

# TUNEL LIBOUCHEC NA DÁLNICI D8 – REKAPITULACE TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ PŘI UVEDENÍ DO PROVOZU

## THE LIBOUCHEC TUNNEL ON THE D8 MOTORWAY – AN OVERVIEW OF THE ENGINEERING SOLUTION ON THE OCCASION OF THE TUNNEL INAUGURATION

LIBOR MAŘÍK

### ÚVOD

Uvedení dálničního tunelu do provozu je vždy slavnostním okamžikem nejen pro všechny účastníky výstavby, ale zejména pro řidiče, kterým nově otevřená trasa dálnice zkrátí a urychlí cestu. Pro projektanta realizační dokumentace je ukončení výstavby dobrým důvodem k rekapitulaci průběhu projektu, porovnání předpokladů se skutečně zastiženými podmínkami a ke zhodnocení optimalizace technického řešení. Nově otevřený úsek dálnice D8 vedoucí od Ústí nad Labem až na státní hranici se SRN prochází hřebem Krušných hor. Vzhledem k reliéfu terénu se na trase kromě mnoha mostních objektů nacházejí i dva tunely. Tunel Libouchec, o kterém článek pojednává, navazuje od jihu na knínickou estakádu délky 1080 m, na severu přechází tunel do galerie navazující na západní tunelovou troubu a po krátkém úseku dálnice na další mostní objekt Libouchec převádějící trasu dálnice do tunelu Panenská. Vlastní tunel Libouchec tvoří dvě tunelové trouby, každá o dvou jízdních pruzích. Východní tunelová trouba o celkové délce 520 m je určena pro směr Praha – Drážďany, západní tunelová trouba o délce 670 m včetně galerie pro směr opačný.

Při výstavbě tunelů hraje stále větší roli bezpečnost provozu a zajištění požadované požární bezpečnosti. Proto kromě mnoha stavebních úprav doznalo určitých změn i technologické vybavení tunelu, zvyšující bezpečnost a jízdní pohodu řidiče při průjezdu tunelem.

Detailní popis stavební části se zaměřením na ražbu tunelu a primární a definitivní ostění byl předmětem samostatného článku v časopise Tunel 1/2006. Následující text se proto zaměřuje na další etapu v životě tunelu, kterou představuje technologické vybavení tunelu, stavební úpravy spojené s bezpečností provozu a ekologické aspekty výstavby tunelu.

### TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ TUNELU

Doby, kdy k hlavním činnostem tuneláře patřilo vyrazení tunelu a zajištění požadované stability výrubu, jsou dávno minulostí. Moderní tunelová stavba vyžaduje pro zajištění provozního i bezpečnostního standardu instalaci složitých technologických celků centrálně ovládaných pomocí řídicího systému tunelu. Veškeré informace jsou z bezobslužného řídicího centra přenášeny optickým kabelem do dispečinku tunelu v nedalekých Řehlovičích a Petrovičích, kde nad bezpečným chodem systému a provozem v tunelu bdí stálá služba. I když délka tunelu Libouchec jen málo překračuje 500 m, tunel disponuje poměrně složitým technologickým vybavením. Cílem montáže



Obr. 1 Jižní portál, příprava území – 8/2004  
Fig. 1 Southern portal, site preparation – 08/2004

### INTRODUCTION

The act of opening of any motorway tunnel to traffic is always a solemn moment for all parties to the project, but first of all for drivers, who will enjoy the shorter and faster travel along the new stretch of the motorway. Completion of a construction is a good moment for the designer to overview the course of the works, compare the assumptions with the actually encountered conditions, and assess the results of optimisation of the engineering solution. The newly opened stretch of the D8 motorway running from Ústí nad Labem up to the border with the BRG, passes across a crest of the Krušné Hory Mountains. There are two tunnels on the motorway route in addition to numerous bridges, which were necessary to cope with the undulated terrain configuration. The Libouchec tunnel, which is the topic of this paper, links the 1080m-long Knínice viaduct on the south. On the northern side, the western tube passes to a gallery (a snow shed-type structure), and to a short at-grade section, which connects to another bridge structure, the Libouchec Bridge. This bridge carries the motorway route to the Panenská tunnel. The Libouchec tunnel itself is a twin-tube, two-lane structure. The 520m-long eastern tunnel tube is designed for the Prague-Dresden traffic direction, while the 670m-long western tunnel tube (including the gallery) carries the opposite direction traffic.

The importance of the role of operational safety and requirements for the fire safety level continuously grows in the construction process. This is why the tunnel equipment, similarly to the tunnel structures, was a subject of certain changes, which improved the safety and driving comfort during the travel through the tunnel.

A detailed description of the structural part of the engineering solution, which was focused on the tunnel excavation, primary lining and final lining, was the topic of a separate paper published in Tunel 1/2006. The following text is therefore focused on another phase of the tunnel life, on the tunnel equipment, structural details associated with the operational safety, and environmental aspects of the tunnel construction.

### TUNNEL EQUIPMENT

The times when the task to excavate a tunnel and guarantee the required degree of stability of the excavated opening was the only task of tunnellers have been over for a long time. The modern Libouchec tunnel construction requires installation of complex equipment packages controlled centrally through a tunnel management system so that operating and safety standards are maintained. All information is transmitted from an unmanned control centre to the tunnel control centre nearby Řehlovice and Petrovice via a fibre-optic cable. There is a continuous service



Obr. 2 Ražba kaloty od jižního portálu – 4/2005  
Fig. 2 Top heading drive from the southern portal – 04/2005



Obr. 3 Betonáž základových pasů hloubených tunelů – severní portál 09/2005  
Fig. 3 Casting of the cut-and-cover tunnel strip foundation – northern portal 09/2005

technologických celků je zajištění plynulého provozu, včasné zjištění a odstranění potenciálních příčin nebezpečných situací a vytvoření podmínek pro celkovou pohodu řidiče při průjezdu tunelem. Vznik havárie nebo dokonce požáru v tunelu automaticky spouští zvláštní režim, předem naprogramovaný pro konkrétní krizovou situaci.

Technologické vybavení tunelu tvoří kromě silnoproudých a slaboproudých rozvodů systém tunelového větrání a osvětlení, čidla pro měření fyzikálních veličin, elektrická požární a zabezpečovací signalizace, systém tísňového volání SOS, uzavřený televizní okruh, zařízení pro rádiové volání, evakuační rozhlas a vlastní řídicí systém tunelu, do kterého se veškeré informace sbíhají a jsou analyzovány. Proti výpadku energie celý systém chrání jako záložní zdroj dieselaagregát, situovaný u provozně technologické budovy na jižním portálu tunelu.

Z hlediska řidiče hraje důležitou roli osvětlení tunelu, které tvoří dvě osvětlovací soustavy. Hlavní soustava zahrnuje akomodační a průjezdní osvětlení. Vedlejší soustava osvětluje tunelové propojky a slouží pro nasvětlení skříní SOS s cílem opticky zvýraznit jejich polohu v tunelu. Akomodační osvětlení slouží pro zlepšení pohody řidiče, který vjíždí z oblasti před tunelem. Pomáhá překlenout nedostatečnou schopnost očí zvyknout si v krátkém čase na zcela odlišné světelné poměry uvnitř tunelu. Vzhledem k malé délce tunelu probíhá akomodační osvětlení po celé jeho délce a z hlediska intenzity osvětlení je rozděleno do několika pásem. Regulaci akomodačního osvětlení zajišťuje řídicí systém tunelu v závislosti na jasových poměrech měřených vnějším jasoměrem před vjezdovými portály. Kromě těchto dvou osvětlovacích soustav je pro případ výjimečných stavů v tunelu nainstalováno nouzové osvětlení. Umístění diodových svítidel ve výšce 0,9 m nad úrovní chodníku po obou stranách tunelu zlepšuje orientaci osob v případě, kdy je již vrchní část tunelu vyplněna kouřem. Funkčnost svítidla signalizuje modrá LED dioda umístěná ve středu světelného zdroje. V případě poplachu signalizovaného elektrickou požární signalizací se kromě nouzového osvětlení zapíná na plný výkon i hlavní osvětlovací soustava.

V případě výpadku elektrické energie během normálního provozu v tunelu přechází režim osvětlení tunelu do náhradního osvětlení tunelu, zajišťovaného vybranými sekcemi akomodačního osvětlení. Dodávku energie zajišťuje náhradní zdroj a maximální povolená rychlost v tunelu je snížena z 80 km/h na 60 km/hod.

K dalšímu velmi významnému bloku technologických zařízení, který již z pohledu řidiče stojí v pozadí, patří měření fyzikálních a chemických veličin a elektrická požární signalizace. Jednotlivá čidla umístěná v tunelu, v provozně-technologickém objektu i před oběma portály, sledují např. hodnoty koncentrace CO a opacity v tunelových troubách, hodnoty teploty vzduchu v tunelu, teploty potrubí požárního vodovodu a v provozně-technologickém objektu, detekci mlhy na vjezdových portálech, výšku hladiny vody v požární nádrži a bezodtokové jímce znečištěných vod, měření rychlosti proudění vzduchu, nebo otáček a vibrací ventilátorů vzduchotechniky tunelu. Další čidla sledují stav zařízení v úpravně pH drenážních vod. Spolu s již zmíněnými jasoměry poskytují tato zařízení řídicímu systému potřebné informace, které vyhodnocuje, a na základě zjištěných hodnot ovládá další zařízení (ventilátory, osvětlení, ohřívání požárního vodovodu apod.).

Měření koncentrace CO a opacity v tunelu je umístěno poblíž portálů. Celkem jsou osazeny čtyři páry infračervených senzorů. Vstupní data potřebná pro optimální funkci vzduchotechniky doplňují čtyři páry čidel pro měření rychlosti proudění vzduchu v tunelu a čidla sledující teplotu vzduchu.

V souvislosti se změnou polohy požárního vodovodu z původního umístění pod vozovkou do prostoru pod chodníkem vznikl požadavek na temperování potrubí v případě, kdy teplota klesne pod přípustnou mez. Potrubí

present in the control centre. Even though the Libouhec tunnel length is only slightly higher than 500m, the tunnel is provided with relatively complex equipment. The objective of installation of the equipment packages is to secure uninterrupted traffic, timely detection and removal of potential causes of dangerous situations, and creation of suitable conditions for driver comfort during the passage through the tunnel. Any incident or even a fire inside the tunnel automatically sets in motion a special regime, which is pre-programmed for the particular critical situation.

Apart from a heavy-current and weak-current distribution system, tunnel equipment consists of tunnel ventilation and illumination systems, sensors measuring physical quantities, a fire alarm and detection system, emergency announcement system, CCTV cameras, a wireless communication system, public address and the tunnel control system itself, which collects and analyses all information. The entire system is protected against a power failure by a stand-by source, a diesel generating set, which is located next to the technical services building, at the southern portal of the tunnel.

From the driver's point of view, an important role is played by the tunnel illumination. The tunnel illumination consists of two lighting systems. The main system consists of the accommodation and interior tunnel lighting. A secondary system illuminates tunnel cross passages and serves for highlighting of SOS boxes with the aim of emphasizing their position in the tunnel. The accommodation lighting is intended to improve drivers' visual comfort when they enter the tunnel from the zone in front of the tunnel. It helps them to cope with the insufficient capability of eyes to accommodate in a short time to totally differing lighting conditions inside the tunnel. Because of the short length of the tunnel, the accommodation lighting system is installed throughout the length of the tunnel. In terms of the intensity of the light, the accommodation lighting is divided into several zones. The intensity of the accommodation lighting is controlled by the tunnel management system, depending on the luminance conditions in front of the entrance portals, which are measured by external luminance metres. Apart from the above-mentioned two lighting systems, an emergency lighting system is installed in the tunnel in case of extraordinary states. Orientation of persons in case of smoke filling the upper part of the tunnel profile is facilitated by LED-type luminaries installed at a level of 0.9m above the walkways, on both sides of the tunnel. The functionality of the luminary is signalled by a blue LED installed in the centre of the light source. When an alarm is signalled by the fire alarm and detection system, the main lighting system is activated at full capacity, concurrently with the emergency lighting.

When the power failure occurs during normal tunnel operation, the tunnel lighting regime is switched to the stand-by tunnel lighting regime, which is provided by selected sections of the accommodation lighting system. The power supply is provided by a stand-by source, and the maximum permissible speed in the tunnel is reduced from 80 km/h to 60 km/h.

Another very interesting equipment block, which is considered unimportant from driver's point of view, is the system of measurement of physical and chemical quantities and the fire alarm and detection system. Individual sensors, which are installed inside the tunnel, in the technical services building and in front of both portals, follow, for instance, the values of the Carbon Monoxide concentration and opacity in the tunnel tubes, the temperature of air in the tunnel, on the fire pipeline and in the technical services building, fog in front of the exit portals, the level of water in the fire protection reservoir and in the polluted water collecting drainless sump, measurement of the airflow rate or the speed of rotation and vibrations of the tunnel ventilators. Other sensors monitor the state of the equipment conditioning the pH in the water which is discharged from the tunnel drainage. Together with the above-mentioned opacity metres, these facilities provide information necessary for the control system, which assesses the information and controls other equipment (fans, lighting, fire main heating etc.) on the basis of the quantities determined.

The sensors measuring the Carbon Monoxide concentration and opacity in the tunnel are installed near the portals. A total of four pairs of infrared sensors are installed. The input data required for optimum functioning of the ventilation system is provided by four pairs of sensors measuring the airflow rate in the tunnel and sensors monitoring the air temperature.

A requirement for heating of the fire main pipeline in case of the temperature dropping under an allowable limit appeared in the context of a change in the position of the fire main, from the original place under the roadway to the space under the walkway. A trace heating system is used for the fire main protection, with the heating cables installed between the pipeline external surface and thermal insulation. The heating system is activated by the control system in the case of temperature in the tunnel and on the pipeline surface dropping. This system is in common use in tunnels abroad, but it is the first application in the Czech Republic.

The objective of the monitoring of the level of water in the 170m<sup>3</sup>-volume fire protection reservoir is to inform whether the volume of water in the reservoir is sufficient for a fire fighting intervention in case of a fire in the tunnel. The drainless sump collects polluted water from the roadway surface discharging from slotted drainage ducts. This water cannot be treated by the equipment available, therefore it must be transported by tankers to a sewage treatment plant. The water level monitoring system signals the state at which the water must be pumped from the sump to prevent inundation of the inflow pipeline and a total collapse of the roadway drainage system.

In recent years, strong emphasis has been placed on fire safety in tunnels, in the context of accidents in tunnels abroad. Detection of signs of a fire in the Libouhec tunnel is provided by sensors of the fire alarm and detection system. Whereas the



Obr. 4 Hloubené tunely na jižním portále  
Fig. 4 Cut-and-cover tunnels at the southern portal

požárního vodovodu je kontaktně ohříváno pomocí topných kabelů instalovaných mezi lícem trubky vodovodu a tepelnou izolací. Při poklesu teploty v tunelu a na líci potrubí vodovodu aktivuje řídicí systém v tunelu otáčení potrubí. Jedná se o systém, který je v zahraničních tunelech běžně používán, v České republice je použit v dálničním tunelu poprvé.

Sledování úrovně hladiny vody v požární nádrži o objemu 170 m<sup>3</sup> má za cíl informovat o dostatečné rezervě vody v nádrži pro provedení zásahu v případě požáru v tunelu. Do bezodtokové jímky znečištěných vod proudí voda ze šterbinových žlabů pro odvodnění vozovky. Vodu z jímky nelze pomocí instalovaných zařízení efektivně vyčistit a je nutné kontaminované vody odvézt cisternami do čistírny odpadních vod. Sledování hladiny v jímce signalizuje stav, kdy je voda z jímky třeba vyčerpát, aby nedošlo ke zpětnému zatopení potrubí a úplnému kolapsu systému odvodnění vozovky.

V posledních letech je v souvislosti s haváriemi v zahraničních tunelech kladen velký důraz na zajištění požární bezpečnosti v tunelu. K detekci projevů požáru jsou v tunelu Libouchec instalována čidla elektrické požární signalizace. Zatímco provozně-technologický objekt s řídicím systémem tunelu a bezpečnost záložního zdroje energie střeží bodové hlásiče požáru, obě tunelové trouby sleduje lineární teplotní kabel FibroLaser II., který je schopen detekovat místo požáru s přesností na 3 m. Systém je aktivován při překročení maximální přípustné teploty ve sledované zóně 58 °C, zvyšování teploty rychlostí 12 °C/min. nebo rozdíl teploty v místě měření vůči průměrné teplotě v zóně překročí 10 °C, přičemž postačuje nesplnění jediného z kritérií. Kromě liniového sledování teploty v tunelu jsou v místě SOS kabin a v ústí tunelových propojek instalovány tlačítkové hlásiče požáru.

Počet SOS kabin vzrostl s ohledem na požadavky novelizovaného předpisu TP98 Technologické vybavení tunelů a vzhledem k prodloužení západní tunelové trouby o objekt galerie z původních 8 ks na 11 ks. Vzdálenost SOS kabin nesmí podle nových předpisů překročit 150 m.

Funkci očí řídicího systému tunelu zajišťuje systém videodohledu, který monitoruje celou oblast obou tunelů a provozně-technologického objektu. Z celkového počtu 42 kamer monitoruje 7 ks SOS hlásky v tunelu, 2 ks tunelové propojky a 4 ks ústí tunelových propojek. Před jižním a severním portálem jsou instalovány vždy 2 otočné videokamery. Videosignál z jednotlivých kamer je veden přes řídicí systém tunelu do obslužného dispečinku v Řehlovicích a Petrovicích.

Požadavky na informování řidičů v případě mimořádné události plní evakuační rozhlas. Ve výšce 3,2 m nad úrovní chodníku jsou ve vzdálenosti 25 m instalovány tlakové reproduktory, kterými vydávají příslušníci jednotek hasičského záchranného sboru, nebo Policie České republiky pokyny při evakuaci osob z tunelu. Vstup do systému evakuačního rozhlasu je možný jak z lokálního velínu v provozně-technologickém objektu na jižním portálu tunelu, tak ze vzdáleného dispečinku v Petrovicích nebo Řehlovicích.

Za běžného provozu i v případě požáru v tunelu hraje klíčovou roli správně fungující systém vzduchotechniky. Tunel Libouchec podélně odvětrávají v každé tunelové troubě tři páry proudových ventilátorů firmy Howden Power. Pro zajištění větrání v tunelu a dosažení požadované rychlosti proudění při vzniku požáru 3 m/s postačují pouze dva páry ventilátorů, třetí pár je nasazen jako záložní pro případ, že by ohnisko požáru leželo v blízkosti ventilátoru a vlivem extrémní teploty nebo jiné poruchy došlo k jeho vyřazení z provozu. Další ventilátory zajišťují odvětrání tunelových propojek a umožňují v případě požáru v jedné tunelové troubě zajistit potřebný přetlak vzduchu tak, aby kouř nevnikal do propojky a druhé tunelové trouby, sloužící jako

technical services building with the tunnel management system and the stand-by power source are guarded by point fire detectors, both tunnel tubes are monitored by the FibroLaser II linear heat detection system, which is capable of detecting a fire location with the accuracy within 3m. The system is activated when the maximum allowable temperature of 58 °C is exceeded, or the rate of the temperature growth crosses 12 °C/minute, or the difference between the temperature at the measurement location and the average temperature within the zone is higher than 10 °C; the fact that even a single criterion is met is sufficient for triggering the signal.

The number of SOS cabins grew from the original 8 to 11 with respect to requirements of reviewed technical specifications TS98 Tunnel Equipment and with a view to the extended length of the western tunnel tube by the addition of the gallery structure. According to the new specifications, the spacing of SOS cabins must not exceed 150m.

The role of eyes of the tunnel control system is played by the television surveillance system, which monitors the entire area of both tunnel tubes and the technical services building. Of the total number of 42 cameras, seven cameras monitor the emergency call stations in the tunnel, two cameras oversee the cross passages, and four watch the entries to the cross passages. Two revolving cameras are installed in front of each of the southern and northern portals. The video signal from individual cameras is transmitted through the tunnel control system to the service control centres in Řehlovice and Petrovice.

Requirements for a system providing drivers with information in case of an emergency are fulfilled by the public address system. Pressure loudspeakers are installed every 25m at a height of 3.2m above the walkways. They are used by Fire Rescue Service personnel and the Police of the Czech Republic for instructing persons during the tunnel evacuation. The entry to the public address system is possible both from the local control room in the technical services building at the southern portal of the tunnel, and from the remote control centres in Petrovice or Řehlovice.

The proper function of the ventilation system is important both during the common operation and in the case of a fire in the tunnel. The Libouchec tunnel is provided with a longitudinal ventilation system using three pairs of Howden Power jet fans in each tube. Two pairs of fans capable of producing the required 3m/s airflow rate in case of a fire are sufficient for the tunnel ventilation. The third pair is installed in the tunnel tube as a stand-by in case of a failure of a fan, which may be damaged by extreme temperature if the seat of fire is in its proximity, or fail due to any other cause. Other fans ventilate the cross passages and make creation of a required positive pressure possible in case of a fire in one tunnel tube so that smoke is prevented from entering the cross passage and the other tunnel tube which is used as an escape route. Escaping persons always proceed against the fresh air flow.



Obr. 5 Stísněné poměry při betonáži vozovky  
Fig. 5 Constrained conditions during the roadway casting



Obr. 6 Ochrana požárního vodovodu před promrzáním  
Fig. 6 Frost protection of the fire main

úniková cesta. Unikající osoby tak vždy postupují proti proudu čerstvého vzduchu.

### STAVEBNÍ ÚPRAVY PRO ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI V TUNELU

K zajištění bezpečnosti v tunelu nepřispívá jen složité technologické vybavení, ale i řada stavebních úprav. Jedná se především o tunelové propojky, které umožňují zejména v případě požáru únik osob z jedné tunelové trouby postupně plněné zplodinami z požáru do druhé tunelové trouby. Na délku tunelu 520 m připadají dvě tunelové propojky, čímž je trasa úniku rozdělena na úseky o maximální délce 190 m. Jedná se o nejefektivnější způsob záchran osob – samoevakuaci. V ústí každé propojky, jejíž poloha je kromě stále svítící značky odlišena i barvou ostění tunelu, je umístěn hydrant a únikovou cestu chrání před účinky požáru protipožární dveře.

Pro usnadnění orientace unikajících osob slouží speciální značení s fotoluminescenčním povrchem, které udává směr a vzdálenost k nejbližší únikové cestě, tj. k tunelové propojce, nebo k portálu. Obdobně jsou značena místa požárních hydrantů nebo skříní SOS.

Hydranty požárního vodovodu jsou stejně jako šachty na čištění boční tunelové drenáže umístěny ve výklencích, jejichž hrany jsou zkoseny ve směru jízdy. Toto opatření omezuje možnost přímého nárazu do hrany výklenku v situaci, kdy řidič vozidlo neovládá. Šikmá plocha výklenku odráží vozidlo zpět na vozovku. Energie nárazu je tím snížena, stejně jako riziko zranění osádky vozu. Kromě ústí tunelových propojek jsou hydranty umístěny v blízkosti skříní SOS. Podél obou boků každé tunelové trouby vedou kabelové trasy umístěné do kabelovodů. Prostor kabelovodu je na povrchu upraven jako pochozí stezka a slouží jako úniková cesta.

Do prostoru pod únikovou cestou se podařilo v rámci změn během výstavby umístit i požární vodovod, původně situovaný pod vozovkou tunelu. Změna polohy požárního vodovodu odpovídá koncepci vedení potrubí v mnoha zahraničních tunelech a přináší mnoho výhod. Pro vodovodní potrubí tohoto typu platí podle platné normy nezáměrná hloubka 1,5 m. Při dodržení nezáměrné hloubky a nutnosti křížení potrubí s dalším trubním vedením v tunelu by došlo k liniovému podkopání patek definitivního ostění, což je ze statického hlediska nepřijatelné. Kromě statického hlediska má změna pozitivní dopad i do hlediska provozního a bezpečnostního. V případě poruchy na potrubí by bylo nutné povést opravu přímo ve vrstvách betonového krytu vozovky. To by způsobilo značný nárůst provozních nákladů, spojených s údržbou poškozeného místa. Zúžení vozovky v opravované části tunelu zvyšuje riziko nehody se všemi důsledky, které tato skutečnost přináší.

Samostatnou kapitolou bezpečnosti v tunelu tvoří zajištění požadované požární odolnosti konstrukcí a minimalizace negativních vlivů při požáru. Dalším bezpečnostním prvkem je proto samotný povrch vozovky. Velké nebezpečí při požáru v tunelu představují zplodiny hoření, přičemž teplota dosahuje v epicentru požáru ve velmi krátké době až 1300 °C (např. křivka požáru dle RABT). Z tohoto důvodu tvoří konstrukci vozovky betonová deska, i když v přilehlých úsecích tunelu a v navazující galerii je navržen povrch živičný.

Šíření požáru v tunelu zamezuje i použití šterbinových žlabů. Hořící kapalina stéká z povrchu vozovky a šterbinovým žlabem odtéká směrem k portálu. Již samotný šterbinový žlab omezuje přístup vzduchu k hořící kapalině. Součástí trasy šterbinového žlabu jsou samozhášecí kusy umístěné v rastru 60 m. Jedná se o sifony naplněné vodou. Při průchodu hořící kapaliny sifonem dojde k uhašení plamene a požár se dále nešíří do dosud nezasazených úseků tunelu. Obdobnou funkci mají i protipožární ucpávky kabelovodů, které zabráňují šíření požáru chráničkami kabelů propojujícími jednotlivé požární úseky tunelu.

### TUNNEL SAFETY STRUCTURES

The tunnel equipment is not the only element which contributes to the safety in the tunnel. The safety is also improved by numerous items of construction work. First and foremost, there are cross passages there, which allow escape of people from one tunnel tube to the other in the case of a fire while the affected tube is gradually being filled with combustion products. Two cross passages come to the tunnel length of 520m, thus the escape route is divided into sections at a maximum length of 190m. It is the most effective way of rescuing people, the so-called "self-evacuation". The entry to each cross passage, which is provided with a fire resisting door protecting the escape route against the effects of fire, is marked by a permanently lighting sign and is distinguished in colour within the tunnel lining. There is a fire hydrant at each entrance.

Orientation of escaping persons is facilitated by special photo-luminescent-surface signs showing the direction and distance of the nearest escape route, i.e. of an escape route or a portal. The positions of fire hydrants or SOS boxes are marked in a similar way.

The fire hydrants, as well as the manholes which allow clearing of the tunnel side drainage, are located in sidewall recesses. The edges of the recesses are chamfered in the direction of traffic so that the possibility of a direct impact into the edge of the recess in a situation when a driver loses control over the vehicle is prevented. The angling wall of the recess bounces the vehicle back to the roadway. Thus the impact energy as well as the risk of injury of the passengers is reduced. The hydrants are installed not only at the entries to the cross passages, but also at the SOS boxes. Cable runs lead through cableways along both sides of each tunnel tube. The surface above the cableways is provided with pavement and is used as a walkway and an escape route.

The fire main design, which had been originally placed under the roadway, was successfully changed in the process of the design modifications; the pipeline was also installed under the escape way. The change in the position of the fire main was made in compliance with the concept of pipeline routes in many tunnels abroad; it is beneficial in many respects. The respective standard valid for water pipelines of this type requires placement of the pipeline at a minimum depth of 1.5m to ensure the frost protection. However, if this depth is maintained in the situation where another pipeline is to be crossed in the tunnel, the trench to be dug along the final lining base would threaten stability of the lining, which is inadmissible. Apart from the structural aspect, the change has a positive impact also in terms of the tunnel operation and safety. A repair of a contingent pipe defect would have to be carried out directly in the concrete courses of the roadway surface. It would cause a significant increase in the operating costs which would be associated with the maintenance of the damaged surface. The reduced width of the roadway in the tunnel section under repair would increase the risk of an incident, with all consequences which are associated with this situation.

Provision of the required level of fire resistance of structures and minimisation of negative effects during a fire is a separate chapter of safety in the tunnel. The roadway surface itself is, therefore, a separate safety element. Combustion products pose a significant threat during a fire. Because the temperature in the fire epicentre reaches in a very short time up to 1300 °C (e.g. the RABT Fire Curve), the roadway structure is a reinforced concrete slab, even though a bituminous roadway surface has been designed for the adjacent tunnel sections and the gallery.

A fire in the tunnel is prevented from spreading even by installation of slotted drainage ducts. Burning liquid runs down from the roadway surface and continues through the slotted duct toward the portal. The slotted drainage duct itself prevents access of air to the burning liquid. Self-extinguishing pieces, which are installed every 60m, are parts of the slotted drainage duct route. The self-extinguishing piece is a siphon filled with water. The flame is extinguished during the passage of the burning liquid through the siphon, thus the fire does not spread to the tunnel sections which have not been affected by the fire yet. Fire stop sleeves on cables have a similar function, i.e. to prevent a fire from spreading through the cableways, which connect individual fire compartments of the tunnel complex.



Obr. 7 Přejít z tunelu do galerie  
Fig. 7 Transition of the tunnel to the gallery



Obr. 8 Sdružený výklenek požárního hydrantu a skříně SOS  
Fig. 8 An SOS niche with a fire hydrant



Obr. 9 Nouzové osvětlení a další vybavení tunelu  
Fig. 9 Emergency lighting and other tunnel equipment

## EKOLOGICKÉ ASPEKTY A OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Lokalita, ve které se tunel Libouchec nachází, vyžaduje zodpovědný přístup k ochraně životního prostředí. Obecně lze říci, že vedení trasy komunikace v tunelu je v porovnání s vedením v hlubokém zářezu vždy šetrnějším řešením. V krajíně nevzniká jizva, tvořící překážku při migraci zvěře, nedochází ke zvýšené erozi obnažených svahů zářezů a tunelové portály obložené v případě tunelu Libouchec přírodním kamenem citlivě zapadají do krajinného rázu Krušných hor.

Určité nebezpečí mohou u tunelových staveb představovat exhalace, které se na rozdíl od volné trasy v tunelu koncentrují a vystupují z tunelu v jediném místě – u tunelových portálů. V případě tunelu Libouchec však vzhledem k malé délce tunelu, podélnému sklonu trasy 4,5 % a výraznému komínovému efektu nepředstavují koncentrace škodlivin zásadní problém.

Možným zdrojem znečištění však může být voda, resp. kapaliny vytékající z tunelu. Proto došlo během provádění tunelu k modifikaci původního řešení a po provedení koncepčních úprav lze hovořit o třech nezávislých systémech odvodnění tunelu.

Prvním, nejméně rizikovým zdrojem znečištění jsou vody protékající dešťovou kanalizací z předportálových zářezů položených nad tunelem. Vlastním úsekem tunelu voda pouze protéká, do potrubí však nejsou zaústěny žádné další zdroje potenciálního znečištění. V původním řešení ústila do kanalizačního potrubí pomocí příčných propojek i boční tunelová drenáž. V rámci realizace stavby však došlo k oddělení obou systémů. Nebezpečí kontaminace kanalizačních vod je proto totožné s rizikem kontaminace kdekoli na dálničním tělese a existence tunelu riziko nijak neovlivňuje. Oddělení obou systémů má ještě jeden pozitivní konstrukční dopad. Dešťová kanalizace původně umístěná v obou tunelových troubach probíhá nyní pouze východní tunelovou troubou. Kromě úspory investičních nákladů tato skutečnost příznivě ovlivňuje i konstrukční hledisko provádění podkladních vrstev betonové vozovky. Na jižním portálu tunelu voda protéká sedimentačními jámkami a odlučovačem ropných produktů, aby následně dotovala požární nádrž o objemu 170 m<sup>3</sup>. Kapacita nádrže postačuje na provedení požárního zásahu v době trvání 2 hodiny.

Druhý rizikový zdroj znečištění představují vody drenážní, které prosakují puklinami v horninovém masivu, protékají primárním ostěním a po zachycení mezilehlou fóliovou izolací stékají do podélných bočních drenáží. Určitá část podzemní vody prosakuje i počvou tunelu do střední tunelové drenáže, neboť tunel prováděný bez spodní klenby není po celém obvodu uzavřen izolačním pláštěm. Jedná se o takzvaný deštníkový systém izolace. V původním řešení drenážní vody vtekaly do kanalizační stoky a spolu se srážkovými vodami z předportálových zářezů zásobovaly požární nádrž před jižním portálem tunelu. Při zpracování prováděcího projektu došlo k úpravě systému odvodnění oddělením srážkových vod od vod drenážních. Jak se později ukázalo, jednalo se o prozíravé opatření. Již během výstavby vykazovala podzemní a technologická voda vytékající z tunelu zvýšené pH, které v extrémním případě dosahovalo až hodnoty 12. Proto bylo nutné vodu před vypouštěním do vodoteče upravovat a hodnotu pH snížit na přípustnou mez. Zhoršení kvality zapříčinil průtok podzemní vody primárním ostěním ze stříkaného betonu. Situace se nezlepšila ani v období před uvedením tunelu do provozu, a tak nezbývalo, než do technologického vybavení tunelu zařadit i úpravnu pH, přes kterou veškeré drenážní vody dosud protékají. Lze očekávat, že v průběhu času dojde ke snižování výluhů z primárního ostění a kvalita podzemní vody dosáhne původních parametrů. Pak bude možné úpravnu odstranit. Do té doby se však bez úpravy vody tunel neobejde.

Ke zdroji s největším rizikem kontaminace patří voda stékající z povrchu vozovky. I když při běžném provozu riziko kontaminace nepřevyšuje riziko

## ECOLOGICAL ASPECTS AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

The location in which the Libouchec tunnel is found requires a responsible attitude towards environmental protection. It is possible to generally state that the setting of a road to a tunnel is always more environmentally friendly than a route running in a deep open cut. The landscape is not hurt by a scar in its surface, which becomes an obstacle for migration of game; aggravated erosion of the uncovered slopes of the open cut is not the threat, and tunnel portals, which are in the case of the Libouchec tunnel clad in natural stone, sensitively fit in the Krušné Mountains landscape.

As opposed to an open surface alignment, exhaust emissions, which are concentrated in the tunnel and are let out of the tunnel in one location, at the portals, may be a certain threat. However, regarding the Libouchec tunnel, the concentration of pollutants is not a significant problem if we consider the short length of the tunnel, the longitudinal gradient of 4.5% and the profound chimney effect.

On the other hand, water or liquids flowing from the tunnel may be a source of pollution. For that reason the original design was modified in the course of the tunnel construction. After implementation of conceptual changes, we can speak about three independent drainage systems.

The first source of pollution, the least risky one, is the water flowing through the storm-water drainage from the pre-portal open cuts, which are in a higher elevation than the tunnel. The water only passes through the tunnel; no other sources of potential pollution are connected to this drainage. The original design contained connections to this drain from the tunnel side drains. The two systems were separated during the construction. The risk of contamination of the water in the storm-water drainage is identical with the risk of contamination in any place along the motorway route; the existence of the tunnel does not affect this risk. The act of separation of the two systems has another positive impact on the tunnel structure. The storm-water drainage, which was originally designed for both tunnel tubes, is now installed only in the eastern tunnel tube. This fact positively affects not only the cost, but also the construction work on the roadway bedding layers. At the southern portal, the water flows through sedimentation tanks and an oil separator, to be subsequently used for supplying a fire protection reservoir with the capacity of 170m<sup>3</sup>. This capacity is sufficient for a two-hour fire intervention.

The second potential source of pollution is ground water collected by tunnel drains. Ground water seeps through fissures in the rock mass, leaks through the primary lining and is directed by the intermediate waterproofing membrane down to the longitudinal side drains. Because the waterproofing is not closed to cover the tunnel bottom (the so-called 'umbrella' type of waterproofing), certain portion of ground water seeps through the tunnel invert to the central drain. According to the original design, drainage water was discharged to a sewer and, together with storm water from the pre-portal open cuts, supplied to the fire protection reservoir in front of the southern portal of the tunnel. The drainage system was changed in the detailed design phase; storm water was separated from drainage water. It was subsequently proven that this measure had been very far-sighted. Ground water and process water flowing from the tunnel exhibited increased pH values as early as the construction phase. Extreme values of 12 were reached. For that reason it was necessary to start the pH conditioning and reduce the value to a permissible level. The quality deteriorated as a result of the fact that the water flew in contact with the primary shotcrete lining. The situation remained unimproved even in the phase before the tunnel commissioning. The contractor was left with no choice but to add a pH-conditioning facility. The facility, which treats all drainage water flowing from the tunnel, has been in service till now. It can be expected that the intensity of the primary lining leaching will be gradually diminished and quality of ground water will reach the original parameters. Then it will be possible to remove the treatment facility. Till that time, however, the tunnel cannot cope without it.

Water flowing from the roadway surface is the source posing the greatest risk of contamination. Even though the risk of contamination during common operation is not higher than the risk in open-surface motorway sections outside the tunnel, water used for washing of the tunnel walls is provably contaminated and cannot be



**Obr. 10 Celkový pohled na jižní portál před dokončením**  
**Fig. 10 Overall view of the southern portal before completion**

na volných úsecích dálnice mimo tunel, v případě mytí stěn tunelu je voda prokazatelně kontaminována a nelze ji bez další úpravy vypouštět do vodoteče. Obdobná situace panuje např. při havárii cisterny nebo v případě zmáhání požáru. V tomto případě poskytuje systém odvodnění tunelu vyšší standard ochrany životního prostředí, než je tomu na volné trase. Jednostranný příčný sklon vozovky 4,5 % odvádí vodu z povrchu komunikace do šterbinového žlabu a jednostranným spádem k jižnímu portálu, kde je voda jímána do bezodtokové jímky. V případě zaplnění jímky cisterny vodu dopraví do nejbližší čistírně odpadních vod, kde jsou nečistoty odstraněny a ekologicky zlikvidovány.

Navržené technické řešení počítá s jednotlivými alternativami možného rizika znečištění a oproti volné trase dálnice nadstandardně řeší případné krizové situace.

## ZÁVĚR

Během výstavby tunelu došlo z iniciativy projektanta realizační dokumentace i zhotovitele k celé řadě změn, které vycházejí ze zahraničních směrnic a předpisů i zkušeností z již realizovaných tunelů mimo území České republiky. Další změny si vynutily složité geotechnické poměry v oblasti portálů, související s úpatní polohou tunelů, malou výškou nadloží a větší mocností pokrývných útvarů. Úpravy technologického vybavení tunelu souvisejí se změnou norem a předpisů v souvislosti s tragickými haváriemi v zahraničních tunelech a směrnicí 2004/54/ES Evropského parlamentu a Rady o minimálních bezpečnostních požadavcích na tunely na transevropské dálniční síti. Na rozdíl od příportálových úseků mimořádně příznivé geotechnické podmínky zastížené v trase tunelu během výstavby umožnily použít ve větší části raženého úseku tunelu nevyztužené definitivní ostění. Ke změnám došlo i v mnoha dalších konstrukčních detailech, které zlepšily funkčnost systému, zjednodušily způsob provádění, a tím i výrazně eliminovaly vznik chyb při vlastní realizaci. Projednávání navrhovaných změn bylo mnohdy zdlouhavé, ale po předložení potřebných průkazů technické nebo ekonomické výhodnosti navrženého řešení bylo možné změn dosáhnout. Komplikace přinesly hned po zahájení stavby na podzim roku 2004 i několik měsíců trvající obstrukce ekologických aktivistů, které zahájení výstavby posunuly do zimních měsíců a vzhledem ke klimatickým podmínkám v horské oblasti dočasně znemožnily pokračování prací na odtěžování stavební jámy. Dodržení termínu otevření dálničního úseku se podařilo jen s mimořádným nasazením všech účastníků výstavby a v neposlední řadě i díky příznivým klimatickým podmínkám výstavby v závěru roku 2006.

Investorem stavby je Ředitelství silnic a dálnic ČR, financování stavby probíhalo z 50 % z programu ISPA. Stavbu prováděly ve sdružení firmy Metrostav a Skanska. Realizační dokumentaci zpracovávala firma IKP Consulting Engineers. Na projektech technologického vybavení tunelu spolupracovaly firmy Eltodo, Elpring a Satra.

Nově otevřený úsek dálnice délky 23,3 km vedoucí z Ústí nad Labem na státní hranici SRN vytváří spojnicí Praha – Dráždany – Berlín a je díky koordinaci prací s německými kolegy při výstavbě dálnice A17 stavbou evropského významu. Navržené technické řešení, použité technologické postupy, vybavenost tunelů i zajištění bezpečnosti provozu tomu plně odpovídají.

**ING. LIBOR MAŘÍK, libor.marik@ikpce.com,  
 IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.**

discharged to a watercourse. Similar situation occurs, for example, in the case of a tanker accident or when a fire is being extinguished. In this case, the tunnel drainage system provides a higher standard of environmental protection than that on the open-surface route. The 4.5% single-sided transverse gradient of the roadway surface drives water from the road surface to a slotted duct. The single-sided longitudinal gradient gets water down to the southern portal, where it is collected in the drainless sump. When the sump is full, the water is transported by tankers to the closest sewage treatment plant, where the pollutants are extracted and liquidated by environmentally friendly methods.

The designed engineering solution allows for individual alternatives of the possible pollution risk and solves contingent critical situations in a manner which is above-standard compared with that on an open-surface motorway route.

## CONCLUSION

The author of the detailed design and the contractor initiated and implemented numerous changes during the course of the construction, which were based on foreign directives and regulations, as well as experience from the previously completed tunnel constructions outside the Czech Republic. Other changes were necessary because of complex geotechnical conditions in the portal areas, which were associated with the position of the tunnels at the foot of a hill, small height of the overburden and greater thickness of surface sediments. Changes in the tunnel equipment resulted from changes in standards and regulations relating to the tragic accidents in foreign tunnels and to the Directive 2004/54/ES of the European Parliament and of the Council on minimum safety requirements for tunnels in the Trans – European road network. As opposed to the portal sections of the tunnels, extremely favourable geotechnical conditions were encountered throughout the remaining tunnel length. They made the application of unreinforced concrete final lining possible within a major part of the route. Changes were also made in many other structural details. They improved the functionality of the particular system, simplified the construction process, thus significantly eliminating occurrence of errors during the construction work. The process of approving changes was often lengthy, but it was possible to achieve the approvals when the required proofs of technical or economic profitability of the proposed solution had been submitted. Complications were caused at the beginning of the construction in the autumn 2004 by obstructions by ecologists, which even lasted for several months. They shifted the commencement of the works to the winter season and, with respect to the climatic conditions existing in the mountainous area, they temporarily made the work on the excavation of the construction trench impossible. The deadline for the opening of the given motorway section to traffic was met only owing to the extraordinary efforts made by all parties to the project and, at last but not least, thanks to favourable climatic conditions in the end of 2006.

The project owner is the Directorate of Roads and Motorways of the Czech Republic; 50% of the project funding was from the ISPA. The tunnel was built by a group of companies consisting of Metrostav a. s. and Skanska a. s. The detailed design was carried out by IKP Consulting Engineers, with Eltodo, Elpring and Satra collaborating on the tunnel equipment design.

The newly opened 23.3km-long section of the motorway leading from Ústí nad Labem to the border with Germany forms a connection between Prague, Dresden and Berlin. Owing to the co-operation with German colleagues on the construction of the A17 motorway it has become a construction of European importance. The design, construction techniques, tunnel equipment and operational safety fully correspond to this status.

**ING. LIBOR MAŘÍK, libor.marik@ikpce.com,  
 IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.**