

JAK SE RODÍ TUNEL – STUDIE PROVEDITELNOSTI MĚSTSKÉHO TUNELU V ČESKÉM KRUMLOVĚ

HOW A TUNNEL IS BORN – FEASIBILITY STUDY OF AN URBAN TUNNEL IN ČESKÝ KRUMLOV

VLADIMÍR PRAJZLER, PAVEL PAŠKA, LUKÁŠ MAŠÍN, JIŘÍ ČINKA, LUMÍR LUŠTICKÝ

ÚVOD

Jsou města, která z historického pohledu berou člověku dech. Atény, Benátky, Praha, Český Krumlov se krásou vyrovnají divům přírody a vzbuzují v člověku pychu na to, co vytvořil. V němém úžasu zhlížíme na díla, která postavili naši dávní předci v naprosté dokonalosti, bez mnoha stupňů plánování, autocadu, 3D modelů a výpočetních programů. Čechy si své výjimečné postavení v Evropě získaly mimo jiné díky vydatnosti svých nerostných zásob. Stará hornická města Jihlava, Kutná Hora, Jáchymov, Příbram, Kašperk, Nový Knín, Jílové a Český Krumlov podporovala úspěchy českého státu ve středověku a bez jejich přínosu by Čechy a Morava pravděpodobně už dávno zmizely z mapy Evropy. Historická centra těchto měst odrážejí jejich bývalou slávu a bohatství.

Stavbu nových tunelů jsme zatím v České republice zvyklí vidat pouze na dálnicích a ve velkých městech – v Praze a v Brně. Výjimkou je jen tunel Hřebeč a hloubený tunel na obchvatu Jihlavy. Dostupnost nových technologií a možnost čerpat finance z evropských zdrojů otvírají příležitosti přemýšlet o tunelových stavbách i v jiných lokalitách, než na dálniční síti a v metropolích. Přitom některá místa se pro stavbu tunelů přímo nabízejí – viz např. obchvat Vrchlabí na silnici II/295 z Prahy do Špindlerova Mlýna, kde velký spád silnice vedené v hlubokém zářezu činí problémy především v zimních měsících. Dalším příkladem je i Objížďková ulice na silnici II/157 v Českém Krumlově, která byla vybudována v roce 1964 jako jeden z prvních městských obchvatů v jižních Čechách, procházející skalním zářezem na okraji břehu Vltavy – viz obr. 1, jejíž náhradou by se měl stát právě navrhovaný tunel.

V minulém století nebyl dostatek finančních zdrojů ani zkušeností pro stavbu tunelů v České republice – kromě metra v Praze. Úspěšná realizace řady silničních a železničních tunelů v posledních letech, obrovský nárůst automobilové dopravy a zvýšené požadavky na ekologické aspekty, dávají předpoklady pro využití tunelových staveb v daleko větší míře.

Středověké sídlo prošlo bohatou historií, a to bez ničivých požárů či vojenských tažení. Díky tomu si město uchovávalo svůj historický charakter a patří mezi nejzachovalejší celky městské architektury u nás i ve světě. Jako významná památková rezervace s více než třemi sty



Obr. 1 Letecký snímek Českého Krumlova s vyznačením trasy tunelu
Fig. 1 Aerial photo of Český Krumlov with the tunnel route layout

INTRODUCTION

There are towns breathtaking for people from the historical point of view. Beauties of Athens, Venice, Prague or Český Krumlov, equalling the wonders of nature, raise pride in people in what they have created. Struck dumb, we look down at the pieces of work which was carried out by our ancestors, absolutely perfectly, without many planning stages, the AutoCad software, 3D models and computation programs. Bohemia won its unique position in Europe, among others, due to yield of its mineral resources. The success of Czech politics in the Middle Ages was supported by the old mining towns of Jihlava, Kutná Hora, Jáchymov, Příbram, Kašperk, Nový Knín, Jílové and Český Krumlov. Without their contribution, Bohemia would have disappeared from the map of Europe ages ago. Historic centres reflect the past glory and wealthiness of these towns.

We are accustomed to seeing construction of new tunnels in the Czech Republic only on motorways and in big cities, Prague and Brno. The only exception is the Hřebeč tunnel and a cover-and-cut tunnel on the Jihlava by-pass road. The availability of new technologies and possibility of drawing funds from European sources has opened up opportunities to consider construction of tunnels even in other locations than on the motorway network and in big cities. Some locations even offer the opportunity for tunnel constructions – for example the by-pass of Vrchlabí on II/295 road from Prague to Špindlerův Mlýn, where the steep gradient of the road running in a deep open trench creates problems, most of all in winter seasons. Another example is Objížďková Street (By-pass Street) on II/157 road in Český Krumlov, leading in a rock cut on the Vltava River bank (see Fig. 1), which was built in 1964 as one of the first town by-passes in Southern Bohemia. The tunnel being currently proposed should replace this road alignment.

With the exception of the metro construction in Prague, there was a lack of funding and experience for tunnel constructions in the Czech Republic in the past century. The successful construction of many road/railway tunnels during the past years, the immense increase in the volume of motor-vehicle traffic and higher environmental requirements have formed preconditions for the use of tunnel structures to a much larger extent.

The medieval town of Český Krumlov has a chequered history behind it, without devastating fires or wars. Owing to this fact, the town has kept its historic character and belongs among the best preserved complexes of urban architecture both in the Czech Republic and worldwide. As a significant heritage site with over three hundred ancient monuments, the town was inscribed on the UNESCO World Heritage List of cultural and natural properties in 1992. As the only Czech town, it was rated 16th in the list of 109 world's most beautiful historic destinations, which is published by National Geographic Traveler, a worldwide prestigious magazine. The growing popularity of the town has also been reflected in the number of visitors, which has increased by tens of per cent since 2002. In 2008, there were up to 200 thousand vehicles and 7 thousand coaches on parking lots in the town, and the total number of visitors reached up to 1 million 200 thousand (over 50% of them arrived by cars). Poor transport accessibility, the missing incorporation of the region into the international motorway network and the deteriorating traffic situation in the town form a limit to the attendance rate. The high traffic flows which were proved during a census in 2005, the growing number of visitors to the town and the preparation of the construction of the D3/R3 motorway prodded the municipality into ordering this study, with a financial contribution from the State Fund for Transport Infrastructure.

chráněnými objekty bylo město zapsáno v roce 1992 do Seznamu světového kulturního a přírodního dědictví UNESCO. Jako jediné české město bylo v roce 2008 zařazeno na 16. místo seznamu 109 nejkrásnějších historických míst světa, který sestavuje prestižní světový časopis National Geographic Traveler. Rostoucí popularitě města odpovídá i počet návštěvníků, který se od roku 2002 zvýšil o desítky procent. V roce 2008 bylo na parkovištích města až 200 tisíc vozidel a 7 tisíc autobusů a celkový počet návštěvníků dosáhl až 1 milion 200 tisíc, z nichž více než 50 % přijíždí v osobním automobilu. Limitem růstu návštěvnosti je špatná dopravní dostupnost, nenapojení regionu do mezinárodní dálniční sítě a zhoršující se dopravní situace ve městě. Vysoké intenzity dopravy prokázané při sčítání v roce 2005, narůstající počet návštěvníků města i příprava výstavby dálnice D3/R3 vedly město k zadání této studie s finančním příspěvkem Státního fondu dopravní infrastruktury.

Tunel délky 516 m a nový most přes Vltavu jsou součástí přeložky silnice II/157, jež má odlehčit předpokládané zátěži křižovatky na silnici I/39 a II/157 u Porákova mostu, odklonit tranzitní dopravu dále od centra a snížit hlukovou zátěž na památkově chráněnou zónu – viz obr. 2. Zlepšení dopravní dostupnosti podpoří významně rozvoj cestovního ruchu a společně s napojením rozvojových ploch a revitalizovaných areálů tak stavba umožní další ekonomický rozvoj města a řešení zaměstnanosti.

Na hlavní tah z Českých Budějovic k lipenskému jezeru do Černé v Pošumaví se ve městě připojuje silnice II/157 od Kaplice. Komunikace s novým mostem přes Vltavu a tunelem spojí křižovatku na předměstí Českého Krumlova na silnici I/39 přímo s křižovatkou silnic II/157 a II/160. Zároveň se počítá s napojením nově plánovaných ploch podél Vltavy, které budou sloužit převážně rekreačním a dalším účelům, výhodou bude i zkrácení cesty k autobusovému nádraží a k nemocnici. Studie stabilizuje trasu přeložky silnice II/157 a provádí její posouzení z hlediska umístění, výstavby, splnění požadovaného dopravního účelu, vlivu na životní prostředí a efektivnosti vynaložených finančních prostředků.

VÝCHOZÍ ÚDAJE

V digitálním věku máme daleko více možností při obstarání podkladů, které si shromáždíme v počítači a které nám slouží pro přípravu projektu. Katastrální mapa zájmového území, základní mapa ČR, zakreslení stávajících sítí od jednotlivých správců, ortofotomapa, územní plán města Český Krumlov, dopravně-inženýrské posouzení, geologické podklady, mapa poddolovaných území, vše je k dispozici v otevřené formě. K tomu možnost doplnění o geodetická měření vlastním servisem naší firmy.

Kromě jednání se zástupci městského úřadu, rozhodujících investorů rozvojových lokalit, bylo pro řešení trasy tunelu a navazujících křižovatek rozhodující vyjádření Hasičské záchranné služby a Policie ČR.

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ HODNOCENÍ

Zájmové území se nachází severovýchodně od centra Českého Krumlova. Je tvořeno elevací ohraničenou příkrými svahy, kterou ze západu, severu a východu obtéká řeka Vltava. Maximální kóta povrchu je 525 m n. m., což je zhruba 50 m nad hladinou Vltavy.

Základní horninou skalního podkladu jsou jemnozrné biotitické pararuly a migmatity s ložními žilami aplitických žul až aplitů. Trasa uvažovaného tunelu leží v pestré sérii krumlovské, kde se střídá řada krystalických a magmatických hornin. Je to území petrograficky i tektonicky velmi složitě, charakteristické velkým množstvím různých hornin. Území je bohaté na přirozené výchozy podél strmých břehů Vltavy. Převažující pararuly jsou ve zdravé formě tenké břidličnaté, šedoohnědé až šedočerné barvy, v povrchových partiích většinou značně rozpukané, rezavě hnědé, kryté málo mocnou vrstvou hlinitopísčitých silně slídnatých eluvií. Obsahují řadu vložek odchylných hornin – kvarcity, krystalické vápence, na které bývají vázány polohy grafických rul, dále amfibolity, erlány atd. Komplexem výše uvedených hornin pestré krumlovské série proniká řada ložních i pravých žil leukokratických žul. Objemová hmotnost těchto hornin se pohybuje od 2,6–2,75 g/cm³ a pevnost v prostém tlaku od 50–200 MPa.

V krystalických horninách je vhodné v rámci inženýrsko-geologického průzkumu realizovat strukturální analýzu masivu založenou na strukturálním měření ploch nespojitosti geologickým kompasem. Tento postup využívá principů Goodmanovy metody a vychází z faktu, že geometrie těles v prostoru je určena vzdáleností oddělovajících ploch a orientací takto vzniklého tělesa k těmto mezním plochám. Analýzou

The 516m long tunnel and a new bridge over the Vltava River are parts of the II/157 road diversion project, which is intended to reduce the anticipated traffic flow on the intersection between the I/39 and II/57 roads near the Porákův Bridge, divert transit traffic further from the centre and reduce noise pollution in the heritage zone (see Fig. 2). The improvement in traffic accessibility will significantly support the development of tourist industry. Thus the project will, together with connecting development areas and revitalised grounds, make further economic development of the town and solving employment possible.

The trunk road from České Budějovice toward the Lipno reservoir to Černá v Pošumaví receives the II/57 road from Kaplice, connecting inside the town. The road, containing a new bridge over the Vltava River and a tunnel, will connect an intersection in the Český Krumlov suburb on the I/39 road with the intersection between the II/157 and II/160 roads. It is at the same time planned that newly planned areas along the Vltava River will be connected to serve mainly for recreational and other purposes. Another advantage will be the shortened way to the bus station and the existing hospital. The study stabilises the alignment of the II/157 road diversion and assesses the road from the point of view of the location, construction, meeting the required transport-related purpose, the environmental impact and effectiveness of financial assets to be spent.

SOURCE DATA

In the digital age, there are much more opportunities for us to obtain source data, which we can collect in our computers and which will be used during the design stage. The cadastral map of the area of operations, the base map of the Czech Republic, existing utility networks plotted by individual utility authorities, an orthophoto map, the Český Krumlov land-use plan, traffic impact assessment, geological documentation, a map of undermined areas – all of these documents are available in an open form. In addition, supplementary geodetic surveys can be carried out by our company's own services.

Apart from negotiations with representatives of the municipal office and major developers, a document crucial for the alignment of the tunnel and adjacent intersections was the opinion of the Fire Rescue Service and the Police of the Czech Republic.

ENGINEERING GEOLOGICAL ASSESSMENT

The area of operations is found north-east of the city of Český Krumlov. It is formed by an elevation bordered by steep slopes, with the Vltava River flowing along its western, northern and eastern sides. The maximum surface altitude is 525m a.s.l., which is roughly 50m above the Vltava River level.

The basic rocks forming the bedrock are fine-grained biotite paragneiss and migmatite with aplitic granite to aplite vein intrusions. The route of the tunnel being designed passes through the Chequered Krumlov Series with a range of alternating crystalline and magmatic rocks. The area is very complicated in terms of petrography and faulting. It is characterised by great numbers of various rock types. The area is rich in natural outcrops along the steep banks of the Vltava River. The prevailing rock type is thinly foliated, grey-brown to grey-black paragneiss in the fresh form, which is mostly significantly fissured in the surface layers, rusty-brown, covered by a thin layer of loamy-sandy, heavily micaceous eluvia. It contains numerous interbeds of different rocks – quartzite and crystalline limestone, with layers of graphitic gneiss, as well as amphibolites, erlan etc. The complex of the above-mentioned rocks forming the Chequered Krumlov Series is penetrated by numerous veins of leucocratic granite, both intrusive and true fissure ones. The volume weight and unconfined compressive strength of the rocks vary from 2.6 to 2.75 g/cm³ and 50 to 200MPa, respectively.

Regarding crystalline rocks, it is advisable to carry out a structural analysis of the massif within the framework of the engineering geological survey. The analysis should be based on structural measurements of discontinuity surfaces using a dip compass. This procedure uses Goodman's method principles and is based on the fact that geometry of bodies in space is determined by the distance of separation planes and the orientation of the body originating in this way toward these limiting planes. By the analysis, we identified critical blocks, which may start moving into free space by its own weight when exposed during the excavation. The design for the configuration, number and lengths of anchors will be adjusted for individual NATM support classes on the basis of the analysis.



Obr. 2 Zářez ul. Objížďková
Fig. 2 Objížďková Street open cut

jsou vytíčovány kritické bloky, které se mohou po odkrytí výlomek dostat do pohybu do volného prostoru účinkem vlastní tíhy. Na základě této analýzy se upřesní návrh rozmístění, počtu a délek kotev v jednotlivých třídách výrubu NRTM.

Kvartérní pokryvné útvary jsou zastoupeny materiály dvojí geneze. V údolí Vltavy je uložena spodní, akumulací terasa, překrytá holocenními povodňovými náplavami Vltavy. Mocnost těchto terasových náplav se pohybuje od 1,2–4,5 m. Svahy elevace, kterou prochází plánovaný tunel, jsou na povrchu překryty vrstvou svahových sedimentů ve formě písčitéch hlinitokamenitých sutí kvartérního stáří a vrstvou písčitéch svahových hlín. Na temeni elevace se vyskytují písčito-kamenitá eluvia, pro něž je typická malá mocnost a pozvolný přechod do pevného skalního podkladu. Hranice mezi eluviem a svahovými sutěmi nebývá zřetelná, oba typy pokryvných útvarů do sebe přecházejí podle členitosti terénu a expozice.

Svahy v této oblasti nevykazují v současnosti žádné projevy nestability a nejsou zde ani dokumentovány svahové pohyby. Nelze však vyloučit místní deformace vzniklé ve spojitosti s vydatnými srážkami nebo způsobené činností člověka. Na strmých svazích pak dochází k pomalým plouživým pohybům zvětralin, tyto pohyby jsou však takřka neregistrovatelné.

Horniny skalního podkladu (krystalické břidlice) jsou ve zdravém stavu nepropustné pro srážkovou vodu. Povrchové partie jsou však postiženy zvětrávacími procesy, a tudíž puklinový systém v této zóně obsahuje puklinovou vodu, většinou však malé vydatnosti (desetiny litru/sek.). Pouze v zónách tektonického porušení (desetých pásmech) se může vyskytnout puklinová voda větší vydatnosti. Horniny skalního podkladu jsou převážně zakryty pláštěm zvětralin, v němž se hromadí mělká podzemní voda. Dosah tohoto kolektoru zřídka přesahuje hloubku 10 m a v podstatě kopíruje povrch terénu. V údolních náplavech Vltavy se vyskytuje porézní voda. Její hladina se nachází v malé hloubce pod povrchem údolní nivy a je v úzké souvislosti s hladinou vody v řece. Podle podkladů Povodí Vltavy je hladina stleté vody v zájmovém území $Q_{100} = 479,3$ m n. m., běžná hladina se pohybuje kolem 475 m. Předpokládaná niveleta komunikace v severním portálu tunelu je 483,8 m n. m. Při dovrchní ražbě od severního portálu předpokládáme zahájení ražby nad hladinou podzemní vody a dále s možnými ojedinělými přítoky po puklinovém systému.

DŮLNÍ ČINNOST

V zájmovém území mají rovněž značný význam umělé navážky, haldy, násypy a odvaly. Některé z nich jsou velmi staré, pocházející z doby těžby zlata a stříbra na Krumlovsku ve středověku.

V okolí Českého Krumlova, dokonce i ve vnitřním městě, probíhala rozsáhlá důlní činnost. Historie těžby a zpracování grafitu zasahuje do období před více než 2000 lety, kdy grafit dobývali a pro výrobu žáruvzdorné keramiky užívali staří Keltové. Počátky těžby zlata z jihočeských rýžovišť jsou ještě staršího data. Těžba stříbra kulminovala na Českokrumlovsku v 16. století (za vlády Rožmberků), nejstarší písemná zmínka o dobývání stříbra a zlata v okolí města Český Krumlov a ve městě samotném je z roku 1475. Naposledy bylo kutáno na štole sv. Jan Nepomucký pod Křížovou horou. Zastavením těchto prací v roce 1849 končí i historie dolování stříbra a zlata v okolí Českého Krumlova.

Quaternary surface deposits are represented by materials which evolved in two ways of genesis. The Vltava River valley contains a lower accumulation terrace, which is overlain by Holocene flood-plain deposits. The thickness of the terrace deposits varies from 1.2m to 4.5m. Slopes of the elevation, through which the planned tunnel will pass, are overlain on the surface by a layer of slope sediments in the form of sandy and loamy-stony debris of the Quaternary age and a layer of sandy slope loams. Sandy-stony eluvia are found on the top of the elevation. Typical of them is small thickness and gradual transition to the hard bedrock. The border between the eluvium and slope debris is usually indistinct; both types of the superficial deposits transition to each other depending on the terrain topography and exposition.

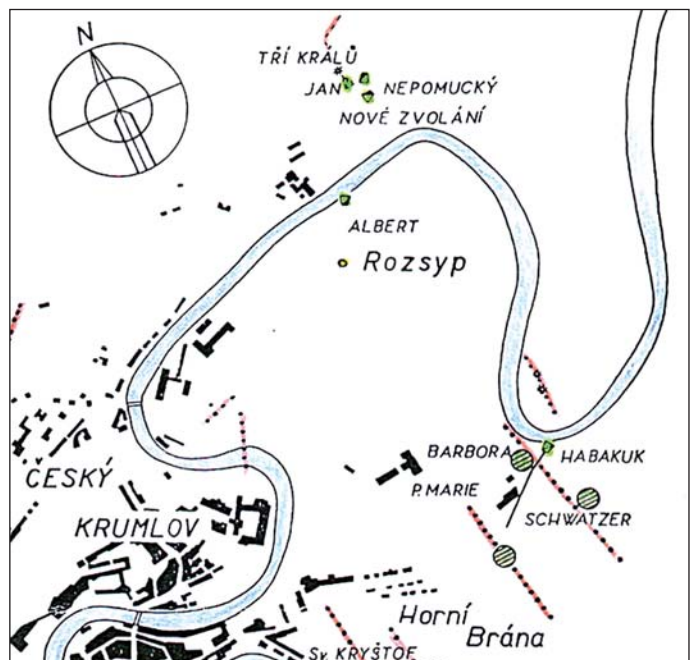
In this area, slopes do not currently exhibit any manifestations of instability and there are no slope movements documented there. Nevertheless, local deformations originating during heavy rains or those caused by human activities cannot be excluded. Slow, creeping movements of detritus take place in such cases on steep slopes. But these movements are nearly impossible to register.

The rocks forming the bedrock (crystalline shales) are in fresh condition, impermeable for rain water. However, the surface parts are affected by weathering processes; therefore, the fissure system in this zone contains fissure water, mostly with low yield (tenths of litres per second). Higher yield fissure water can be encountered only in tectonised (crushed) zones). The bedrock is mostly covered with a weathered rock mantle containing a shallow aquifer. This aquifer only rarely reaches deeper than 10m; in substance, it copies the terrain surface. The Vltava River alluvial deposits contain alluvial water. The water table is found at a small depth under the surface of the flood plain; it changes with the level of the river. According to the documents obtained from the Vltava River Basin Authority, the water level during a 100-year occurrence flood in the area of operations is $Q_{100} = 479.3$ m a.s.l., while the normal level fluctuates about 475m a.s.l. The planned vertical alignment of the roadway at the northern tunnel portal is at 483.8m a.s.l. If the tunnel is driven uphill from the northern portal, we assume that the excavation will start above the water table and only isolated inflows of fissure water will be possible.

MINING ACTIVITIES

Artificial fills, mine dumps, embankments and spoil banks are very important in the area of operations. Some of them are very old. They originated in the Middle Ages, the time when gold and silver was mined in the Český Krumlov region.

Extensive mining took place in the Český Krumlov surroundings, even in the inner area of the town. The history of graphite mining and processing extends back to the time over 2000 years ago, when graphite was extracted



Obr. 3 Návrh důlních děl v okolí zájmového území
Fig. 3 Diagram of mine workings in the vicinity of the area of operations

Mezi nejdůležitější historické důlní lokality patří také **Rozsyp**, kde jsou uváděny cechy Schwatzer, Panna Marie, Barbora, štolá Albert a dědičná štolá Habakuk, přes 200 m dlouhá – viz obr. 3. Místní název „Rozsyp“ (rýžoviště zlata), souvisí údajně s velmi starou érou rýžování zlata ve vodních tocích v okolí Českého Krumlova.

Tato oblast blíže nespecifikovaného „rozsypu“ se nachází přímo v nadloží tunelu, přičemž neznáme rozsah, mocnost ani složení skládového materiálu. Dle dokumentace důlních děl se v zájmovém území pro výstavbu tunelu v podzemí žádná stará důlní díla nevyskytují.

U severního portálu se nachází ústí kanalizační štolý, kterou je vedeno kanalizační potrubí do čistírny odpadních vod. Štolá dále od ústí pokračuje jihovýchodním směrem a odklání se od trasy tunelu. Předpokladem pro bezpečnou ražbu tunelu je zachování dostatečného horninového celku mezi tunelem a štolou. Zrušená štolá **Albert** se nachází dále po proudu Vltavy, do zájmového území nezasahuje.

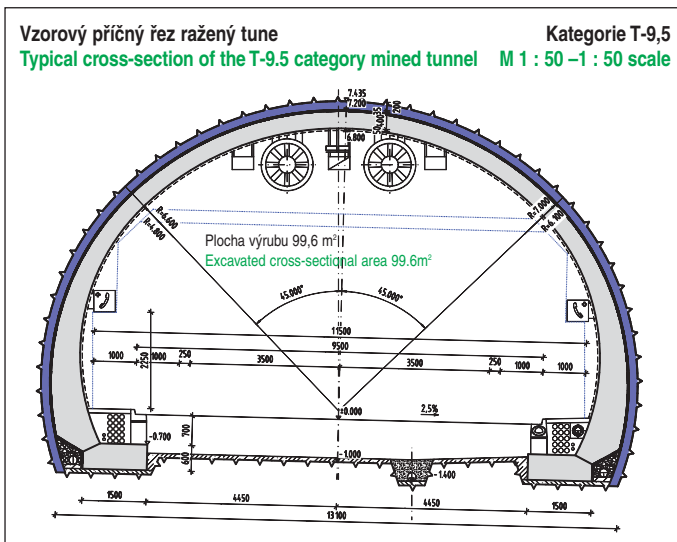
Archivní dokumentace z historické důlní činnosti v Čechách je uložena v Kutné Hoře, menší část je v Příbrami a vzhledem k rakousko-uherské etapě naší historie rovněž ve Vídni. Pro účely této studie postačila mapa poddolovaných území, předaná městem, a dokumentace kanalizační štolý vedoucí od Vltavy u severního portálu do čistírny odpadních vod.

NÁVRH TUNELU

Vlastní výběr trasy i řešení přeložky komunikace bylo zpracováno naším silničním oddělením, které se tímto záměrem zabývá již od roku 2003. Na oddělení „tunelářů“ zbylo „jen“ řešení vlastního tunelu. Součástí studie je vypracování variant trasy. Umístění tunelu již bylo dáno územním plánem, varianty se tedy týkaly spíše řešení křižovek a přemostění Vltavy. Standardně první věcí při návrhu tunelu je zhodnocení geotechnických poměrů, výšky nadloží, úhlu trasy vzhledem ke svahu, poloha portálů, stávající zástavby a inženýrských sítí v nadloží tunelu. Tyto podmínky jsou zásadní při návrhu podélného řezu a vzorových příčných řezů ražené a hloubené části.

Krystalinikum českokrumlovského moldanubika tvořené pararulami je pro ražbu i u nás osvědčenou a v posledních 20 letech výhradně používanou Novou rakouskou tunelovací metodou ideální. Její aplikací lze vytvořit subtilní průřezy ve srovnání s tunely stavěnými před 100 lety. Geometrie příčného řezu je důležitá z hlediska statického působení, správný návrh dokáže výrazně snížit hodnoty vnitřních sil a tak zmenšit dimenze primárního i sekundárního ostění, v optimálním případě lze použít u sekundárního ostění nevyztužený beton. Nevyztužené ostění má kromě nižších investičních nákladů výhodu i v omezení nebezpečí protržení izolace. Paradoxně neznamená rychlejší postup stavebních prací, protože montáž výtuzje probíhá v předstihu a rychlost postupu betonáže určuje doba pro odbednění, ale výrazně se sníží pracnost.

Z výsledků dopravně-inženýrského posouzení (DIP) plyne, že na tunelovém úseku přeložky dojde k výraznému nárůstu intenzity dopravního zatížení. V horizontu pro rok 2030, který byl zvolen pro stanovení intenzit v DIP s ohledem na prostorové uspořádání, stavební úpravy a vybavení tunelu a pro zařazení tunelu, vychází hodnota



Obr. 4 Vzorový příčný řez tunelu
Fig. 4 Typical tunnel cross-section

and used for the production of fireproof ceramics by Old Kelts. The beginnings of gold extraction from South-Bohemian placer deposits are even of an older date. Silver mining culminated in the Český Krumlov region in the 16th century (under the rule of the Rosenberg family); the oldest written reference to silver and gold mining in the surroundings of Český Krumlov and inside the town is dated 1475. The last prospecting was carried out in the Saint John Nepomucen gallery under Křížová mountain. The history of silver and gold mining in the surroundings of Český Krumlov ended in 1849, when the work in this gallery was terminated.

One of the most important mining locations is **Rozsyp**, where they mention workings of Schwatzer, Panna Marie and Barbora, the Albert gallery and the over 200m long Habakuk sough (see Fig. 3). The local name “Rozsyp” (a Czech word for a placer) is reportedly associated with a very old era of washing gold from water streams in the surroundings of Český Krumlov.

This placer area, which was not specified in a more detailed manner, is found directly in the tunnel overburden. We do not know the extent, thickness or composition of the dump. According to mine workings documentation, no old underground mine workings exist in the area of construction operations.

The mouth of a sewerage gallery, containing a sewer leading to a sewage treatment plant, is found at the northern portal. Further from the mouth, the gallery continues in a south-east direction and diverts from the tunnel route. There is a condition for safe tunnel excavation – sufficiently thick rock mass between the tunnel and the gallery must be maintained. The abandoned gallery **Albert** is found further downstream the Vltava River; it does not extend into the area of operations.

Archive documentation regarding historical mining activities in Bohemia is stored in the town of Kutná Hora, smaller part is in Příbram and, with respect to the Austro-Hungarian stage in the Czech history, also in Vienna. The map of undermined areas we received from the municipality and documentation of the sewerage gallery leading from the Vltava River (at the northern portal) to the sewage treatment plant were sufficient for the needs of this study.

TUNNEL DESIGN

Selecting of the alignment itself and designing of the road diversion was carried out by our road department, which has been involved in solving this concept since 2003. “Only” the solution to the tunnel itself remained to be solved by our tunnelling department. Part of the study is developing the route variants. The tunnel location has been given by the land-use plan, the variants therefore had to deal only with intersections and bridging over the Vltava River. As a standard, first things to be dealt with when a tunnel is to be designed comprise an assessment of geotechnical conditions, the height of the overburden, the angle at which the tunnel enters slopes, locations of portals and existing buildings and utility networks in the tunnel overburden. These conditions are crucial for the design for the longitudinal section and typical cross sections in mined and cut-and-cover / cover-and-cut sections.

The crystalline complex of the Český Krumlov Moldanubic, which is formed by paragneiss, is ideal for excavating by the New Austrian Tunnelling Method, which has been solely used in the Czech Republic for the past 20 years and has acquitted itself well. Its application is capable of creating subtle cross sections compared with the tunnels which were built 100 years ago. Cross-section geometry is important in terms of the structural action; a proper design can significantly reduce values of internal forces, thus to reduce dimensions of the primary and secondary linings; unreinforced concrete can be used for the secondary lining in an optimal case. An unreinforced lining is advantageous not only because of lower investment costs, but also because of reducing the risk of tearing the waterproofing membrane. Paradoxically, it does not mean quicker progress of construction work because of the fact that concrete reinforcement is placed in advance and the excavation advance rate is determined by the time required for stripping of the formwork. On the other hand, the labour intensity is reduced in such a case.

It follows from the results of the Traffic Impact Assessment (TIA) that the traffic volume will significantly grow within the tunnelled section of the diversion. In the 2030 horizon, which was chosen for the determination of traffic flow volumes in the TIA with respect to the geometric design, structural measures and tunnel equipment, and for determination of the tunnel category, the calculated traffic volume is equal to 17 thousand vehicles per day. This value already gives a reason for constructing two tunnel tubes for a dual carriageway. The TIA resulted in a design draft comprising one tunnel tube with emergency lanes

takřka 17 tisíc vozidel/den. To už zavrhuje důvod k posouzení nutnosti vybudování dvou směrově rozdělených tunelových trub. Výsledkem byl návrh jedné tunelové trouby s nouzovými pruhy pro oba dopravní směry, a to v souladu s úseky komunikace před a za tunelem s jedním jízdním pruhem v jednom jízdním proudu. Vzhledem k délce tunelu přes 500 m, kategorii navazující komunikace MS2-18/8,5/50, po vyhodnocení rizik a uvážení technicko-ekonomického porovnání nákladů na provoz a výstavbu je zvolena **šířková kategorie dvoupruhové obousměrné tunelové trouby T-9,5**. Toto řešení považujeme za nejvýhodnější pro středně dlouhý městský tunel s vysokou intenzitou dopravy. Šířka jízdního pruhu je 3,50 m, šířka vodicího proužku přiléhajícího k nouzovému pruhu 0,25 m, šířka nouzového pruhu 1 m. Příčný sklon vozovky navrhujeme 2,5 %, jednostranný se spádem ke šterbinovým žlabům.

Šířková kategorie tunelu má již jednoznačně určený průjezdní prostor tunelu – viz obr. 4. Tento prostor je třeba co nejtěsněji „obalit“ vnitřním lícem tunelu. Po dobrých zkušenostech především s využitím banketů jsme navrhli průřez natočený podle příčného sklonu vozovky. Ve studii proběhlo porovnání příčných řezů, jejich líc tvoří křivka složená z jednoho nebo ze dvou poloměrů. Použití ostění s jedním poloměrem vnitřního líce ostění je výhodnější z hlediska statického posouzení i z hlediska nároků na bednění, či tvaru příhradových rámců primárního ostění. Takovýto profil se podařilo nalézt pro dvoukolejný železniční tunel a od výstavby tunelu Vepřek se stal standardem na českých drahách. Rozdíl v poměru výšky a šířky sdruženého tunelového průjezdného průřezu dvoukolejného tunelu 6x10 m a průjezdního prostor komunikace T-9,5 4,5x11,5 m vč. chodníků, znamená, že silniční tunel obecně vycházejí plošší. Větší výšku by bylo možné využít jen při umístění vzduchotechnického kanálu pro polopříčné nebo příčné větrání pod stropem tunelu. Při porovnání geometrií pro ostění s vnitřním lícem tvořeným jedním nebo dvěma poloměry dostáváme následující údaje:

Varianta geometrie	Poloměry [m]	Plocha výrubu [m ²]	Šířka tunelu v místě vozovky [m]	Výška líce stropu nad niveletou [m]
2 poloměry, kat. T-9,5	6,6 a 4,8	99,6	11,8	6,8
1 poloměr, kat. T-9,5	6,0	104,5	11,7	7,5
2 poloměry, kat. T-8,0	5,5 a 4,55	85,1	10,4	6,5
1 poloměr, kat. T-8,0	5,3	88,7	10,2	6,9
železniční dvoukolejný	5,7	101,5	10,7	7,6

V tabulce jsou pro srovnání uvedeny i hodnoty pro šířkovou kategorii tunelu bez nouzových pruhů (T-8,5), který byl ve studii navržen jako jedna z variant, a hodnoty pro standardní průřez železničního dvoukolejného tunelu.

V návrhu příčného řezu je dále třeba dodržet některá pravidla, jako je dostatečná šířka patky pro pojezd bednicího vozu, dostatečná plocha, na kterou se přenáší síly z klenby na patku, umístění boční drenáže za patkou pod touto pracovní spárou. V příčném řezu je umístěno i standardní vybavení tunelu, jako nouzové chodníky, prostor pro silnoproudé i slaboproudé kabely, kabely pro nouzové osvětlení tunelu a požární vodovod v banketu, kabelové lávky a ventilátory pod stropem, dopravní značky na bocích tunelu, střední tunelová drenáž pod vozovkou i odvodnění vozovky šterbinovými žlaby se samozhášecími kusy. Byla diskutována i možnost vedení vodovodu tunelem pro propojení městských řadů.

Po návrhu příčného řezu nastává období pro jeho nasazení na niveletu plánované komunikace do podélného řezu. Z výšky tunelu plyne celková výška nadloží a zejména výška skalního nadloží. Ta je rozhodující pro umístění portálů raženého úseku. V hornatých nebo kopcovitých českých poměrech se většinou setkáváme s klasickou ražbou ve skalním masivu, která se zásadně liší od ražby tunelů v zeminách, jak ji známe z velkých evropských měst v nivách velkých řek nebo u moře. Z odhadu výšky jednotlivých stratigrafických vrstev jsme pro potřeby studie provedli i předběžný odhad délek jednotlivých tříd výrubu, jak je u NRTM obvyklé, aby mohl být zpracován finanční rozpočet nákladů na výstavbu tunelu. V návrhu délky tunelu a umístění portálů se odráží i předpoklad délky bednicího vozu definitivního ostění, která bývá většinou 12 m, v optimálním případě je celková délka tunelu násobkem délky standardního bloku betonáže.



Obr. 5 Provizorní most u severního portálu
Fig. 5 Temporary bridge at the northern portal

for both directions of traffic, in harmony with the road sections before and after the tunnel, with one traffic lane for one traffic stream. **Width category T-9.5 was selected for the double-lane bi-directional tunnel** with respect to the tunnel length exceeding 500m, the category of the adjacent road MS2-18/8.5/50, the results of the assessment of risks and taking into consideration technical-economic comparison of operating costs and construction costs. We consider this solution the most advantageous for a medium-length urban tunnel carrying high traffic flow volume. The widths of the traffic lane, marginal strip adjacent to the emergency lane and the emergency lane are 3.50m, 0.25m and 1.0m, respectively. A single-sided transverse incline of 2.5% is designed, inclining toward slotted drains.

The traffic clearance space is unambiguously determined for the tunnel by the tunnel width category – see Fig. 4. This space must be “enveloped” by the inner surface of the tunnel as tight as possible. Taking into account the good experience with the use of shoulders, we designed a cross-section which is rotated according to the roadway cross-fall. The study compared cross sections with the inner contours formed by curves consisting of one or two radii. The use of a lining with one radius of the inner surface is more advantageous in terms of a structural analysis and requirements for formwork or for the shape of primary lining lattice girders. Such a profile was successfully found for double-rail tunnels. It has become a standard for Czech rail lines since the Vepřek tunnel construction. The difference in the proportion between the height and width of a 6 x 10m conjugate clearance profile in the case of a double-rail tunnel and the clearance profile for T-9.5 roadway of 4.5 x 11.5m (inclusive of walkways) means that the resulting geometry of road tunnel profiles is generally flatter. A greater height could be used only if the ventilation duct for a semi-transverse or transverse ventilation system is located under the tunnel crown. When we compare the geometries for linings where the inner surface contours are formed by one or two radii, we receive the following data:

Geometry	Radii [m]	Excavated area [m ²]	Tunnel width at the roadway level [m]	Height of the roof over the roadway level [m]
2 radii, cat. T-9.5	6.6 and 4.8	99.6	11.8	6.8
1 radius, cat. T-9.5	6.0	104.5	11.7	7.5
2 radii, cat. T-8.0	5.5 and 4.55	85.1	10.4	6.5
1 radius, cat. T-8.0	5.3	88.7	10.2	6.9
double-rail	5.7	101.5	10.7	7.6

For the comparison purpose, the table also contains values for the tunnel width category containing no emergency lanes (T-8.5), which was proposed in the study as one of variants, and values for a standard profile of a double-rail tunnel.

It is further necessary for the design draft to comply with all rules, such as a sufficient width of the footing for the movement of traveller formwork, a sufficient area to which forces are transferred from the

Severní portál tunelu se nachází na příkrém břehu Vltavy – viz obr. 5 a 6, kde výška nadloží prudce stoupá, a to dokonce i při různé výšce nivelety, která je závislá na variantách návrhu přemostění Vltavy. Z toho plyne potřeba krátkého hloubeného úseku v délce jednoho bloku betonáže definitivního ostění, dále je již možné zahájit bezpečnou ražbu. Vzhledem ke sklonovým poměrům tunelu předpokládáme, že tunel bude ražen dovrchně od tohoto portálu, aby eventuální průsaky puklinové vody mohly být sváděny gravitačně k tomuto níže umístěnému portálu.

Jižní portál se nachází v rozsáhlejší inundační oblasti Vltavy s mírným svahem pokrytým deluviálními sedimenty, bohužel i s poměrně nedávnou vilovou zástavbou – viz obr. 7. Při požadavku výškového napojení na stávající křižovatku v místě s nízkým a povlnně stoupajícím nadložím to znamená provedení delšího hloubeného úseku v otevřené stavební jámě, předpokládáme délku alespoň 36 m, tj. 3 bloky betonáže.

BEZPEČNOSTNÍ A TECHNICKÉ VYBAVENÍ TUNELU

Požadavky na stavební úpravy z hlediska bezpečnosti stanoví tabulka 2 ČSN 73 7507.

Z hlediska stanovení technického vybavení tunelu se tunely zařídují v závislosti na délce tunelu a intenzitě dopravy ekvivalentních vozidel do bezpečnostních kategorií. Navrhovaný tunel spadá do kategorie TA, tedy s nejvyššími nároky.

Pro dopravní systém tunelů bezpečnostní kategorie TA se (mimo jiné) navrhuje:

- sběr a vyhodnocování dopravních dat;
- zařízení pro včasnou identifikaci mimořádné a havarijní situace, dopravních kongescí a stojících vozidel;
- zařízení pro provozní informace (umísťuje se před vjezdem do tunelové trouby pro poskytnutí textové informace účastníkům provozu o příčině mimořádného stavu);
- světelné signály pro jízdu v jízdních pruzích;
- trvale svítící prvky pro vyznačení vodorovného dopravního značení mezi jízdními pruhy a vyznačení chodníků.

Návrh osvětlení zahrnuje návrh normálního, náhradního a nouzového únikového osvětlení, metodika návrhu je stanovena v TP 98.

Předpokládaná intenzita dopravy vyžaduje při navrhované délce tunelu instalaci zařízení pro nucené větrání, které zajistí odpovídající čistotu vzduchu a viditelnost při vlastním provozu i požadavky bezpečnosti a požární ochrany. Přírozené podélné větrání a podélné větrání způsobené provozem navrhujeme doplnit podélným systémem větrání pomocí ventilátorů v přístropí tunelu.

Kabiny SOS se navrhují v odstupech 125 až 150 m, tzn., že v případě navrhovaného tunelu budou 3x uvnitř tunelu a u obou portálů. V případě spojení s hydranty do jednoho výklenku by pro tento tunel byly čtyři, protože vzájemná vzdálenost hydrantů musí být menší – viz dále. V obousměrně provozovaných tunelech se kabiny SOS umísťují na obou stranách komunikace, vždy proti sobě s maximálním podélným odstupem 20 m.

Požární vodovod se zřizuje u tunelů delších než 400 m. Vzdálenost hydrantů se navrhuje 60–125 m, profil DN 200, výjimečně 150 mm,



Obr. 6 Sráz Vltavy u severního portálu

Fig. 6 Steep bank of the Vltava River at the northern portal

tunnel vault to the footing, the location of a side drain behind the footing found under this construction joint. The cross section also contains standard tunnel equipment, such as emergency walkways, a space for heavy current and weak current cables, cables for emergency lighting of the tunnel, a fire hydrant main in the shoulder, cable trays and fans under the ceiling, traffic signs on tunnel walls, central tunnel drainage under the roadway and roadway drainage through slotted drains with self-extinguishing pieces. Even the possibility for a water main interconnecting municipal offices to pass through the tunnel was discussed.

Once the cross section is designed, a period begins during which the section must be applied to the vertical alignment of the planned road. The total overburden height and, above all, the rock cover thickness follow from the tunnel height. The rock cover thickness is a deciding factor when locations of mined tunnel portals is being selected. In mountainous or hilly conditions of the Czech Republic we mostly encounter traditional excavation through a rock mass, which in principle differs from the excavation of tunnels through soils as we know it from large European cities found in flood plains of major rivers or by the sea. Using results of an assessment of elevations of individual stratigraphical layers, we carried out, for the needs of the study, even a preliminary assessment of the lengths of the tunnel sections according to the excavation support classes, as usual for the New Austrian Tunnelling Method, so that a cost estimation for the tunnel construction could be prepared. The assumed length of the traveller shutter for the final lining, which is mostly 12m long, was also incorporated into the tunnel design draft; in an optimum case, the total tunnel length is a multiple of the length of a standard casting block.

The northern portal is found on a steep bank of the Vltava River (see Figures 5 and 6), where the overburden height rapidly increases, even at different altitudes of the level line, which depend on the variants of bridging of the Vltava River. It follows from this configuration that a short cut-and-cover section will be needed, at a length of one final lining casting block; further on, safe tunnel excavation can start. Taking into consideration the longitudinal gradient conditions of the tunnel, we expect that the tunnel will be driven inclined upwards from this portal so that contingent fissure water inflows can be evacuated to the lower located portal by a gravity-based system drainage system.

The southern portal is found in a rather large inundation area of the Vltava River, where the slope is moderate, covered with deluvial sediments and, unfortunately, also with relatively recently built family houses on the surface (see Fig. 7). Because of the requirement for the vertical alignment to be connected to the existing intersection in the location where the overburden is shallow and slowly rises, a longer cut-and-cover section will be necessary, with the assumed length of at least 36m, i.e. 3 concrete casting blocks.

SAFETY AND TECHNICAL EQUIPMENT OF THE TUNNEL

Requirements for construction details from the safety aspect are specified in Table 2 of ČSN 73 7507 standard.

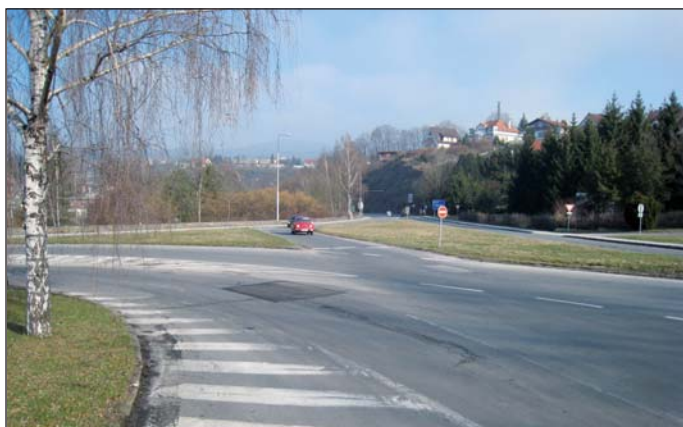
As far as technical equipment of a tunnel is concerned, tunnels are divided, depending on the tunnel length and traffic volume of equivalent vehicles, into safety categories. The tunnel being proposed comes under TA category, i.e. the highest demanding category.

The design for a traffic system of safety category TA tunnels comprises, among others, the following elements of equipment:

- collection and assessment of traffic data;
- early identification of incidents, accidents, traffic congestion and standing vehicles;
- operating information (the facility is installed in front of a tunnel tube with the aim of providing text information about causes of an extraordinary state for road users);
- lane control lights;
- permanent lights for lane and walkway marking.

The design for tunnel illumination comprises the normal, stand-by and emergency lighting systems; the designing methodology is determined by Technical Specifications TP 98.

The anticipated traffic flow requires, for the tunnel length being designed, the installation of forced ventilation, which will ensure adequately clean air and visibility during the tunnel operation and meeting of safety and fire protection requirements. We propose that natural longitudinal ventilation and longitudinal ventilation due to traffic



Obr. 7 Pohled na místo jižního portálu (vpravo) se stávající křižovatkou
Fig. 7 View of the southern portal location (right side) with the existing intersection

pro tunely do délky 1000 m musí být zajištěn průtok min. 2x20 l/s po dobu 60 minut. Navrhli jsme vést vodovodní potrubí v chodníku na jedné straně vozovky na straně stoupajícího jízdniho pásu. Nepředpokládali jsme nutnost instalovat hydranty po obou stranách vozovky, protože při eventuálním hasení zásahu již bude zastaven provoz na komunikaci v tunelu. Další hydranty budou umístěny před oběma portály. Důležitou otázkou je i způsob ochrany proti zamrznání vody v požárním potrubí umístěném v chodníku, běžně používané systémy jsou cirkulace vody nebo ohřev topnými kabely. Pro zásobování vodou jsme předpokládali napojení na městský vodovod.

K dalšímu nezbytnému vybavení tunelu patří: elektrická požární signalizace (hlásiče požáru, detekce kouře), elektrická zabezpečovací signalizace, řídicí systém dopravy, řídicí systém technologie, uzavřený televizní okruh (videodohled), měření výšky vozidel, dopravní značení, bezpečnostní značení, radiové spojení, evakuační rozhlas, měření dopravních dat, uzemňovací soustava a ochrana proti bludným proudům, náhradní zdroj energie, měření CO, opacity a rychlosti směru větru.

Se všemi těmito požadavky je třeba seznámit investora a najít vazby na současnou infrastrukturu města, především řízení dopravního provozu, hasičskou záchranou službu a policii.

VNĚJŠÍ VAZBY TUNELU NA KOMUNIKACE

Při návrhu tunelu se podařilo projednat mírný posun trasy, tak aby domy byly jámou hloubeného úseku dotčeny minimálně.

Návrhové parametry odbočení křižovatky silnic II/157 a II/160 u jižního portálu, u nemocnice a autobusového nádraží, vyvolaly diskusi o umístění přípojného pruhu komunikace do tunelového úseku. Ve zvláště stísněných poměrech je toto řešení možné technicky provést, výsledná varianta návrhu křižovatky však našťastí s tímto řešením nepočítá.

Jiná situace je u severního portálu, strmý svah nad řekou, úhel k vrstevnicím při zaražení tunelu skoro 90°, což tvoří dobré podmínky pro zahájení ražby, ale vzdálenost portálu tunelu od břehu Vltavy je zde jen necelých 60 m. V tomto místě je požadováno napojení budoucího centra „Ambit“, zachování přístupové komunikace do čističky odpadních vod i do sportovního a bytovacího komplexu „Eurogolf“ před mostem přes Vltavu a přístup správce toku podél břehu. To sebou nese velmi složité řešení křižovatek těsně před portálem, které bylo zpracováno v několika variantách:

Mimoúrovňové deltovité křížení s pobřežní komunikací provedené s napojovacími rampami přímo z mostu (s „ušima“) – řešení doporučené projektem – viz obr. 8.

Světelná křižovatka s pobřežní komunikací přímo před ústím tunelu, toto řešení je běžné např. u pražských tunelů navazujících kolmo na hlavní komunikaci – viz jižní portál letenského tunelu, portál tunelu Mrázovka u výjezdu do Radlické ulice nebo portál těšnovského tunelu. Toto řešení bylo zamítnuto z toho důvodu, že hlavní směr provozu na přeložce probíhá z mostu do tunelu a levá odbočení by vyžadovala použití odbočných pruhů. Při výhledové intenzitě dopravy by se mohly v tunelu před světly tvořit kolony, které by zvyšovaly nároky na větrání tunelu.

Jako nevhodná byla shledána varianta s kruhovým objezdem před ústím tunelu u severního portálu, to potvrdilo i vyjádření Policie ČR, ve studii byla prověřována jako řešení uvedené v územním plánu.

be supplemented by a system of longitudinal ventilation by means of fans under the tunnel roof.

SOS cabins are designed at intervals of 125 to 150m, which means for the tunnel being designed that there will be 3 cabins inside the tunnel plus 1 cabin at each portal. In the case of combining the cabins with hydrants, this tunnel would require 4 pieces because the spacing of hydrants must be tighter (see the text below). SOS cabins in tunnels carrying bidirectional traffic are located on both sides of the roadway, directly opposite each other, with a maximum longitudinal offset of 20m.

A hydrant line is installed in tunnels longer than 400m. Hydrants are designed at intervals of 60-125m, with the diameter DN 200mm, exceptionally 150mm; the minimum flow rate of 2x20 L/s must be ensured for 60 minutes in tunnels up to 1000m long. We proposed that the water pipe be installed under one walkway, on one side of the roadway (on the ascending traffic lane side). We did not assume the necessity for installing hydrants on both sides of the roadway because traffic on the road in tunnel will be stopped during a contingent fire fighting intervention. Other hydrants will be located in front of both portals. A significant issue is also the method of protection against freezing of water in the hydrant line which is embedded in a walkway. Water circulation or trace heating systems are usually used. Water supply is assumed to be through a connection to a municipal water main.

Other necessary tunnel equipment comprises: a fire alarm and detection system (fire detection, smoke detection), an electrical security signalling system, traffic control system, equipment control system, CCTV system (video surveillance), vehicle ride height measurement, road signalling, safety signs, radio communication, evacuation broadcasting, traffic data measurement, earthing system and protection against stray currents, emergency power supply, measurement of CO, opacity and velocity and direction of wind.

All of the above-mentioned requirements must be communicated to the client and possible relationships with the existing infrastructure of the town must be established, above all with the traffic management centre, the Fire rescue service and the Police.

EXTERNAL CONNECTIONS OF THE TUNNEL TO ROADS

Slight shifting of the tunnel route was approved during the designing work, so that buildings are affected by the open trench for the cut-and-cover section as little as possible.

Design parameters of the branching off from the intersection between the II/157 and II/160 roads at the southern portal, which is found near a hospital and bus station, aroused a discussions about the location of the slip lane from the road to the tunnelled section. This solution is viable in an extremely constrained space. Fortunately, the resulting variant of the intersection design does not contain this solution.

The situation at the northern portal is different: a steep slope above the river, the angle at which the tunnel strikes the slope being nearly 90 degrees. These conditions are suitable for the initial phase of tunnel excavation. However, the tunnel portal distance from the Vltava River bank is less than a mere 60m. There are requirements for this location comprising a connection of future „Ambit“ centre, preserving an access road to the sewage treatment plant and „Eurogolf“ sports and accommodation complex before the bridge over the Vltava River and allowing access along the bank for the river authority. In consequence, a very complicated design for intersections before the tunnel portal is necessary. Several design variants have been prepared:

A grade-separated delta-type crossing with the road running along the bank; slip ramps leading directly from the bridge (with „ears“) – this solution is recommended by the design draft – see Fig. 8.

A signalised intersection with the river bank road directly before the tunnel mouth; this solution is has been commonly used for Prague tunnels connecting perpendicularly to the main road – see the southern portal of the Letná tunnel, the portal of the Mrázovka tunnel at the exit to Radlická Street or the portal of the Těšnov tunnel. This solution was rejected with respect to the fact that the main direction of traffic on the diversion is from the bridge to the tunnel and turning left would require the application of turning lanes. When the predicted traffic volume is reached, columns of vehicles could develop before the lights, in the tunnel, which would mean increased demands on the tunnel ventilation system.

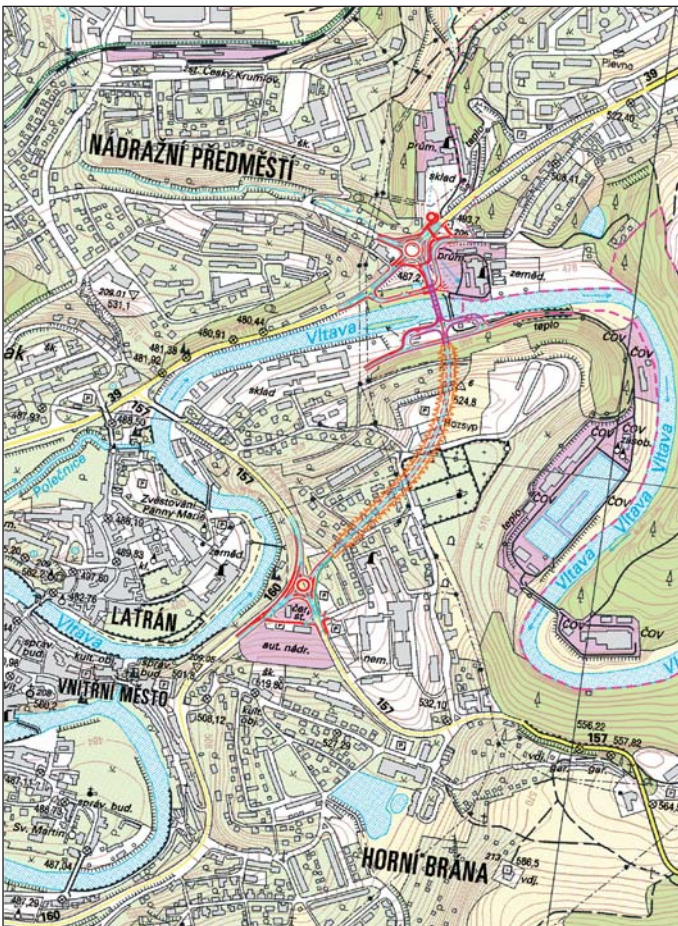
Architektonické a technické řešení mostu přes Vltavu bylo samostatnou částí této studie.

Směrnice Evropského parlamentu a rady 2004/54/ES o minimálních bezpečnostních požadavcích na tunely transevropské silniční sítě shrnuje opatření, která je třeba přijmout ke zlepšení bezpečnosti tunelů. I když je pro členské státy závazná jen v rozsahu transevropské silniční sítě, některé její požadavky lze jako doporučení aplikovat i u tunelů mimo tuto síť. V úvodu směrnice se praví: *Tunely delší než 500 m jsou významnými stavbami, které usnadňují spojení rozlehlých oblastí Evropy a hrají rozhodující úlohu ve fungování a rozvoji regionálních ekonomik.* Dále v čl. 3.1: *Členské státy zajistí, aby tunely na jejich území spadající do oblasti působnosti této směrnice vyhovovaly minimálním bezpečnostním požadavkům stanoveným v příloze 1.*

S výjimkou nouzového pruhu je stejný počet jízdních pruhů zachován uvnitř tunelu a mimo tunel. Každá změna v počtu pruhů má nastat v dostatečné vzdálenosti před portálem tunelu; tato vzdálenost je přinejmenším vzdáleností, kterou vozidlo nepřekračující povolenou rychlost ujede za 10 sekund. Jestliže to geografické prostředí nedovoluje, přijmou se dodatečná nebo zvýšená opatření ke zlepšení bezpečnosti. (Příloha č. 1, čl. 2.1.3). Toto znění bylo přijato i do ČSN 73 7507, čl. 7.1.5. Z této podmínky plyne, že k úpravě pruhů by mělo dojít nejbližší 140 m od portálu tunelu.

Délka rozhledu pro zastavení dle ČSN 73 6110 je pro danou návrhovou rychlost (50 km/h) a podélný sklon tunelu (2–3 %) navržena 35 m – z toho plyne, že umístění křižovatky přímo u portálu tunelu je zcela nevhodné.

Tyto zásady do značné míry předurčují dopravní řešení křižovatek před oběma portály, i když se vlastní výstavby tunelu přímo netýkají. Geografické podmínky, tj. omezené prostorové možnosti městského tunelu v zastavěném území, i zvažování nákladů na výstavbu a provoz, určují situační řešení trasy a vyzvojují potřebu uplatnění zvýšených bezpečnostních opatření, tj. např. nouzové chodníky, nouzové pruhy, šterbinové žlaby se samozhášecími kusy, nucené větrání, bezpečnostní vybavení včetně dopravního značení, řízení dopravy, výcviku složek integrovaného záchranného systému atd.



Obr. 8 Přehledná situace
Fig. 8 General plan view

A variant containing a roundabout in front of the northern portal was found unsuitable. This opinion was confirmed by the Police of the CR. This variant was examined as a solution contained in the land-use plan.

The architectural and engineering design for the bridge over the Vltava River was a separate part of this study.

The Directive of the European Parliament and of the Council 2004/54/ES on minimum safety requirements for tunnels in the Trans – European road network summarises the measures which should be adopted to improve safety in tunnels. Even though it is binding for member nations only as far as the trans-European road network is concerned, some of its requirements can be applied as recommendation even to tunnels outside this network. The introduction of the Directive states: *Long tunnels of over 500m in length are important structures which facilitate communication between large areas of Europe and play a decisive role in the functioning and development of regional economies.* Further, in clause 3.1: *Member states shall ensure that tunnels in their territory, falling within the scope of this Directive meet the minimum safety requirements laid down in Annex I.*

With the exception of the emergency lane, the same number of lanes shall be maintained inside and outside the tunnel. Any change in the number of lanes shall occur at a sufficient distance in front of the tunnel portal+ this distance shall be at least the distance covered in 10 seconds by a vehicle travelling at the speed limit. When geographic circumstances prevent this, additional and/or reinforced measures shall be taken to enhance safety. (Annex No. I, paragraph 2.1.3). This wording was even accepted for ČSN 73 7507, paragraph 7.1.5. It follows from this condition that changes in the configuration of traffic lanes should not be made closer to a tunnel portal than 140m.

Stopping sight distance from tunnel entry according to requirements of ČSN 73 6110 is designed for the given design speed (50km/h) and longitudinal gradient of the tunnel (2-3%) to be 35m. From whence it follows that the intersection location directly at the tunnel portal is absolutely unsuitable.

The above-mentioned principles significantly predetermine the traffic management scheme for the intersections in front of both portals, even though they do not directly relate to the tunnel construction itself. The geographical conditions, i.e. the constrained space available for an urban tunnel within a developed area, and the consideration of the costs of the construction and operation, determine the route layout and induce a need for implementing enhanced safety measures, e.g. emergency walkways, emergency lanes, slotted drains with self-extinguishing pieces, forced ventilation, safety equipment inclusive of road signalling, a traffic control system, training of components of the Integrated Rescue System etc.

CONCLUSION

The purpose of this study was to stabilise the route of the diversion road and assess it in terms of the location within the area of operations so that it meets future requirements and demands of traffic, both transit and regional, in terms of its viability when acceptable technical parameters are applied, to assess it in terms of environmental impacts and effectiveness of the construction costs to be incurred. The completed study will be used for the next designing stage, discussing the concept with respective authorities and the public. The study provides information about financial demands of the project and defines relationships with affected development areas contained in the land-use plan. This will allow the client to start negotiations with owners of the affected locations and land and solve relationships with the existing and planned development. Another significant condition was designing such a solution where safety requirements for the tunnel operation would meet the ever stricter generally binding standards in the long-term horizon.

There is even another impact of the construction and operation of the tunnel on the surroundings and existing infrastructure in the given location: the location for the construction facilities and the way of handling the muck. With respect to the expected volume of about 50 thousand m³ of muck, we recommend that an analysis of properties of the muck be carried out and its use for construction purposes be designed. Another possible way of using the muck is, for instance, reclamation of old quarries. Failing that, it will be necessary to find an acceptable location for disposing it. Further on, it is necessary for the tunnel operation to consider the necessity for constructing

ZÁVĚR

Účelem studie bylo stabilizovat trasu přeložky a její posouzení z hlediska umístění do zájmového území, aby odpovídala výhledovým požadavkům a nárokům dopravy jak tranzitní, tak regionální, realizovatelnosti s přijatelnými technickými parametry, posouzení z hlediska životního prostředí a efektivnosti vynaložených finančních prostředků na realizaci stavby. Zpracovaná studie bude využita pro další stupeň projektové přípravy, projednání záměru s dotčenými orgány veřejné správy i s veřejností. Studie podává informaci o finanční náročnosti projektu a určuje vazby na dotčené rozvojové lokality podle územního plánu. To umožní investorovi zahájit jednání s vlastníky dotčených lokalit a pozemků a vyřešit návaznost na okolní stávající i plánovanou zástavbu. Důležitou podmínkou bylo také navrhnout takové řešení, kde bezpečnostní požadavky na provoz tunelu vyhoví v dlouhodobém horizontu stále přísnějším obecně závazným předpisům a normám.

Výstavba a provoz tunelu mají však ještě další dopad na okolí i stávající infrastrukturu dotčené lokality. Při výstavbě je to umístění zařízení staveniště a způsob nakládání s vytěženou rubaninou. Vzhledem k předpokládanému objemu cca 50 tis. m³ vytěžené rubaniny doporučíme provést rozbor vlastností těženého kameniva a návrh jeho využití pro stavební účely. Dalším možným využitím rubaniny je např. rekultivace starých lomů. V opačném případě je třeba najít vhodné umístění pro jeho skládku. Pro provoz tunelu je pak třeba zvážit nutnost výstavby provozně-technologického objektu (PTO) u portálu tunelu, zřízení nástupních ploch pro jednotky integrovaného záchranného systému a napojení na řídicí centrum dopravy.

Výstavba tunelu je z hlediska investičních nákladů rozhodující součástí plánované přeložky silnice II/157, a proto by řešení navazujících komunikací, jejich křížení i mostu přes Vltavu mělo být podřízeno bezpečnostním rizikům i požadavkům na výstavbu a provoz tunelu.

Provedená ekonomická analýza ukazuje, že při odhadovaných stavebních nákladech 570 mil. Kč vychází projektová varianta ve srovnání s nulovou **nadstandardně ekonomicky příznivě**. Čistá současná hodnota (NPV) je větší než 0 (1080,74 mil. Kč), ekonomická návratnost (EiRR) je vyšší než diskontní sazba 6 % (20,3 %) a poměr přínosu k nákladům (BCR) je větší než 1 (3,22). Největším přínosem jsou časové úspory, které plynou ze snížení kongescí (dopravních zácp).

Všechny prvky návrhu tunelu ve studii, jako je tvar příčného řezu, směrové a výškové vedení, umístění portálů, rozsah hloubených a ražených částí, bývají většinou již pevně zafixovány do dalších stupňů projektové dokumentace. Proto je třeba jejich návrhu věnovat velkou pozornost, přestože na tuto fázi projektu není příliš finančních prostředků, a tudíž ani dostatek času na podrobné zpracování. Výstavba tunelu v Českém Krumlově výrazně přispěje ke zlepšení dopravní situace a zkvalitnění života ve městě, a to i přes technické problémy spojené s výstavbou ve stísněném prostředí historického města.

Dopravní dostupnost limituje rozvoj jednoho z nejkrásnějších měst na světě a tuto situaci je třeba urychleně zlepšit. Řešení předložené ve studii je jednoduché, bude působit okamžitě a bude splňovat zvyšující se dopravní nároky i v budoucnosti. Teď zbývá již jen odvaha učinit první krok, překonat zažitě postupy a dál prosazovat záměr, který město nasměruje k životu v moderní Evropě. Tato stavba mimo tradiční oblasti realizace velkých projektů je dobrým příkladem i pro výstavbu dalších tunelů v Čechách.

ING. VLADIMÍR PRAJZLER, vladimir.prajzler@ikpce.com,
ING. PAVEL PAŠKA, pavel.paska@ikpce.com,
ING. LUKÁŠ MAŠÍN, lukas.masin@ikpce.com,
ING. JIŘÍ ČINKA, jiri.cinka@ikpce.com,
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o., PRAHA
LUMÍR LUŠTICKÝ, lumir.lusticky@mu.ckrumlov.cz
MĚSTSKÝ ÚŘAD ČESKÝ KRUMLOV

Recenzoval: doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.



Obr. 9 Vizualizace portálu
Fig. 9 Visualisation of a portal

a service facility at the tunnel portal, establishing assembly areas for the Integrated Rescue System units and connecting the tunnel to a traffic management centre.

The tunnel construction is deciding part of the planned diversion of the II/157 road in terms of capital expenditures. The solution to connecting roads, their crossings and the bridge over the Vltava River should, therefore, be subordinated to the safety risks and requirements for the tunnel construction and operation.

The economic analysis which has been completed shows that, at the estimated construction cost of CZK 570 million, the design variant is **significantly economically favourable** compared to the zero variant. The Net Present Value (NPV) is higher than 0 (1080.74 million CZK), the Economic Internal Rate of Return (EiRR) is higher than the discount rate of 6% (20.3%) and the Benefit Cost Ratio (BCR) is higher than 1 (3.22). The greatest benefit is represented by savings in time, which follow from reduced traffic congestions.

All elements of the tunnel design contained in the study, such as the geometry of the cross section, the horizontal and vertical alignment, locations of portals or the extent of cut-and-cover and mined sections are usually firmly fixed for the subsequent design stages. It is therefore necessary to place great attention on designing them, despite the fact that the funds available to this designing stage are scarce, therefore even the time for detailed work is insufficient. The construction of the tunnel in Český Krumlov will significantly contribute to improving the traffic situation and increasing quality of life in the town, despite technical problems associated with the work in the constrained environment of a historic town.

Transport accessibility has been limiting the development of one of the most beautiful towns in the world. This situation must be promptly solved. The solution presented in the study is simple, its effect will be immediate and will meet increasing traffic demands in the future. Now, only the courage to make the first step, abandon rooted procedures and further press the concept which will direct the town toward the life in modern Europe remains to be gathered. This project is, apart from traditional implementation of large projects, a good promise even for construction of other tunnels in the Czech Republic.

ING. VLADIMÍR PRAJZLER, vladimir.prajzler@ikpce.com,
ING. PAVEL PAŠKA, pavel.paska@ikpce.com,
ING. LUKÁŠ MAŠÍN, lukas.masin@ikpce.com,
ING. JIŘÍ ČINKA, jiri.cinka@ikpce.com,
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o., PRAHA
LUMÍR LUŠTICKÝ, lumir.lusticky@mu.ckrumlov.cz
MĚSTSKÝ ÚŘAD ČESKÝ KRUMLOV

LITERATURA / REFERENCES

- [1] 48/08 Návrh Ujednání o porozumění se společností Škoda Auto, 21.4.2008
- [2] Akční plán pro komunikace na území Jihočeského kraje, 06/2008
- [3] Směrnice evropského parlamentu a rady 2004/54/ES o minimálních bezpečnostních požadavcích na tunely transevropské silniční sítě
- [4] ČSN 73 7507 Projektování tunelů pozemních komunikací (účinnost: 02/2006)
- [5] ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací (účinnost: 02/2006)
- [6] Směrnice evropského parlamentu a rady 2008/96/ES o řízení bezpečnosti silniční infrastruktury
- [7] F. Klepsatel, L. Mařík, M. Framkovský: Městské podzemní stavby, Bratislava 2005
- [8] F. Klepsatel, P. Kusý, L. Mařík: Výstavba tunelů ve sklaných horninách, Bratislava 2003