

ÚNIKOVÁ ŠACHTA TUNELU BŘEZNO

EMERGENCY ESCAPE SHAFT OF THE BŘEZNO TUNNEL

TOMÁŠ PARÁK, ERMÍN STEHLÍK

ÚVOD

Jednokolejný tunel Březno, délky cca 1,8 km, je součástí přeložky tratě Březno u Chomutova – Chomutov, jejíž výstavba začala v květnu 2000. Důvodem přeložky byla pokračující těžba v dole DNT Tušimice–Severočeských dolů Chomutov, a. s., která postupuje do prostoru stávající tratě.

Financující organizací jsou Severočeské doly, investorskou činností je pověřena SŽDC Plzeň, s. o., dodavatelem celé přeložky je Sdružení Březno, jehož členy jsou Metrostav a. s., SSŽ, a. s., a Energie Kladno, a. s. Generálním projektantem přeložky je firma SUDOP Praha, a. s. Projektantem únikové šachty je firma IKP Consulting Engineers, s. r. o. (IKP CE).

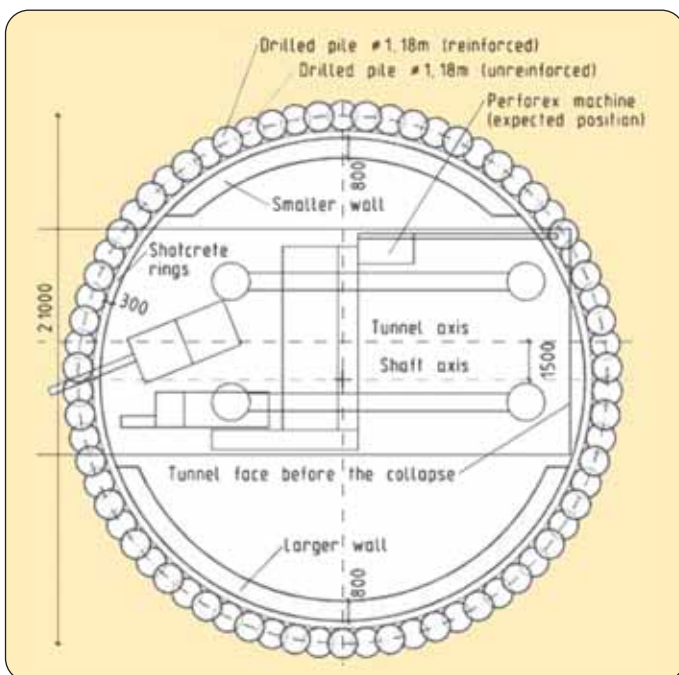
POSTUP VÝSTAVBY

Po přípravných pracích a výstavbě příportálových úseků byla ražba zahájena v březnu 2002, a to metodou obvodového vrubu s použitím stroje firmy Perforex, který postupoval od portálu u obce Březno. Po vyražení cca 800 m tunelu, který byl vystrojen primárním ostěním z prostého stříkaného betonu aplikovaného do vrubu vyřezaného strojem Perforex, došlo v březnu 2003 k zavalení stroje na čelbě tunelu s následným kolapsem primárního ostění v úseku cca 100 m od čelby. Na povrchu se nad zavaleným úsekem tunelu vytvořila rozsáhlá poklesová kotlina.

Výstavba byla přerušena až do října 2004, kdy začala protiražba od portálu u obce Droužkovice, která byla prováděna tzv. sekvenční metodou s použitím primárního ostění ze stříkaného betonu vyztuženého sítěmi a příhradovými oblouky.

ZMÁHÁNÍ ZÁVALU

Zával byl rozdělen na 2 části, na část mimo oblast zavaleného stroje Perforex a na část v oblasti zavaleného vrubovacího stroje. Pro zmáhání první části závalu byla navržena technologie, při které



Obr. 1 Příčný řez šachtou s očekávanou polohou stroje Perforex
Fig. 1 Shaft Cross Section

INTRODUCTION

Single track railway tunnel Březno, 1.8 km in length, is a part of the relocation of the railway line Březno u Chomutova–Chomutov, the construction of which started in May 2005. The reason for the relocation is the continuous mining activity in the open mine DNT Tušimice–Severočeské doly (SD) Chomutov a.s., which is interfering with the existing railway line. The financing organisation is SD, client role is performed by SŽDC Plzeň s.o., and the contractor is JV Sdružení Březno, consisting of Metrostav a.s. Praha, SSŽ a.s. and Energie Kladno a.s. The general designer is SUDOP Praha a.s., the designer of the emergency escape shaft is IKP Consulting Engineers s.r.o. Praha (IKP CE).

HISTORY OF THE CONSTRUCTION

After the preparatory works and the construction of open cut portal sections, tunnelling started in March 2002, using the pre-cut method with a Perforex machine, which started tunnelling from the tunnel portal located near the village Březno. After completing approximately 800 m of the tunnel in March 2003, with the primary lining consisting of non-reinforced shotcrete applied into the slot pre-cut by the Perforex machine, the Perforex machine was buried by a tunnel collapse, which immediately spread to the section of primary lining to approx. 100 m behind the tunnel face. The collapse created a large settlement through on the surface. The construction process was interrupted until October 2004, when tunnelling started from the other portal located near the village Droužkovice. The method applied was the so-called "Sequential Method", using primary lining consisting of shotcrete with steel meshes and lattice girders.

RECOVERING OF THE COLLAPSE AREA

The collapse area was divided into two parts; the part outside the buried machine and the part with the buried machine. For the first part the method with temporary piled bulkheads 9 m apart was designed; between the bulkheads tunnelling was performed with the help of steel pipe umbrellas, jet grouting, temporary top heading invert and other additional measures enabling the rebuilding of the collapsed tunnel. This part was designed by SUDOP Praha a.s.



Foto 1 Ověřovací vrt délky 60 m
Photo 1 Drill rig for core borehole

se pomocí přepážek z pilotových stěn celý úsek rozdělil na úseky délky cca 9 m, mezi kterými byl navržen postup s pomocí mikropilotových deštníků, tryskových injektáží, provizorní spodní klenby v kalotě a dalších opatření, umožňujících opětovně vyražení tunelu v zavaleném úseku. Tuto část řešil generální projektant tunelu SUDOP Praha, a. s.

Druhou část závalu řešila firma IKP CE výstavbou kruhové šachty z převrtávaných pilot nad zavaleným strojem Perforex.

POTŘEBA ÚNIKOVÉ ŠACHTY

Zpracování přípravné dokumentace pro výstavbu tunelu Březno začalo v druhé polovině devadesátých let minulého století. Podle v té době platných bezpečnostních předpisů nebyla pro tunel Březno potřebná žádná úniková šachta. Za dobu, která uplynula od zahájení přípravy projektové dokumentace, došlo k výrazným změnám v platných bezpečnostních předpisech. V době zpracování dokumentace na zmáhání závalu již bylo zřejmé, že pro tunel délky 1,8 km je kromě portálů tunelu potřebný další únikový východ. Účastníci výstavby proto přijali řešení, které umožňuje předat dokončenou stavbu tak, aby byla v souladu s platnou legislativou. K tomuto účelu posloužil návrh IKP CE na realizaci šachty, který byl modifikován společně s pracovníky Metrostavu a investora. Výsledkem byl návrh šachty průměru 21 m (měřeno na osu pilot), hloubky 35 m, se středem odsazeným o 1,5 m od osy tunelu, do které byl umístěn požadovaný únikový východ. Šachta současně posloužila pro postupné obnažení a demontáž vrubovacího stroje Perforex a jeho vytažení na povrch.

GEOLOGICKÉ A HYDROLOGICKÉ POMĚRY

Šachta byla situována přímo nad zavalený stroj a tak kromě výskytu zemin ovlivněných vlastním závalem bylo nutné počítat zejména s existencí zavaleného stroje Perforex a s výskytem zbytku zříceného primárního ostění. Značné obavy byly ohledně možnosti výskytu podzemní vody v eventuálních dutinách pod ostěním a kolem stroje.

Po závalu v roce 2003 byl v oblasti závalu proveden geologický průzkum a stanoveny charakteristické parametry, které byly používány pro výpočty ostění tunelu v oblasti závalu.

Protože od okamžiku závalu do období zahájení prací v oblasti ovlivněné závalem uplynuly více než dva roky, byl v prostoru budoucí šachty navržen a realizován jeden jádrový vrt hloubky 60 m (foto 1). Hlavním úkolem vrtu bylo ověřit výskyt větších dutin a podzemní vody v okolí zavaleného stroje. Dalším úkolem vrtu bylo objasnit, zda horní a střední uhelná sloj nacházející se pode dnem tunelu není zasažena hornickou činností a nemohla tak přispět ke kolapsu tunelu.

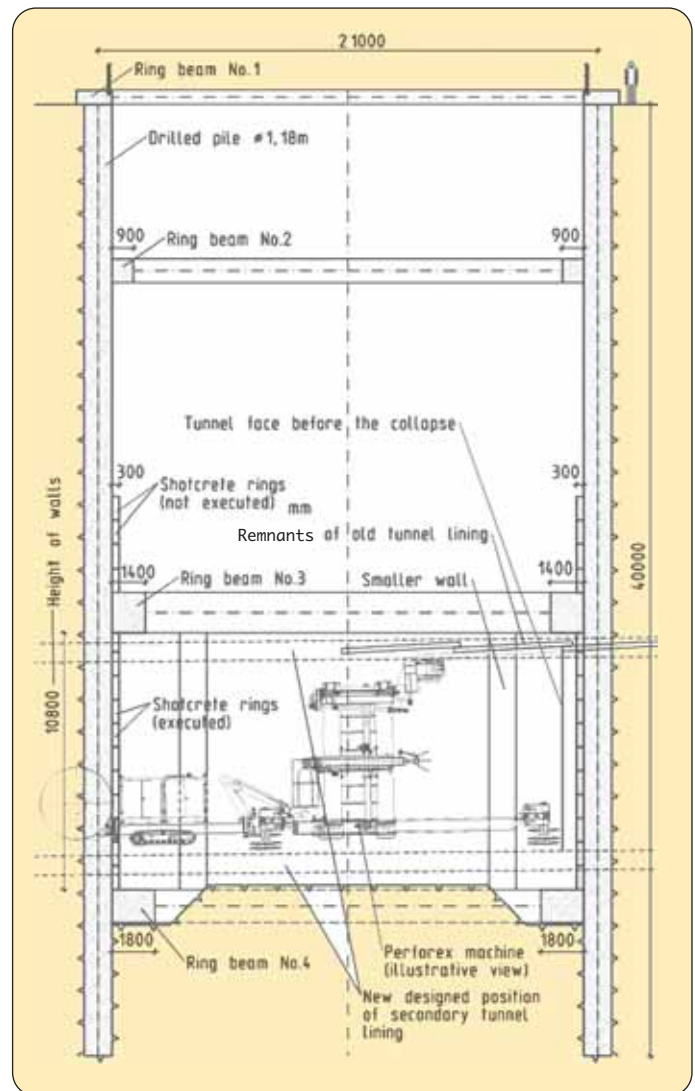
Vrt prokázal, že není třeba se obávat výskytu velkých dutin ani rozmáčených poloh závalového materiálu v důsledku podzemní vody. Také se ukázalo, že uhelné sloje pode dnem tunelu nejsou postižené hornickou činností ani vyhořením.

OSTĚNÍ ŠACHTY

Kruhová šachta z převrtávaných pilot (příčný řez viz obr. 1) byla navržena o průměru 21 m, měřeno na osu pilot. Vzdálenost pilot



Foto 2 Ukázka výsledku vrtání pilot – pohled ze dna šachty
Photo 2 Completed piles – view from the bottom of the shaft



Obr. 2 Podélný řez šachtou
Fig. 2 Shaft Longitudinal Section

The second part of the collapse area was solved by the construction of a circular shaft with lining consisting of secant piles, this part designed by IKP CE.

EMERGENCY ESCAPE

Work on the preliminary design of the Březno Tunnel started in the second half of the 1990s, when the safety regulations did not require an additional emergency escape. However, during the period since the preliminary design, significant changes to the safety regulations were introduced. When design for the collapse recovery started it was obvious-given the tunnel length of 1.8 km-that an additional emergency escape is required. All the participants of the construction process accepted the need for the emergency escape; as a result the completed structure conforms to the latest safety and other regulations.

The solution was the IKP CE proposal for shaft construction, which was modified in cooperation with the Contractor's and the Client's staff. The final solution was the proposal of a circular shaft, 21 m in diameter (measured to the piles' axes), 35 m deep, with the vertical axis set off by 1.5 m of the tunnel axis, allowing the location of the emergency access. At the same time the shaft served the step-by-step recovery, dismantling and lifting of the Perforex machine to the surface.

GEOLOGICAL AND HYDROLOGICAL CONDITIONS

The shaft was located directly above the buried machine and therefore, except for the occurrence of ground directly affected by the collapse, it was necessary to take into account the existence of the



Foto 3 Počátek zřizování ztužujících prstenců 3 m pod převázkou 3
Photo 3 Reinforcing rings below Ring Beam 3

byla 0,942 m, jejich délka 40 m. Celkem bylo navrženo 70 kusů pilot z betonu B 30. Primární piloty byly nevyztužené, sekundární piloty byly navrženy jako vyztužené s výztuží průměru až R32.

Rozhodujícím hlediskem při návrhu šachty byla přesnost vrtání pilot. Příslušná norma stanovuje odchylku pro svislost vrtání 2 % z délky piloty. Pokud by byly piloty vrtány s touto přesností, byly by s bezpečným návrhem šachty značné problémy. Proto byla pro povolené odchylky při vrtání pilot stanovena maximální odchylka 1 %. Tato podmínka byla uvedena i ve smlouvě se zhotovitelem. Podrobněji je o této problematice pojednáno v odstavci o statickém výpočtu.

ZTUŽUJÍCÍ PRVKY

Kromě přesnosti vrtání pilot byl při návrhu šachty rozhodující stav, kdy byly v ostění šachty probourány dva protilehlé otvory pro napojení vlastního tunelu. Přesnost vrtání pilot a vybourání otvorů si vyžádaly návrh následujících ztužujících prvků (obr. 2):

Čtyři masivní železobetonové převázky. Převázka 1 (1,5 x 0,6 m) navržena na hlavách pilot; mezilehlé převázky 2 (1,0 x 0,9 m) a 3 (1,4 x 1,7 m) betonované během hloubení, kdy dno šachty dosáhne úrovně jejich základové spáry; převázka 4 (1,8 x 1,4 m) pod dnem šachty. Převázky byly navrženy s vysokým stupněm vyztužení s použitými profily hlavní výztuže \varnothing R32.

Patnáct ztužujících železobetonových prstenců ze stříkaného betonu tloušťky 0,3 m, vysokých 1 m. Jejich provádění bylo v realizační dokumentaci navrženo od úrovně 4 m nad převázkou 3 s tím, že konečné rozhodnutí o započetí provádění ztužujících prstenců bude provedeno až na základě skutečné polohy pilot. Jak se později ukázalo (viz dále), došlo k vynechání 7 ztužujících prstenců.

Železobetonové ztužující stěny A, B, které byly navrženy mezi převázkami 3 a 4 v prostoru po stranách budoucích otvorů pro tunel. Stěny byly vysoké 10,8 m a byly vetknuty do obou převázek.



Foto 4 Hloubení šachty v oblasti zavaleného stroje Perforex
Photo 4 Excavation in the vicinity of the buried Perforex machine

Perforex machine and the collapsed tunnel lining. A serious concern was also the possibility of ground water collected in potential cavities under the lining and around the machine.

After the collapse in 2003 a geological investigation in the collapse area was performed and characteristic parameters used for the lining calculation were determined. During the more than two years that passed between the collapse and the restart of work, a single core borehole 60 m deep was drilled in the area of the shaft (Photo 1). The main task of the borehole was to verify the occurrence of large voids and underground water in the vicinity of the machine. Another aim was to clarify if the upper and middle coal seam, which is under the tunnel, was not affected by previous mining activities and therefore did not contribute to the tunnel collapse. The results showed that there is no reason for concern with regard to large cavities or water-logged materials, and confirmed that the coal seams are not affected by previous burnup.

SHAFT LINING

Circular shaft with secant piles (the cross section is shown in Fig. 1) was designed with a 21 m diameter measured to the piles axes. The piles distance is 0.942 m, the length is 40 m. In total 70 piles made of concrete B 30 were designed. The primary piles are not reinforced; the secondary piles are reinforced with rebars of up to 32 mm in diameter.

The decisive aspect for the piles design was the accuracy of the pile drilling. The relevant standard prescribes a 2% tolerance for the verticality of the pile drilling. Providing the piles are drilled with this tolerance, there would be serious problems with the shaft design. Therefore the maximum tolerance was set at 1%. This condition was also stated in the agreement with the contractor. The issue of tolerances is described in more detail in the paragraph dealing with the design calculation.

STRUCTURAL ELEMENTS

For the shaft design, besides the drilling accuracy, the decisive phase was the moment when two openings connecting the tunnel to the shaft were created. The drilling accuracy and the demolition of shaft lining for the tunnel openings demanded design of following structural elements (see Fig. 2):

Four massive reinforced concrete ring beams: Ring Beam 1 (1,5 x 0,6 m) located on the top of the piles; intermediate Ring Beams 2 (1,0 x 0,9 m) and 3 (1,4 x 1,7 m), cast during the shaft excavation, when the shaft bottom reaches their foundation level, and Ring Beam 4 (1,8 x 1,4 m) under the definitive shaft bottom. The ring beams were designed with a high degree of reinforcement, the main rebars used were \varnothing R32.

Fifteen reinforced shotcrete rings, 0,3 m thick and 1,0 m high. Their installation was designed to start from a level 4,0 m above Ring Beam 3, the design stipulated that the start of their application depends on the factual position of the piles. As showed up during the construction, it was possible to omit 7 rings.

Reinforced concrete walls A and B, located between Ring Beams 3 and 4 and in the space on the sides of the future tunnel openings. The walls are 10,8 m high and are fixed into both ring beams.

DESIGN CALCULATION

With hindsight it could be stated that the design calculation was the most difficult part of the whole shaft design process. Besides the unique structure, complicated geological conditions of the previous collapse and unsuitability of anchoring, the design required consideration of many load cases on particular parts of the shaft (piles, ring beams, reinforcing rings and walls). Another unknown feature was the piles' position, which differs for each level. The knowledge of this position was a key to determining particular load cases. To define the position, we used probability calculation of the piles position in different levels. Based on this probability calculation the maximum deviation of the piles from the vertical position was defined to be 1%.

Check calculation of piles and single structural elements was different for the phase of the shaft excavation and for the phase of demolishing the shaft lining to create the two tunnel openings. Complexity of the design calculation was not only in defining the load

STATICKÝ VÝPOČET

S odstupem času je možno říci, že statický výpočet byl nejspíše nejzávažnější částí celého procesu návrhu šachty. Vzhledem k unikátnosti konstrukce, složité geologické skladbě prostředí závalu a nevhodnosti použití kotvení, bylo třeba posoudit celou řadu zatěžovacích případů na jednotlivé části konstrukce šachty (piloty, převázky, ztužující prstence, ztužující stěny). Další velkou neznámou byla poloha pilot, která se různí pro každou výškovou úroveň. Znalost této polohy byla klíčová pro určení jednotlivých zatěžovacích případů. Pro určení této polohy jsme nakonec použili pravděpodobnostní výpočet poloh pilot v jednotlivých úrovních. Z tohoto pravděpodobnostního výpočtu vyplynula nutnost dodržení maximálního odklonu pilot od svislice 1 %.

Samotné posouzení pilot a jednotlivých ztužujících prvků bylo rozdílné pro fázi hloubení šachty a pro fázi po probourání tunelu do šachty. Složitost celého statického výpočtu spočívala nejen ve správném určení zatížení na jednotlivé konstrukce a pro jejich jednotlivé zatěžovací stavy, ale i v nalezení takového způsobu posouzení, které by mělo dostatečnou vypovídající hodnotu při dodržení bezpečnosti celé konstrukce. Vše se podařilo za vydatného přispění ing. A. Zapletala, DrSc. a doc. ing. J. Masopusta, CSc., za což jim tímto velice děkujeme.

Flexibilita výpočtu umožnila v průběhu realizace podstatně zjednodušit postup hloubení a vynechat sedm ztužujících prstenců. Obě tyto úpravy byly umožněny díky dosažení přesnosti vrtání pilot pod 1 % a z důvodu lepších geologických podmínek, než se původně předpokládalo.

Z důvodu složitosti a obsáhlosti celého statického výpočtu připravují o něm autoři samostatný článek do některého z dalších vydání časopisu Tunel.

VÝPLŇOVÉ INJEKTÁŽE

Při betonáži pilot pilotových přepážek nad tunelem došlo v několika případech ke značně zvýšené spotřebě betonové směsi, která unikla do volných dutin v oblasti závalu. Aby se podobné situaci zabránilo v případě pilot šachty (i přes výsledek z jádrového vrtu), a také z důvodu bezpečnosti při hloubení šachty, bylo v prostoru budoucí šachty navrženo a realizováno 29 svislých injektážních vrtů v rastru 4 x 4 m, vyrobených PVC trubkami průměru 50 mm, délky 35 m, tj. 3 m pod dnem tunelu. Toto rozhodnutí se ukázalo jako opodstatněné, neboť těmito vrtu bylo zainjektováno celkem 750 m³ injeckční směsi.

VRTÁNÍ PILOT

Provádění šachty Metrostav zadal firmě Zakládání staveb Praha, a. s. Ta použila na vrtání pilot soupravu AU BG25 se zapažovacími zařízeními VRM 150 KL s vložkami na průměr 1180 mm od firmy Leffer. Výška vodících zidek 1,2 m spolu s použitím speciálních pažnic řady Hard od firmy Leffer vedla k dosažení větší přesnosti při vrtání pilot. Vrtání proběhlo v únoru a březnu 2006.

Přesnost provedení pilot byla velmi dobrá (foto 2) a dosažené odchylky byly v hodnotách pod 1 % z délky pilot, což byl striktní požadavek v realizační dokumentaci. Při betonáži pilot nedošlo k žádným větším spotřebám betonové směsi, což lze přičíst provedeným výplňovým injecktážím.

Již při návrhu pilot bylo zřejmé, že piloty, pod kterými budou zastíženy ocelové součásti zavaleného stroje Perforex, nebudou dovtřeny na plnou hloubku. Při vrtání k tomu došlo ve třech případech a volný prostor pod nedovrtanou pilotou byl po vyhloubení šachty rozepřen ocelovými válcovanými profily a vyplněn stříkaným betonem.

HLOUBENÍ ŠACHTY A REALIZACE ZTUŽUJÍCÍCH PRVKŮ

Hloubení šachty a související práce na zřízení převázek a stěn byly zahájeny v dubnu 2006. Po provedení převázky 1 na hlavách pilot se hloubilo po záběrech 5 m až na úroveň převázky 2. Po jejím vybetonování se opět po záběrech 2 m pokračovalo k převázce 3. Vzhledem k dobré dosažené přesnosti vrtání pilot nebylo nutné mezi převázkami 2 a 3 realizovat ztužující prstence ze stříkaného betonu původně předpokládané od úrovně 4 m nad převázkou 3. Jejich realizace začala až v úrovni 3 m pod převázkou 3 a pokračovala až na dno šachty, k horní úrovni převázky 4 (foto 3).



Foto 5 Betonáž ztužující stěny B samohutnícím betonem
Photo 5 Casting of wall B by self-compacted concrete mix

on particular structure elements and for their different load cases, but also in finding a method of check calculation which gives sufficient evidence and maintains satisfactory safety margins. This was achieved with a substantial help from A. Zapletal and J. Masopust; we express our thanks to them.

The calculation's flexibility simplified the construction, made the excavation sequence much simpler and allowed the omission of seven reinforcing rings. Both these changes were possible thanks to the achieved accuracy of pile installation, which was within 1% of tolerance, and also due to the better-than-expected geological conditions. Because of the complexity and voluminosity of the design calculation the authors are preparing a separate paper to be published in a future issue of the magazine Tunel.

GROUTING

During the concreting of piles in bulkheads, there was in a few cases a considerably higher volume of concrete used, which filled the free cavities in the collapse area. To prevent such a situation for shaft pile drilling (despite the results of the core borehole) and also for safety reasons during the shaft excavation, there were designed and executed 29 vertical grouting boreholes in a 4 x 4 m grid with PVC pipes 50 mm in diameter and 35 m long, going 3 m under the tunnel invert. This decision proved to be well-founded; 750 m³ of grout was injected through these boreholes.

PILES DRILLING

The shaft construction was subcontracted by Metrostav to Zakládání staveb Praha a.s. For pile drilling a drill rig AU BG25 with casing oscillator VRM 150 KL, with inserts for 1180 mm diameter from Leffer Company was used. The 1.2 m high guiding walls together with the application of special casing of Hard series from Leffer Company have led to a higher accuracy of pile drilling. The drilling took place in February and March 2006.

The drilling accuracy was very good (see Photo 2) and tolerances achieved were in values below 1% of the pile length, which was a strict condition of the design. During pile concreting no large overconsumption of concrete was reported, which could be attributed to the grouting.



Foto 6 Počátek prorážky tunelu do šachty
Photo 6 Start of the piles demolition for the tunnel opening

Hloubení pod převázkou 3 bylo komplikováno přítomností zavaleného stroje Perforex a zříceného primárního ostění. Bylo nutné postupovat pomalu a nebylo možné použít větší mechanizaci (foto 4).

Po dokončení převázky 4 pode dnem šachty byly zahájeny práce na betonáži stěn A a B. Jednalo se o technicky zajímavé a náročné práce, protože jednostranným bedněním bylo potřeba zabetonovat stěny vysoké 10,8 m. Projektant požadoval betonáž bez vodorovných pracovních spár. Pro menší stěnu A byla povolena jedna pracovní spára uprostřed výšky stěny. U každé stěny byla použita různá technologie betonáže:

U větší stěny B (foto 5) byla použita technologie samohutňícího betonu a stěna byla vybetonována najednou na celou výšku. Bylo nutné pečlivě navrhnout betonovou směs s potřebnými přísadami tak, aby beton v jednotlivých pracovních záběrech (vrstvách) ve stanoveném čase dosáhl určité pevnosti, která by zaručila požadovaný maximální tlak betonové směsi na bednění. Zároveň však nesmělo dojít k vytvoření pracovní spáry. Po pečlivých přípravách betonáž stěny proběhla bez větších problémů.

Menší stěna A byla vybetonována s pomocí jednostranného bednění s jednou vodorovnou pracovní spárou a s použitím klasické betonové směsi B 30.

Po dokončení betonáže stěn došlo v červenci 2006 k vybourání pilot v prostoru tunelu raženého závalem od portálu u Března (foto 6), druhý otvor pro tunel ražený sekvenční metodou od portálu u Droužkovic byl realizován v říjnu 2006.

GEOTECHNICKÝ MONITORING

Během výstavby šachty probíhal geotechnický monitoring, který prováděla firma SG Geotechnika, a. s. Bylo osazeno 6 inklinometrů do pilot a 8 geodetických bodů v pěti výškových úrovních, které byly instalovány na převázkách a pilotách. V závislosti na postupu výstavby byl prováděn pravidelný monitoring, jehož výsledky byly průběžně vyhodnocovány a předkládány na kontrolních dnech stavby konaných každý týden.

Naměřené hodnoty deformací během všech fází výstavby byly malé a nedosáhly ani prvního varovného stavu, což potvrdilo správnost návrhu konstrukce šachty.

ZÁVĚR

Návrh unikátní konstrukce únikové šachty tunelu Březno v prostoru předchozího závalu přinesl řadu nových problémů, při jejichž řešení bylo potřeba použít neobvyklých postupů.

Flexibilita návrhu umožnila během výstavby reagovat na skutečně dosaženou přesnost vrtných pilot i na zastížené geologické podmínky. Tím bylo možné radikálně zjednodušit postupy hloubení a vynechat sedm ztužujících prstenců ze stříkaného betonu. Dobrou spoluprací partnerů výstavby došlo oproti schválenému harmonogramu výstavby ke zkrácení doby výstavby šachty o 2,5 měsíce.

ING. TOMÁŠ PARÁK, tomas.parak@ikpce.com,
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.
ING. ERMÍN STEHLÍK, ermin.stehlik@seznam.cz, konzultant

Already during the design phase it was clear that the piles, which are above the steel parts of the buried Perforex machine, will not be drilled to the full length. During pile drilling this happened three times and the free space under the uncompleted pile was braced by steel beams and filled with shotcrete.

SHAFT EXCAVATION AND STRUCTURAL ELEMENTS

Shaft excavation and related works started in April 2006. After the completion of Ring Beam 1 on the piles' heads the excavation in 5.0 m rounds started, up to the Ring Beam 2 level. After casting the ring beam, the excavation in 2.0 m rounds continued to Ring Beam 3. Thanks to the achieved pile drilling accuracy it was not necessary to install reinforcing shotcrete rings between Ring Beams 2 and 3, originally designed from a level 4.0 m above Ring Beam 3. Reinforcing rings were applied starting from a level 3.0 m below Ring Beam 3 and continued up to the bottom level of the shaft, to the upper level of Ring Beam 4 (see Photo 3).

The excavation below Ring Beam 3 was complicated by the existence of the buried Perforex machine and collapsed lining. It was inevitable to progress slowly and it was not possible to use larger equipment (see Photo 4).

After the completion of Ring Beam 4, under the shaft bottom, the works on casting the walls A and B started. These works were technically interesting and demanding at the same time, because it was required to board the 1.8 m high walls by one-sided formwork. The designer originally required casting without horizontal cold joints, but for the smaller wall A one cold joint was allowed in the middle of the wall. For each wall a different method of concrete technology was used:

For the larger wall B (Photo 5) the technology of self-compacting concrete was used and the wall was cast completely for the whole height. It was important to design the concrete mix with the required additives very carefully in such a way that the concrete strength in prescribed time in particular work rounds (layers) reached the required value, which guaranteed the maximum load of concrete to the formwork. At the same time the occurrence of a cold joint was not allowed. After careful preparatory works the casting passed without major problems.

The smaller wall A was cast with one horizontal cold joint with the help of one-sided formwork and application of the classic concrete mix B 30.

After the completion of the wall casting in July 2006, the demolition of the piles for the tunnel mined from the Březno portal through the collapse was executed (Photo 6); the second opening in the shaft for the tunnel mined by the sequential method from the Droužkoviče portal was executed in October 2006.

GEOTECHNICAL MONITORING

During the shaft construction, SG Geotechnika a.s. performed geotechnical monitoring. Six inclinometers were fit into the piles and eight geodetical measurement points in five levels were fixed to ring beams and piles. Depending on the construction progress, regular monitoring was performed and its results were continuously submitted and assessed on weekly meetings.

The measured deformations during all construction phases were small and not even the first warning level was reached, validating the accuracy of the design.

CONCLUSION

The design of the unique structure of the Březno Tunnel shaft in the area of a previous tunnel collapse brought a number of new problems, which required an application of atypical design and calculation methods.

The design flexibility enabled the Contractor to react to the accuracy of the drilled piles installation and to the actual geological conditions. This led to a radical simplification of the excavation sequences and the omission of seven reinforcing shotcrete rings. Good cooperation of all parties resulted in a shortening of the shaft construction period by 2.5 months.

ING. TOMÁŠ PARÁK, tomas.parak@ikpce.com,
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.
ING. ERMÍN STEHLÍK, ermin.stehlik@seznam.cz, consultant