

PROJEKT NOVÉHO TŘEBOVICKÉHO TUNELU

THE NEW TŘEBOVICE TUNNEL PROJECT

Ing. PETR SVOBODA
ILF CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

ÚVOD

Optimalizace traťového úseku Krasíkov – Česká Třebová je součástí výstavby 2. železničního koridoru. Článek popisuje navržené technické řešení nového třebovického tunelu, který je součástí uvedeného traťového úseku. Stávající dvoukolejná trať je mezi stanicemi Třebovice a Rudoltice v Čechách vedena jako dvě samostatné, stavebně jednokolejné tratě. Kolej č. 2 provozovaná ve směru z Rudoltic do Třebovic prochází starým třebovickým tunelem. Kolej č. 1 vede po povrchu a je provozována ve směru z Třebovic do Rudoltic. Toto kolejové uspořádání vzniklo ve třicátých letech minulého století při zdvoukolejňování hlavních železničních tratí ve směru západ – východ s ohledem na sklonové poměry. Projekt stavby tunelu vypracovala firma ILF Consulting Engineers, s. r. o., jako subdodávku pro firmu Metroprojekt, a. s., která zpracovala projekt stavby celého traťového úseku.

INŽENÝRSKO-GEOLOGICKÉ POMĚRY

Geologické prostředí, v kterém bude realizována stavba, je tvořeno tercierními jíly tuhé až pevné konzistence s výskytem písčitých proplátek a čoček. Písečné polohy, uzavřené v nepropustném komplexu neogenních jílu, jsou zpravidla zvodnělé s napjatou hladinou podzemní vody. Kvartérní pokryv ležící na neogenních jílech tvoří antropogenní, fluvialní a fluviodeluvialní sedimenty o celkové mocnosti v ose tunelu od 2,8 do 10,3 m. Fluvialní sedimenty, zastoupené různě zrnitými písků, tvoří ve střední části projektovaného tunelu podstatnou část nadloží.

V těchto kvartérních fluvialních sedimentech se vytváří mělký kolektor spodní vody závislý na množství srážek. Hladina podzemní vody se v kvartérních sedimentech objevuje asi 1 – 7 m pod povrchem. Zjištěný výkyv hladiny, způsobený povrchovými srážkami, činil maximálně 1 – 1,5 m. V tercierních jílech je podzemní voda vázána téměř výhradně na písčité vložky a polohy s dobrou průlinovou propustností. Samotné jíly tvoří pro vodu prakticky nepropustné prostředí. Ve střední části tunelu průzkum zastihl v hloubce 21,0 m rozsáhlou akumulaci zvodnělých písků, vytvářejících významný kolektor se značnou kapacitou podzemní vody. Přítomnost zvodnělých poloh vytváří v tomto již tak staticky nekvalitním prostředí značný rizikový faktor.

Navážky většího rozsahu se vyskytují v blízkosti vjezdového portálu, kde je stávající železniční trať vedena na násypu. Násyp tvoří s největší pravděpodobností místní vytěžené kvartérní materiály, zejména soudržné zeminy charakteru šterkovitých jílu.

V místě vytěžené pískovny u komunikace první třídy I/43 Česká Třebová – Svitavy se nachází v současnosti již uzavřená skládka tuhého komunálního odpadu. Během provedeného průzkumu ani místním šetřením se nepodařilo



Obr. 1 Vizualizace - pohled na vjezdový třebovický portál
Fig. 1 Visualisation - a view of the Třebovice entrance portal

INTRODUCTION

The optimisation of the Krasíkov – Česká Třebová rail line section is part of the project of the Railway Corridor 2. The article describes the technical solution of the new Třebovice tunnel, located on the above-mentioned rail line section.

The existing double-track line between the Třebovice and Rudoltice v Čechách stations consists of two in terms of construction independent single-track lines. The track No.1, operates in the direction from Rudoltice to Třebovice, passes through the old Třebovice tunnel. The track No.1 operates from Třebovice to Rudoltice and leads at grade. This arrangement of the lines originated in the 1930s in the process of doubling of main railway tracks at the west-east direction with respect to their gradients.

The tunnel design was developed by ILF Consulting Engineers, s.r.o. as a sub-contract work for Metroprojekt a.s., who prepared the overall design of the whole rail line section.

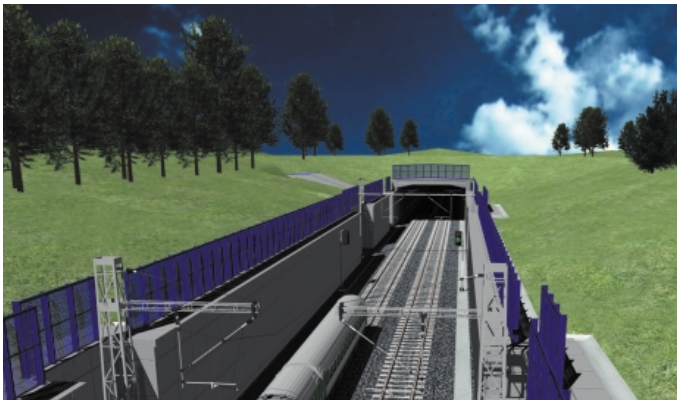
GEOLOGICAL CONDITIONS

Geology in which the construction will be carried out consists of Tertiary clays of stiff to solid consistency, with occurrence of sandy interbeds and lenses. The sandy interbeds, closed in an impermeable complex of Neogene clays, are usually water bearing, with confined groundwater level. The Quaternary nappe overlying the Neogene clays is formed by anthropogenic, fluvial and fluvial-diluvial sediments of a total thickness from 2.8 to 10.3 m at the tunnel axis. The fluvial sediments represented by various granular sands form a substantial part of the overburden at the central part of the designed tunnel.

A shallow groundwater collector, depending on the volume of precipitation, originates in these Quaternary fluvial sediments. The groundwater table appears about 1 – 7 m under the surface in the Quaternary sediments. A maximum movement of the groundwater table caused by atmospheric precipitations amounted to 1 – 1.5m. Groundwater in the Tertiary clays is nearly always connected with sandy inserts and interbeds with good intrinsic permeability. The clays proper create an environment virtually impermeable for water. The investigation encountered a vast accumulation of water bearing sands in the central part of the tunnel, at a depth of 21.0 m, forming a significant collector of a considerable ground water capacity. In terms of statics, the presence of the water bearing interbeds represents an important risk factor within this generally low quality environment.

Man-made fills of a greater extent occur in the vicinity of the exit portal, where there is the existing rail track on an embankment. Most likely the embankment consists of local excavated Quaternary materials, cohesive soils of a gravelly clays character above all.

A currently cancelled municipal solid waste landfill exists in the space of an abandoned sand pit near to the Česká Třebová – Svitavy I/43 primary road. The trials to determine both the exact extent of the landfill and the type of the waste during the investigation failed. The Consultant proposed execution



Obr. 6 Vizualizace - pohled na vjezdový portál a zárubní di
Fig. 6 Visualisation - A view of the entrance portal and retaining wall

Tab. 1 Fyzikálně-mechanické vlastnosti zastížených materiálů - charakteristické hodnoty
Table 1 Physical and mechanical properties of materials encountered - characteristic values

Parametr Parameter		1. Navážky Man-made fills	2. Písčité hlíny Sandy loams	3. Jíly s nízkou plasticitou Low plasticity clays	4. Písek jemně zrněný Poorly grained sand	5. Štěrky jílovité Clayey gravel	6. Jíl s vysokou plasticitou High plasticity clay	7. Jíl tuhý až pevný s vysokou až velmi vysokou plasticitou High to very high plasticity, stiff to solid clay	8. Písek jemně zrněný Poorly grained sand
Zatřídění dle ČSN 73 1001 Classification according to the CSN 73 1001		F3MSY, F4CSY	F3MSO	F6CL, F4CS	S2SP, S3SF	G2GC	F8CH, F2CG	F8CH, F8CV, F6CL	S2SP, S3SF
Objemová tíha vlhká Wet unit weight	γ_n (kN m ⁻³)	18,0	18,0	19,3	17,5	19,5	20,0	19,5	18,0
Modul přetvárnosti Modulus of deformation	E_{def} (MPa)	4	4	6	15	10	6	8 (7,9 - 15,0)	20
Poissonovo číslo Poisson's ratio	ν (1)	0,35	0,35	0,35	0,28	0,35	0,35	0,42	0,30
Totální úhel vnitřního tření Apparent angle of internal friction	φ_u (°)	0	0	0	-	-	0	0 (0,0 - 3,6)	-
Totální soudržnost Apparent cohesion intercept	C_u (kPa)	30	40	40	-	-	60	90 (50 - 140)	-
Efektivní úhel vnitřního tření Effective angle of internal friction	φ_{ef} (°)	17	25	25	29	25	17	15 (12,2 - 18,4)	30
Efektivní soudržnost Effective cohesion	C_{ef} (kPa)	10	18	20	0	10	20	23 (13 - 26)	0
Lineární bobtnavost Linear swelling property	b (kPa)	0,80	-	-	-	-	-	7 (1,3 - 22,6)	-
Bobtnací tlak v oedometru Swelling pressure in oedometer	(kPa)	-	-	-	-	-	-	120 (82 - 276)	-
Obsah organických látek Organic content	(%)	-	-	-	-	-	-	5 (1,5 - 14)	-

zjistit přesný rozsah skládky ani typ ukládaného odpadu. Pro zjištění alespoň přibližného rozsahu skládky navrhl zpracovatel dokumentace geofyzikální měření. Základní geotechnické parametry uvádí tab. 1.

STARÝ TUNEL

Ve vzdálenosti 120 m od nově navrhované trasy se nachází starý třebovický tunel. Archivní materiály a zkušenosti našich předků poskytly cenné informace o horninovém prostředí a těžkostech spojených jak s výstavbou tunelu, tak i předportálových zářezů. Stavebně a prostorově již nevyhovující tunel byl vybudován jádrovou metodou v letech 1842 – 1845 jako dvoukolejný za velkého pracovního nasazení a obětí všech zúčastněných. Během stavby došlo k více než pětinašobnému překročení rozpočtu. Ještě před zahájením ražby tunelu navrhl inspektor Negrelli zřízení tunelu v otevřeném zářezu. Proti této variantě stála celá řada námitek a zejména pak poukaz na obtíže

of geophysical measurements to determine the landfill extent at least approximately.

EXISTING TUNNEL

The existing Třebovice Tunnel is located at a 120m distance from the newly designed route. Archive documents and our ancestors' experience provided valuable information on the ground and the troubles connected with both the tunnel and pre-portal open cuts construction. The tunnel, inadequate in terms of its structure and space arrangement, was built using the German system within the years 1842 – 1845 as a double-track tunnel, with an immense endeavour and sacrifices by all participants. The budget was crossed more than fivefold. Inspector Negrelli had proposed that the tunnel construction be built in an open cut even before the tunnel excavation was started. A series of objections against this variant were raised, primarily an idea of the troubles connected with the construction of much smaller cuts at the tunnel portals. Also a construction of a deep cut instead of the tunnel was refused

spojené s výstavbou mnohem menších zářezů na portálech tunelu. Rovněž zřízení hlubokého zářezu na místo tunelu bylo odmítnuto s ohledem na vysoké náklady na údržbu a zajištění průjezdnosti.

Při ražbě a při zdění ostění způsobovalo velké problémy nestabilní horninové prostředí. V modrém plastickém jílu se za přítomnosti vzduchu opět nastartovaly velkým tlakem pozastavené hnilobné procesy. Navíc byl jíl vydatně dotován podzemní vodou z písčitých proplásků a čoček, z kvartérních pokryvů, ale i srážkovou vodou přiváděnou do podzemí těžními a přístupovými šachtami. Působením vody a vzduchu měnil jíl svoji konzistenci a bobtnal. Zemní jádro ponechané uprostřed tunelu jako opora pro výdřevu nevzdorovalo dostatečně zemním tlakům, výdřeva praskala. Zdivo patek klenby se bořilo do rozmáčeného jílu. Výstavba tunelu délky 508 m trvala 31 měsíců.

Krátce po zahájení provozu se však objevily závady na obezdívce, které vedly na některých místech k zajištění tunelu výdřevou a pečlivému sledování poruch. Situace vyvrcholila rozhodnutím o opuštění tunelu a zřízení objízdné trasy po povrchu se zahájením provozu v roce 1866.

Po vzniku Československé republiky bylo rozhodnuto tunel obnovit a provozovat v něm jednu z kolejí zdvoukolejněně tratě Olomouc – Česká Třebová. Tunel byl částečně znovu vyražen a opatřen novou obezdívkou. Profil tunelu měl napříště zůstat už pouze jednokolejný. Obnova tunelu trvala 24 měsíců. Směrové a výškové vedení koleje č. 2 umožnilo převést železniční trať přes sedlo u Třebovic ve směru Rudoltice – Třebovice příznivějšími sklonovými poměry.

NOVÝ TUNEL

Nový třebovický tunel délky 550 m se nachází v širokém plochem sedle tzv. Třebovské bráně, využívané již od pradávna jako dopravní cesty. Tunel je situovaný jižně od tunelu stávajícího, podchází vzdušné vedení 22 kV, silnici I/43 Česká Třebová – Svitavy a kolej č. 1 stávající trati Krasíkov – Česká Třebová. Tunel leží částečně v přímé a částečně ve směrovém oblouku o poloměru 850 m.

S ohledem na inženýrsko-geologické poměry dotčené lokality a dochované materiály o stavbě a rekonstrukci starého třebovického tunelu jsme zvažovali několik variant výstavby nového tunelu nebo i zřízení hlubokého zářezu. Vzhledem k dříve schválenému směrovému a výškovému vedení trasy byl vyloučen hluboký otevřený zářez. Z celé řady možností, od zřízení tunelu v otevřené stavební jámě po cyklickou ražbu pod ochranou klenby vytvořené mikrotunelováním popř. zmrazováním horniny, zvítězila metoda kombinující hloubení s ražbou pod ochranou stropní desky a podzemních stěn. Jedná se tedy o použití metody „želva“.

Zpracování celého projektu tunelu probíhalo pomocí počítače. Výhody digi-

because of the high cost of maintenance and problems in ensuring its passability.

The instable ground caused serious troubles in the course of the tunnel drive and masonry work. Putrefactive processes in the blue plastic clay, which had been suspended as a result of the high pressure, resumed in the presence of air. In addition, groundwater was amply supplied to the clay by sandy interbeds and lenses, the Quaternary cover, but also by storms bringing water underground through hoisting shafts and access adits. The clay changed its consistency and swelled by the presence of water and air. A ground core left in the tunnel centre as a support for timbering failed to resist the ground pressures sufficiently, the timbering broke. The masonry of the vault footings sunk into soaked clay. The 508m-long tunnel construction took 31 months.

Shortly after the tunnel operation commencing, defects in the lining appeared, resulting at specific locations in a necessity to support the tunnel by timbering and monitor the defects carefully. The situation culminated by a decision to abandon the tunnel and establish surface diversion routes, with the operation beginning in 1866.

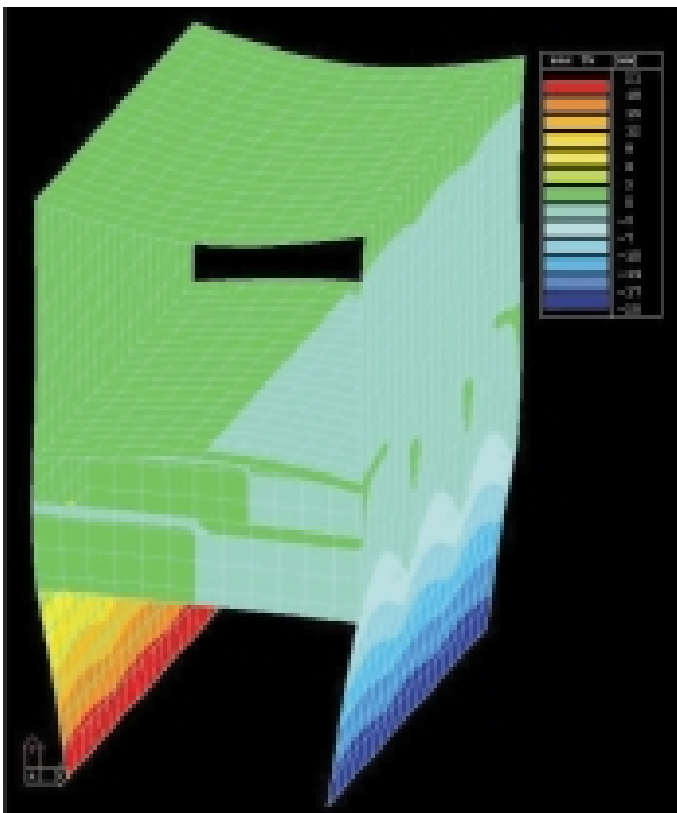
After the Czechoslovak Republic origination, it was decided that the tunnel would be restored and one of its two tracks operated on the Olomouc – Česká Třebová double-track line. The tunnel was partially re-excavated and equipped with a new liner. For the future, one track was to remain in the tunnel cross section only. The tunnel reconstruction took 24 months. The horizontal and vertical alignment of the track No.2 allowed the rail track to find more favourable gradient conditions for passing over the col at Třebovice in the direction from Rudoltice to Třebovice.

THE NEW TUNNEL

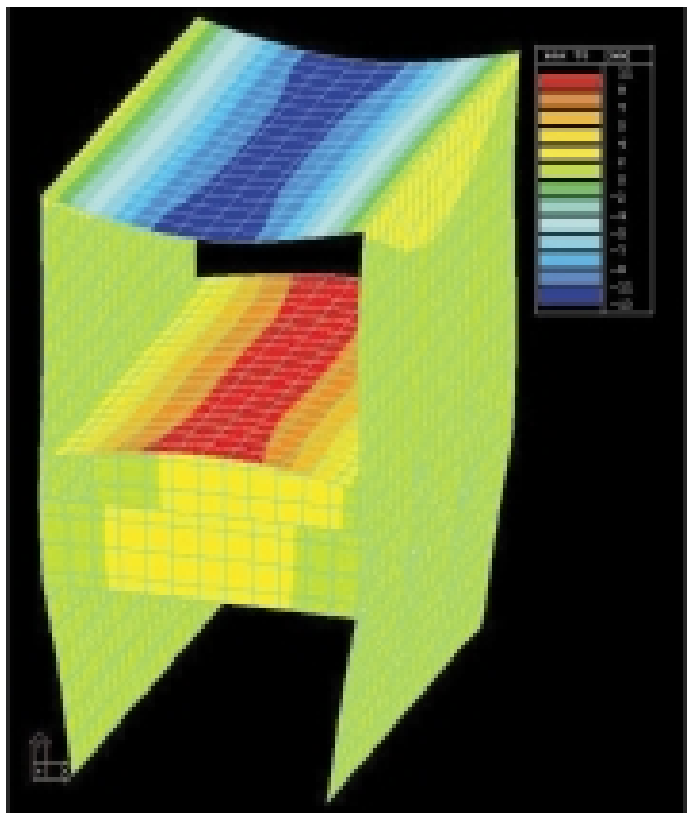
The new 550m long Třebovice tunnel is placed in a wide flat col, so-called Třebovice Gate, used as a transport route from of old. The tunnel is situated to the north of the existing tunnel. It passes under a 22 kV aerial line, the I/43 Česká Třebová – Svitavy road, and the track No.1 of the existing rail line Krasíkov – Česká Třebová. The tunnel is partially straight, partially in an 850 m radius curve.

We have considered several variants of the new tunnel construction, or even establishment of a deep open cut because of the engineering geological conditions of the given location and preserved documents on the existing Třebovice tunnel construction and reconstruction. The deep open cut has been excluded with respect to the horizontal and vertical alignment approved previously. A combination of cut-and-cover method and excavation under the protection of a roof deck and diaphragm walls, i.e. the "Turtle" method has won out of the number of options, starting from the tunnel construction in an open box to a cyclic excavation under the protection of a vault created by microtunnelling or ground freezing.

The whole design was developed using computer. Advantages of digital processing proved primarily in the earthwork design. A survey of the actual shape of the area surface served in establishing the surface digital model.



Obr. 2 Statický výpočet - vodorovné deformace
Fig. 2 Structural analysis - horizontal deformations



Obr. 3 Statický výpočet - svislé deformace
Fig. 3 Structural analysis - vertical deformations

tálního zpracování se projevily zejména u návrhu zemních prací. Pro vytvoření digitálního modelu terénu sloužilo geodetické zaměření skutečného tvaru stávajícího povrchu území. Model potom umožnil provést 3D návrh stavební jámy včetně rozdělení na jednotlivé etapy odtěžování a zpětného přesypání konstrukce.

POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ A PŘÍČNÝ ŘEZ

V podélném směru se tunel dělí na 44 tunelových pásů. Tunelovou troubu tvoří dvě řady podzemních stěn, prostě uložená stropní deska a částečně vetknutá deska spodní. Pouze portálový pás P2 (výjezdový, rudoltický portál) je budován v otevřené stavební jámě jako uzavřený rám. Délka bloku betonáže spodní (resp. horní) desky 12,5 m odpovídá délce tunelového pásu. Délka jedné lamely podzemní stěny je 6,25 m, tzn. dvě lamely v jednom pásu. Všechny vzdálenosti jsou měřeny na ose tunelu.

V místech zámků podélných lamel jsou pod úrovní dna tunelu vybudovány lamely příčné, rozpěrné. Na nutnost rozeprít podzemní stěny i ve spodní úrovni ještě před začátkem ražby poukázal statický výpočet (obr. 2 Statický výpočet - vodorovné deformace, obr. 3 Statický výpočet - svislé deformace). Rozepráním podzemních stěn lamelami zajišťuje stabilitu podélných podzemních stěn v předstihu již v okamžiku zahájení ražby. Zároveň odpadá složitá manipulace s rozpěrami pod stropní deskou tunelu.

Z hlediska použité nosné konstrukce je tunel rozdělen na dva typy, které se liší tloušťkou stropní desky a hloubkou podzemních stěn. Použití příslušného typu konstrukce odpovídá výšce nadloží a tunel dělí na tři úseky (části). V první části dlouhé 125 m má stropní deska výšku 900 mm, podzemní stěny o tloušťce 800 mm jsou hluboké 18 m. Ve střední části o délce 312,5 m mají podzemní stěny hloubku 20 m a výška stropní desky 1200 mm. Poslední třetí část délky 100 m má dimenze jednotlivých konstrukcí stejně jako část první. Spodní deska je po celé délce tunelu vysoká 1500 mm.

Příčný řez tunelu je navržen pro „Sdružený tunelový průjezdný průřez pro elektrizovanou trať“ s pojistným prostorem 300 mm podle návrhu normy ČSN 73 7508 – Železniční tunely. Nutné rozměry vnitřního teoretického líce ovlivňuje dále převýšení koleje 135 mm a výrobní tolerance podzemních stěn. Osa tunelu odvozená pro potřeby výstavby z os kolejí č. 1 a 2 je o 130 mm odsazená od osy kolejí (obr. 4 Příčný řez tunelu v podzemních stěnách). Tunel je vybaven záchrannými výklenky situovanými vstřícně po obou stranách tunelu. Vzdálenost výklenků je 25 m měřeno na ose tunelu. Ve výklencích jsou dále umístěny kabelové šachty a v každém druhém šachty s výtokovými ventily požárního suchovodu, zásuvky pro odběr elektrické energie a vypínače osvětlení (obr. 5 Půdorys výklenků).

Požární suchovod je stejně jako devítiovorové kabelové multikanály pro převod slaboproudých a silnoproudých vedení zabetonován do pochozí stezky o šířce 900 mm. Další bezpečnostní prvek představuje madlo osazené po obou stranách tunelu.

Trakční vedení je zavěšeno na nosných konzolách připevněných k boku ostění pomocí vysokopevnostních ocelových kotev \varnothing 20 mm, resp. \varnothing 16 mm, osazovaných do vrtů v železobetonovém ostění z betonu C25/30 dodatečně.

Odvodnění kolejového lože je řešeno v příčném směru vspádováním výplňového betonu pod kolejovým ložem od středu tunelu ve sklonu 3 % k postraním tunelovým stokám uloženým v drážce vytvořené ve spodní desce tunelu. Zde je umístěna drenážní roura o \varnothing 200 mm s plochým dnem. Voda je v podélném směru svedena ve sklonu tratě cca 7 % k rudoltickému (výjezdovému) portálu.

Podél podzemních stěn definitivního ostění jsou v pochozí stezce navrženy podélné odvodňovací žlaby. Úkolem těchto žlabů je zachytit případné průsaký přes ostění tunelu a zabránit tak namrzání pochozí stezky v zimním období.



Obr. 7 Vizualizace - ostění tunelu
Fig. 7 Visualisation - the tunnel liner

Subsequently the model allowed development of a 3D design of the construction pit, including its division into individual phases of excavation and backfilling of the structure.

THE STRUCTURAL SOLUTION AND CROSS SECTION DESCRIPTION

Longitudinally, the tunnel is divided into 44 tunnel belts. The tunnel tube consists of two rows of diaphragm walls, partially supported roof deck and partially restrained bottom slab. The P2 portal belt (exit, the Rudoltice portal) is built in an open pit as a closed frame. The length of one casting block of the bottom (or roof) slab of 12.5m corresponds to the width of one tunnel belt. The length of one panel of the diaphragm wall is 6.5 m, i.e. two panels are in one belt. All distances are measured at the tunnel axis.

Transversal bracing panels are constructed under the bottom level at the locations of the longitudinal panels' interlocking. The necessity of bracing the diaphragm walls also under the bottom level even before the excavation beginning was shown by the structural analysis. (Fig. 2 Structural analysis – horizontal deformations, Fig. 3 Structural analysis – vertical deformations) The bracing of the diaphragm walls by the panels provides the stability of the longitudinal diaphragm walls already at the moment of the excavation operations beginning. In the same time the complex handling braces under the tunnel roof deck is avoided.

From the load bearing structure aspect, the tunnel is divided into two types differing in the roof deck thickness and the diaphragm walls depth. Application of the particular type of structure depends on the overburden thickness. The tunnel is divided into three sections (parts). For the first section 125 m long, the deck is 900 mm thick, and 800 mm-thick diaphragm walls are 18 m deep. Diaphragm walls are 20 m deep and the roof deck 1,200 mm thick in the 312.5 m long central part. The last part, the third one, is 100 m long, and the dimensions of its individual structures are identical with those of the first part. The bottom slab is 1,500 mm thick along the whole length of the tunnel.

The tunnel cross section has been designed for the "Combined tunnel structure clearance for electrified railway" with a safety space of 300 mm, according to the draft standard ČSN 73 7508 – Rail Tunnels. In addition, the required dimensions of theoretical internal surface are affected by the track superelevation of 135 mm and manufacturing tolerances of diaphragm walls. The tunnel axis design, deduced for the construction needs from the axes of the tracks No. 1 and 2 is offset from the tracks' axes by 130 mm. (Fig. 4 Cross section through the tunnel at the diaphragm walls)

The tunnel is equipped with safety recesses situated in a non-staggered manner along either side of the tunnel. The recesses spacing is 25 m, measured on the tunnel axis. The recesses also contain cable shafts, and, in each other recess, shafts with outlet valves of fire dry piping system, electric outlets and light switches. (Fig.5 Recesses layout)

The fire dry piping is, same as the nine-way cable multiple cable ducts for low tension and power lines, embedded in the 900 mm wide concrete emergency walkway. Another safety element is a handrail installed along both sides of the tunnel.

Traction mains are suspended on carrier brackets fixed to the lining sides by means of high-strength steel anchors 20 mm or 16 mm in diameter, inserted subsequently into holes drilled into the C25/C30 reinforced concrete liner.

Rail bed drainage system has been solved by 3 % transversal sloping of blinding concrete under the rail bed from the tunnel axis to side tunnel ducts laid in a groove created in the tunnel bottom slab. There are drainage pipes 200 mm in diameter with flat bottom laid there. Longitudinally, water is led at the track gradient of about 7 % to the Rudoltice exit portal.

Longitudinal drainage ducts in the escape walkway have been designed along the diaphragm walls of the final lining. The purpose of those ducts is to intercept potential leakage through the tunnel lining, thus to prevent formation of ice on the escape walkway in winter season.



Obr. 8 Vizualizace - výjezdový rudoltický portál
Fig. 8 Visualisation - the Rudoltice exit portal

TECHNOLOGIE VÝSTAVBY

Práce na povrchu

Všechny práce prováděné z povrchu musí být z důvodu přeložky komunikace I/43 Svitavy – Česká Třebová rozděleny na dvě etapy.

Nejdříve se zhotoví objízdná komunikace a potom budou zahájeny práce na části jámy u rudoltického portálu tunelu. První fází je odtěžení stavební jámy na úroveň pro hloubení podzemních stěn. Stavební jáma bude odtěžována postupně po jednotlivých etážích na úroveň asi 426 m n. m. Výška jednotlivých etáží rozdělených 1,5 m širokými lavicemi nepřesahuje 4 m. Stabilitu všech etáží zajišťuje jednotný sklon 1 : 2 a 100 mm stříkaného betonu s jednou výtuznou sítí. Druhou etáž navrženou v písčitéch sedimentech (S2SP, S3SF) navíc zajišťují zarážené hřeby \varnothing 25 mm a délky 4 m.

Během odtěžování první části stavební jámy dojde k odkrytí skládky TKO. Podle geofyzikálních měření dno skládky zhruba odpovídá dnu stavební jámy. Vzhledem k neznámému charakteru uloženého odpadu musí přímo na místě rozhodnout o jeho zpracování kvalifikovaný pracovník.

Z úrovně dna stavební jámy budou do předem připravených vodicích zádek hloubeny a betonovány podzemní stěny po jednotlivých lamelách. Podélné železobetonové lamely ostění tunelu z betonu C25/30 a s výtuzí 10 505 (R) mají délku 6,25 m. Současně s lamelami tunelového ostění jsou v místech zámků lamel podélných betonovány rozpěrné lamely příčné z prostého betonu. Nosnou část rozpěrné lamely tvoří beton C25/30. Zbývající část lamely, určenou k vybourání při ražbě tunelu, vyplňuje beton C8/10.

Po úpravě koruny jednotlivých lamel se na upravený terén mezi podzemní stěny vybetonuje vrstva podkladního betonu, položí se separační PE folie a následně smontuje výtuz. Upravená koruna podzemních stěn bude ošetřena krystalizačním nástřikem. Do budoucí spáry se přípevní expanzní těsnicí pásy.

Na upravený terén je vybetonována stropní deska tunelu. Délka bloku betonáže desky odpovídá délce tunelového pásu a činí 12,5 m. Po odbednění je do připravených žlábků ztuhlým krystalizačním tmel a vnější lic stropní desky se ošetří krystalizačním nástřikem. Následně se okolo stropní desky zřídí jílové těsnění a deska je zpětně přesypana do tvaru původního terénu. Po provedení první fáze výstavby je komunikace I/43 Svitavy – Česká Třebová přeložena zpět do své původní osy a celý postup se opakuje na straně tunelu blíže k třebovickému portálu.

Práce pod ochranou stropní desky a podzemních stěn

Po ukončení zpětných zásepů následuje od rudoltického portálu dovrchní ražba kaloty tunelu. Úroveň dna kaloty je +0,574 od TK. Rozhodující roli hraje ochrana dna před poškozením těžkou dopravou, ale i před rozmáčením technologickou vodou nebo vodou z pískových čoček. Maximální délku záběru v kalotě určuje vzdálenost příčných rozpěrných lamel. Bezpečnost ražby zvyšují 10 m dlouhé průzkumné předvrty prováděné v předstihu pro zjištění a odvodnění zvodnělých poloh písků. Kalota bude odtěžena v celé délce tunelu.

Ražba druhé etáže probíhá ze dna kaloty s ústupem. Provizorní zajištění dna betonem C16/20 s výtuznou sítí následuje ihned po odtěžení. S minimálním technologickým odstupem za provizorním zajištěním musí být provedena betonáž spodní desky definitivního dna tunelu.

Před montáží výtuz se ošetří pracovní spáry krystalizačními nátěry a osadí těsnicí expanzní pásy. Po montáží výtuz je na povrch betonu provizorního zajištění dna aplikován krystalizační nástřik. Po zabetonování čela se vybetonuje 12,5 m dlouhý blok spodní desky.

Do předem připravených žlábků u pracovních spár bude ztuhlým krystalizačním tmel. Zároveň se zatmelí i spáry zámků jednotlivých lamel podzemních stěn. Na očištěný povrch podzemních stěn je nanášen krystalizační nátěr.

Hloubený tunel

Tunelový pás P2, rudoltický (výjezdový) portál je budován v otevřené stavební jámě jako hloubený tunel. Technologie vyplývá z nevhodných terénních podmínek pro budování podzemních stěn. Stabilitu jámy zajišťuje kotvená pilotová stěna. Návrh pilotové stěny je vyvolán nutností zajistit základ mostního provizoria převádějící po dobu výstavby kolej č. 1.

IZOLACE, VODOTĚSNOST OSTĚNÍ

Ostění tunelu navržené jako jednoplašťové z betonu odolného proti průsakům vody přebírá a plní mimo funkce nosné i funkci izolace. Pro posílení vodotěsnosti betonového ostění budou aplikovány na ostění krystalizační nátěry. Jedná se o doposud největší použití těchto materiálů v síti Českých drah.

Krystalické materiály jsou práškové kompozity na bázi portlandského cementu, velmi jemného křemičitého písku a mnoha aktivních chemikálií.

CONSTRUCTION METHOD

Surface operations

All operations performed from the surface have to be divided into two stages due to the I/43 road from Svitavy to Česká Třebová diversion.

First, the diversion road is to be built, and then the work on the pit at the Rudoltice tunnel portal can be started. The first stage consists in excavation of the construction pit to the level required for the diaphragm walls excavation. The construction pit will be excavated progressively, banquet by banquet, to a level of about 426 m a.s.l. The thickness of particular banquets divided by 1.5 m wide benches does not exceed 4 m. Stability of all banquets is ensured by a unified slope of 1:2 and 100 mm thick shotcrete with one layer of reinforcing mesh. In addition, the second banquet designed in sandy sediments (S2SP, S3SF) is supported by 4m long driven spiles 25 mm in diameter.

The municipal solid waste landfill will be uncovered in the course of the first part of the construction pit excavation. According to the geophysical survey, the landfill bottom roughly corresponds to the construction pit bottom. Because of the fact that the character of the deposited waste is unknown, a qualified professional has to decide on its processing just on the spot.

The diaphragm walls will be excavated and cast one panel after the other in a guide trench pre-prepared at the construction pit bottom level. The longitudinal C25/30 reinforced concrete panels with 10 505 (R) reinforcement are 6.25 m long. Concurrently with the tunnel lining panels, bracing transversal concrete panels are cast at the locations of the longitudinal panels locks, made from plain concrete. The load bearing part of the bracing panel is from C25/30 concrete. Remaining part of the panel, which is to be broken during the tunnel excavation, is from C8/10 concrete.

After treating the crowns of individual panels, a layer of blinding concrete will be poured on levelled ground between the diaphragm walls, a separation PE membrane will be placed, followed by reinforcement bars. The treated crown of the diaphragm walls will be provided with crystalline spray. Sealing bands will be fixed to the future joint.

The concrete tunnel roof deck is cast on the levelled ground. The length of 12.5 m of one block of deck built within one pouring operation corresponds to the width of one tunnel belt. After stripping the form a crystalline compound is compacted in prepared grooves, and external surface of the roof deck is provided with crystalline spray. Subsequently clay sealing is carried out around the roof deck, and the slab is backfilled to the original terrain shape. After completion of the construction phase one the I/43 road Svitavy – Česká Třebová will be relocated back to its original alignment, and the whole procedure will be repeated on the tunnel side closer to the Třebovice portal.

Operations under the protection of the roof deck and diaphragm walls

Uphill top heading excavation follows after completion of the backfills. The top heading bottom level is 0.574 above the top of rail level. Protection of the bottom against damage by heavy traffic or soaking with technological water or water from the sand lenses plays a deciding role. Maximum length of advances at the top heading depends on the distance of transversal bracing panels. The excavation safety is improved by 10 m long investigation boreholes drilled in advance to determine and drain water bearing sand interbeds. The top heading will be excavated within the overall tunnel length.

The excavation of the second banquet is carried out from the top heading bottom, at some distance. Temporary support of the bottom by C16/20 concrete with steel mesh follows just after the excavation. The bottom slab of the final invert has to be cast with a minimum technological break after the temporary support. Day joints are treated by crystalline spray before reinforcement placement, and expansion sealing strips are installed. Crystalline spray is applied on the concrete of the bottom temporary support after the reinforcement placement. The 12.5 m long block of the bottom slab is cast when the formwork stop end has been installed.

Crystalline compound will be compacted in pre-prepared grooves in the day joints. In the same time the interlocking joints between individual panels of the diaphragm walls are filled with the sealing compound. The crystalline spray is applied on cleaned surface of the diaphragm walls.

Cut-and-cover tunnel

The tunnel belt P2, i.e. the Rudoltice exit portal, is built in an open box excavation as a cut-and-cover tunnel. The technique follows from terrain conditions unsuitable for construction of diaphragm walls. The box stability is ensured by an anchored pile wall. The pile wall has been designed because of a necessity to provide foundation of a temporary bridge bearing the track No.1 during the construction time.

INSULATION, WATER-TIGHTNESS OF THE LINING

Apart from the load bearing function, the single pass tunnel lining, designed from water leakage resisting concrete, assumes and discharges the function of insulation. To improve the concrete liner's watertightness, crystalline paints will be applied on the liner. This has been a case of the largest scope of application of those materials throughout the network of České Dráhy (Czech Railways).

Před aplikací se směs míchá s vodou, čímž vznikne kašovitá směs, která se formou nátěru nebo nástřiku aplikuje na povrch betonu. Chemikálie vyvolají katalytickou reakci, způsobující tvorbu nerozpustných vláknitých krystalů v pórech a kapilárách betonu. Samotná vrstva krystalického nátěru nemá těsnicí funkci, beton se dotěsní přímo uvnitř kapilární struktury proti průnikům kapalin ve všech směrech. K aktivaci potřebují krystalizační látky vodu pronikající do konstrukce. Jedná se v podstatě o nosič aktivních chemických látek. Není to tedy povrchová izolace.

Krystalizační nátěr se aplikuje vždy na dostupné plochy ostění, tzn. horní líc stropní desky, vnitřní líc podzemních stěn a horní líc provizorního zajištění dna.

Na povrch pracovní spáry je opět použit nátěr krystalizačním materiálem jako základní opatření proti průniku vody. Do každé spáry se osadí dva expanzní těsnicí pásy a po zabetonování druhé části konstrukce se do předem připraveného nebo do ostění vysekaného pozláčku ve tvaru „U“ ztuhne krystalizační tmel. Ten zde plní funkci pojistky při selhání expanzních pásků. Všechny spáry zámků lamel se vysekají na zdravý beton a spáry budou dotěsněny krystalizačním tmelem.

NÁVRH GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU

Kontrolní geotechnické sledování během výstavby je rozděleno na systém povrchového sledování během hloubení stavební jámy a měřicí systémy během ražby.

V rámci realizace povrchových zemních prací navrhujeme pro sledování chování horninového masivu standardní geodetickou metodu. Systém měření spočívá ve vytvoření měřicích profilů z pevných bodů, jejichž posun v čase se sleduje a vyhodnocuje. V jednotlivých profilech se po obou stranách stavební jámy rozmístí celkem šest pevných geodetických bodů. Ostatní metody použitelné z povrchu, jako např. inklinometrické vrty realizované na dně stavební jámy v těsné blízkosti podzemních stěn, jsme s ohledem na pochybné zajištění funkčnosti po zasypání jámy vyloučili.

Monitoring realizovaný z tunelu během ražby slouží k měření deformací železobetonové konstrukce a změn v okolním geologickém prostředí, vyvolaných touto činností. Ke zjištění velikosti deformací včetně vývoje deformací a následnému porovnání s výpočtovými hodnotami jsou navržena geodetická měření, doplněná měřeními deformačními. Tato měření zajišťují malé strunové deformetry ve stropní a spodní desce a tyčové strunové deformetry v podzemních stěnách.

Při sledování změn v geologickém prostředí se omezujeme na sledování otevřeného dna tunelu. Při sledování deformací dna se jedná především o kluzný deformetr. Toto zařízení umožňuje monitorovat axiální deformace (zkrácení příp. prodloužení) podél měřené přímky, kterou představuje speciálně vystrojený svislý vrt v geologickém prostředí. Samotný měřicí přístroj je přenosná sonda a měření mají etapový charakter.

Pro doplnění informací ze dna hloubeného tunelu jsou navržena měřidla pórového tlaku. Předpokládáme, že vztlak působící na dno tunelu se projeví poklesem pórových tlaků, další vývoj pórových tlaků očekáváme při následném zatížení spodní deskou a konsolidací jílu v podzákladí. Osazení měřidel předpokládáme zatlačením přímo do odkrytého dna před pokládkou podkladního betonu. Navrhujeme použití piezometrů se strunovým čidlem na snímání tlaku vstupující vody.

ZÁVĚR

Nový třebovický tunel je objemem investičních nákladů určitě jedním z největších stavebních objektů v rámci modernizace koridorových tratí v České republice. Jedná se zároveň o dílo unikátní kubaturou budovaných podzemních stěn, navrženým jednopláštvým ostěním i rozsahem použitých krystalizačních nátěrů.

Realizace stavby klade velké nároky na koordinaci jednotlivých stavebních postupů, ale i kvalitu prováděných prací. Naší snahou bylo maximálně zjednodušit konstrukční řešení, a tím vlastní provádění stavebních prací. Přesto bude záležet na všech účastnících výstavby a především na technickém dozoru investora, zda bude tunel realizován v požadovaném termínu i kvalitě. Tak bude konečně po více než 150 letech realizován záměr inženýrů budujících dráhu z Olomouce do Prahy převést trať sedlem u Třebovic dvoukolejným tunelem.

LITERATURA:

Hons Josef - Velká cesta (1947)

ČD, DDC Optimalizace traťového úseku Krasíkov - Česká Třebová, „nový třebovický tunel“ - podrobný geotechnický průzkum. GeoTec-GS, a. s., leden 2001

ČD, DDC Optimalizace traťového úseku Krasíkov - Česká Třebová, „nový třebovický tunel“ - doplňkový geotechnický průzkum. GeoTec-GS, a. s., září 2001

ČD, DDC Optimalizace traťového úseku Krasíkov - Česká Třebová, SO 55-21-01 Tunel Třebovice II, projekt stavby, ILF Consulting Engineers, říjen 2001

Crystalline materials are powder composites based on Portland cement, very fine silica sand and many other active chemicals. Before application the mixture is mixed with water. Resulting slurry is applied on concrete surface by brushing or spraying. The chemicals bring on a catalytic reaction causing development of insoluble fibrous crystals in concrete pores and capillaries. A layer of the crystalline paint itself does not exhibit the sealing function. Concrete is sealed against liquid leaking in all directions just inside its capillary structure. Any crystalline substance needs water seeping into the structure for its activation. Basically it is a carrier of active chemicals. It is no surface insulation.

Crystalline paint is always applied to accessible surfaces of the lining, i.e. to the upper surface of the roof deck, internal face of diaphragm walls and upper face of temporary bottom support.

The day joint surface is again treated with the crystalline substance paint as a basic measure against water leaking. Two expansion sealing bands are installed into each joint, and when the other part of the structure is cast, crystalline compound is compacted in an in advance prepared groove or in a U-shape groove pre-cut in the lining. The compound fulfils a function of insurance in case of the expansion strips failure.

All joints at the panels interlocking are to be cut out up to sound concrete, and the joints sealed by the crystalline compound.

GEOTECHNICAL MONITORING PROPOSAL

The checking geotechnical monitoring performed in the course of the construction works is divided into a system of surface monitoring during the construction pit excavation, and measurement systems during the excavation. In the framework of execution of surface earthworks, we propose the monitoring of the rock mass by standard surveying method. The measurement system consists in establishment of measurement profiles, whose movement with time is observed and assessed. Six firm surveying points are installed in individual profiles along either side of the box excavation. With respect to an uncertainty in securing their function after the open box back-filling, we excluded the other methods applicable from the surface, e.g. inclinometer boreholes realised at the open box bottom at a close vicinity of diaphragm walls.

The monitoring performed from the tunnel during excavation is used for measurement of the reinforced concrete slab deformation and changes in the surrounding geological environment resulting from this activity. Geodetic survey complemented by measurement of deformations has been proposed for the determination of the magnitude of deformations, including development of the deformations and subsequent comparison with design values. Those measurements are carried out with small vibrating wire strain meters in the roof and bottom slabs, and rebar vibrating wire strain meters installed in diaphragm walls.

In the process of monitoring changes in the geological environment, we confine ourselves to monitoring of the open bottom of the tunnel. Primarily we use gliding deformation meters. This apparatus allows monitoring of axial deformations (contraction or extension) along a measured straight line, which is represented by a specially equipped vertical borehole drilled in the geological environment. The measuring apparatus proper is a portable probe, and the measurements are of a multi-stage character. Pore pressure gauges have been proposed to supplement the information from the cut-and-cover tunnel bottom. We assume that the uplift pressure acting on the tunnel bottom will cause a decrease in pore pressures. We expect other development of the pore pressures during the subsequent loading by the bottom slab and consolidation of clay in the sub-base. We expect that the measuring instruments will be installed by pressing directly into the uncovered bottom, before blind concrete pouring. We propose application of piezometers with vibrating wire sensors transmitting the pressure of entering water.

CONCLUSION

In terms of capital expenditures, the new Třebovice tunnel ranks certainly among the largest constructions developed in the framework of the Corridor rail links in the Czech Republic. In the same time it is unique by the volume of diaphragm walls, by the design of the single pass lining, and the extent of crystallising paints applied.

Execution of the construction puts heavy demands on co-ordination of particular building procedures, but also on the quality of the works. The aim of our endeavour was to maximally simplify the design, thus also to ease the construction operations. Anyway, it will depend on all construction participants, on the construction supervision above all, whether the tunnel will or will not be completed on time and in good quality. Then the intention of the engineers building the railway from Olomouc to Prague to pass the Třebovice coll by a double-track tunnel will eventually be accomplished.

REFERENCES:

Hons Josef - Velká cesta (1947)

ČD, DDC Optimisation of the Krasíkov - Česká Třebová rail line section, "the new Třebovice tunnel" - detailed geotechnical investigation. GeoTec-GS a.s., January 2001

ČD, DDC Optimisation of the Krasíkov - Česká Třebová rail line section, "the new Třebovice tunnel" - complementary geotechnical investigation. GeoTec-GS a.s., September 2001

ČD, DDC Optimisation of the Krasíkov - Česká Třebová rail line section, SO 55-21-01 The Třebovice II tunnel, construction design, ILF Consulting Engineers, October 2001