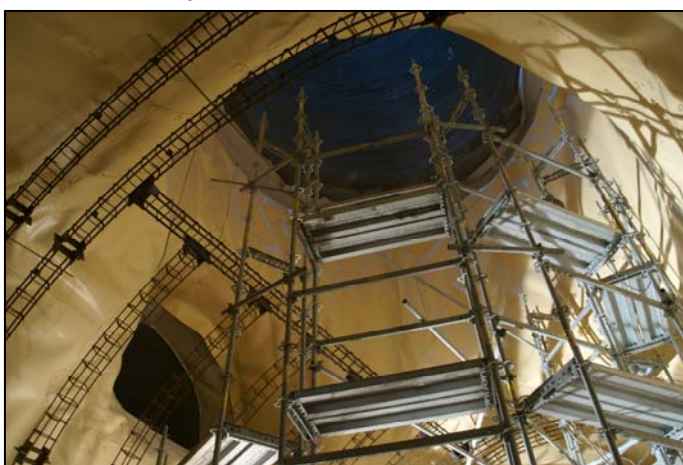
5 REALIZACE ŠACHTY A PODZEMNÍHO ROZPLETU

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 štoly 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 vyztužnými ocelovými rámy. Horninový masiv vyztužovaly krátké kotvy délky 2 m, instalované po obvodě 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 štoly 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 štoly vedoucí k patě vzduchotechnického vrtu ukazuje obrázek č. 7 (foto D2 Consult Prague).



Obrázek 7. Prorážka šachty do přístupové štoly

Po vyražení tunelové propojky č. 5, napojení na vzduchotechnickou šachtu a po vyražení obchozí vzduchotechnické štoly 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 štoly nenacházejí boční drenáže, ale pouze nopová fólie. Díky podélnému sklonu obchozí štoly 10 % a umístění mezi oběma tunely stačí nopová fólie bez problémů svádět podzemní vodu z boků štoly k bočním drenážím 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 tomto místě 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 obrázek č. 8.



Obrázek 8. Hydroizolace a rámy samonosné výztuže v místě podzemního rozpletu

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 ohlubní 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 sítě KARI u obou povrchů ostění, pouze v místě průniku šachty s propojkou a obchozí štolou byla použita prutová výztuž, jak ukazuje obrázek č. 9.



Obrázek 9. Vyztužení prutovou výztuží v místě průniku šachty a propojky č. 5.

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.



Obrázek 10. Lezné oddělení ve vzduchotechnické šachtě v části pro přívod vzduchu

Vzhledem k nejasným majetkovým vztahům bylo dlouhou dobu obtížné rozhodnout o způsobu napáje-

ní 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 ovzduší z nerezové oceli. Pohled do části vzduchotechnické šachty s lezným oddělením určené pro přívod čistého vzduchu ukazuje obrázek č. 10.

6 NADZEMNÍ VZDUCHOTECHNICKÝ OBJEKT

Nad vzduchotechnickou šachtou se nachází nadzemní objekt, který tvoří monolitická, železobetonová konstrukce o půdorysných rozměrech 31x22 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 rozměrů 4x4 m, světlý půdorysný rozměr výdechového komínu dosahuje 5x5,4 m. Pro sání je navržen jeden ventilátor, výdechový ventilátor je zdvojený, přičemž 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.



Obrázek 11. Nadzemní část vzduchotechnického objektu

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 vandalis- mu 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.

7 ZÁVĚR

Proces schvalování změn během výstavby v úrovni realizační dokumentace je zdouhavý a náročný na čas i argumentaci při projednávání s objednatelem. 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 realizuje firma 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.