

POUŽITÍ TUNELOVACÍHO STROJE V OSTRAVSKO-KARVINSKÉM REVÍRU

USE OF TUNNEL BORING MACHINE IN THE OSTRAVA-KARVINÁ COAL DISTRICT

DOC. ING. RICHARD ŠŤUPÁREK, CSc., ING. DIMITRIJ DVOŘÁK, PROF. ING. PETR MARTINEC, CSc.
ÚSTAV GEONIKY AVČR OSTRAVA

ÚVOD

Použití razících tunelovacích strojů (TBM) velkých průměrů při výstavbě tunelů je podmíněno v prvé řadě ekonomickými hledisky, z nichž základním je dostatečná délka raženého díla a možnost plynulého přechodu na další ražbu tak, aby byla využita velká pořizovací investice. Tyto podmínky v České republice u dopravních tunelů ze známých důvodů zpravidla splněny nejsou, a tak byly v minulosti v Československu použity TBM menších průměrů do 3,7 m především při ražbách hydroenergetických liniových staveb. Na Slovensku se dnes využívají TBM menších průměrů pro ražbu průzkumných štol dlouhých tunelových staveb (Branisko, Višňová).

V tunelářské obci se dnes již málo ví, že největší u nás použitý tunelovací stroj s vrtaným průměrem 6 m byl nasazen v 80. letech v našem hornictví pro ražení dlouhých spojovacích překopů dolů v Ostravsko-karvinském revíru. V souladu s tehdejšími posledním vzpětím uhlénohornictví, zaměřeného na koncentraci dobývacích prací a související růst požadavků na dopravní a větrní kapacity, bylo hlavním záměrem nasazení stroje vyrazit dlouhé spojovací překopy v hloubce dobývání mezi jednotlivými částmi důlního pole tak, aby byla umožněna vysokokapacitní doprava rubaniny k těžním jamám a výkonné větrání odlehčených částí dolu. I když vývoj vlastních tunelovacích strojů od té doby velmi pokročil, získané zkušenosti z ražeb v celkové délce více než 6000 m jsou zajímavé i v současnosti. Z dnešního pohledu použití TBM při ražbách bazálních tunelů v Alpách je srovnatelná zejména hloubka ražeb, která se pohybovala mezi 900 a 1000 m pod povrchem. Ta přinášela především problematiku zvýšených napětí v horském masivu, zdůrazněných ještě sekundárními vlivy hornické činnosti, ale i problémy spojené s větráním a případnou klimatizací pracoviště. Charakteristické byly rovněž přechody širokých poruchových pásem se silně porušenými horninami a přecházení mocných uhlých slojí.

Tento příspěvek si klade za cíl připomenout nejdelší nasazení tunelovacího stroje většího průměru v Československu a jeho výsledky a problémy zejména z pohledu dnešních trendů vývoje a využití TBM.

TUNELOVACÍ STROJ

Na základě výběrového řízení z nabídek několika světových firem byl vybrán tunelovací stroj firmy Mannesmann-Demag TVM 55 H. Při výběru hrála jednu z hlavních rolí skutečnost, že stroje této řady byly nasazeny v německých uhlých dolech. Stroj byl zakoupen VOKD v rámci tehdejšího státního úkolu vědy a techniky a VOKD také po celou dobu tímto strojem ražby provozovala. V důlních podmínkách se tehdy nepoužívalo názvu tunelovací stroj, ale plno-profilový razící stroj (PPRS).

Vzhledem k podmínkám ražení důlních chodeb, kde se nepočítalo s ostěním, byl stroj vybaven zařízením pro montáž kruhové rámové výztuže z válcovaných ocelových profilů, umístěným hned za vrtací hlavou. Stroj se tedy skládal z těchto částí:

- vrtací hlava s kotoučovými dlaty (obr. 5),
- vyztužovací zařízení pro montáž ocelové výztuže,
- vlastní těleso stroje s upínacím zařízením, dopředným posuvem a pohonnou jednotkou včetně hydraulického agregátu,
- řídicí stanoviště za tělesem stroje,
- dopravník pro odtěžení horniny, umístěný ve spodní části stroje,
- návěsné zařízení za strojem s vynášečmi pásovými dopravníky, trafostanicí, větracím a odprašovacími zařízeními (pojízdné po závěsných drázkách).

Hlavní parametry stroje:

- ražený průměr 6 m,
- délka tělesa stroje 16 m,
- délka návěsného zařízení 290 m,
- hmotnost tělesa stroje 315 tun,
- celkový instalovaný výkon 873 kW,
- přítlak na čelbu 6400 kN.

INTRODUCTION

Use of large profile tunnel boring machines (TBM) in tunnel construction is in the first place limited by economic factors, the basic of which is sufficient length of the excavated structure and the possibility of smooth passing onto the next excavation so that the total purchase costs are made use of. Such requirements are generally not fulfilled at road tunnels in the Czech republic and therefore, only TBMs with smaller profiles up to 3,7 m were used in Czechoslovakia before, mostly for excavation of hydro-energy linear structures. In Slovakia, smaller-profile TBM is today being used for excavation of exploratory galleries at long tunnel structures (Branisko, Višňová).

Nowadays it is only a little known fact in the tunneling community, that the largest tunnel boring machine with boring diameter of 6 m was used here in the eighties in the field of mining for the excavation of long connecting mine passages in the Ostrava-Karviná District (OKD). In accordance with one of the last highpoints of the coalmining industry, focused on concentration of the mining works and coherent increase in requirements for hauling and ventilation capacities, there was a main goal of the machine's deployment to excavate long connecting passages in the mining depth between separate sections of the mining field, so that high-capacity transport of mined rock to the mining cuts and efficient ventilation in distant sections of the mine would be enabled. Although the development of tunnel boring machines has undergone a great progress, experience acquired during excavation of more than 6000 m in total is interesting even today. When comparing to the current view on the use of TBM during excavations of base tunnels in the Alps, namely the depth ranging between 900 and 1000 m below the ground is comparable. That brought the problems or increased tensions in the rock massif, even strengthened by secondary impacts of the mining activity, but also problems with ventilation and potential air-conditioning of the workplace. Passages of wide fault zones with heavily faulted rocks and passages of thick coal streaks were also characteristic. This contribution aims at recalling the longest deployment of a tunnel boring machine of larger diameter in Czechoslovakia as well as its results and problems from the viewpoint of current trends of development and use of the TBM.

TUNNEL BORING MACHINE

Based on a tender with offers from several global companies, a tunnel boring machine TVM 55 H of Mannesmann-Demag was selected. Key role in the tender was played by the fact that machines of this category were deployed in German coalmines. The machine was purchased by the VOKD under auspices of the national program for science and technique and VOKD also operated this machine during the entire excavation. The old mining conditions used the title full-face heading machine (FFHM) instead of tunnel boring machine.

With regards to conditions of excavation of the mine corridors that did not assume any lining, the machine was equipped with device for assembling of circular frames from rolled steel profiles, located right behind the cutterhead. The machine consisted of the following parts:

- cutterhead (fig. 5)
- steel support assembling equipment
- machine body with gripping device, forward-moving mechanism and propelling unit including a hydraulic motor
- control station behind the machine body
- conveyor for removal of mined rock located at the bottom of the machine
- trailing gear behind the machine with ascending belt conveyors, transformer station, ventilation and dust-extracting device (moving along roof-suspended rails)

Main parameters of the machine:

- boring profile of 6 m
- length of the machine body of 16 m
- length of the trailing gear of 290 m
- weight of the machine body of 315 tons
- total installed output of 873 kW
- thrust at the face of 6400 kN

Z uvedeného je zřejmé, že se jednalo v zásadě o tzv. otevřený TBM bez štítového pláště, určený především do podmínek stabilních hornin. Úprava pro požadavky nasazení v důlních podmínkách spočívala především v zařízení pro montáž kruhové ocelové výztuže za vrtací hlavou. Toto zařízení umožňovalo montáž rámu šestidílné kruhové výztuže a její určité rozepnutí proti povrchu hornin při montáži posledního segmentu. Další zařízení spojená s podmínkami důlního provozu (větrání, klimatizace, odprašování, bezpečnostní bariéry) byla umístěna na dlouhém návěsu, který byl tažen za strojem.

GEOLOGICKÝ PRŮZKUM

Předpoklad vývoje geologické stavby byl v důlních podmínkách stanoven podle průběhu ověřené tektoniky a geologických profilů na vyšších patrech. K prognóze byly použity jak vrty z povrchu (NP), tak důlní vrty provedené z vyšších pater. V prvním nasazení bylo použito: 8 vrtů, při druhém nasazení 6 vrtů, při třetím nasazení 9 vrtů, tj. celkem 23 vrtů se vzdáleností cca 250 – 500 m. Z konfrontace předpokládané geologické situace se skutečností po provedené ražbě vyplynulo, že rozdily byly shledány jen v okolí průmětů poruch. Ukázalo se ovšem, že vedle geologické stavby hrála velkou roli i přídatná napětí v blízkosti raženého díla, související především s vlivy dobývání v přilehlém horninovém masivu.

PODMÍNKY RAŽENÍ

Použití TBM bylo v OKR realizováno v letech 1984 – 1990 jako tři samostatné ražby (obr. 1):

1. nasazení: Důl ČSA – spojovací překop ČSA 1 – Jindřich (11. patro),
2. nasazení: Důl ČSA – severní a severovýchodní překop do nového pole (11. patro),
3. nasazení: Důl Darkov – spojovací překop Mír – 9. Květen (9. patro).

Všechny ražby byly realizovány v karbonických sedimentárních horninách v hloubce 750 až 1000 m pod povrchem.

První nasazení stroje (1984 – 1985) byla ražba spojovacího překopu mezi hlavními závody ČSA 1 a závodem Jindřich ČSA 3 v délce 1818 m (obr. 1). Ražba probíhala ve svrchní části porubských vrstev (ostravské souvrství) mezi sladkovodním a mořským horizontem Otakara. Tato sekvence je charakteristická střídáním písčitéch prachovců hojně laminovaných jemnozrnným pískovcem s rostlinnou drtí na plochách vrstevnatosti, jako převažujícím horninovým typem (zde lokálně označované jako "Otakarské pískovce"). Odlučnost hornin je deskovitá. Vrstevnatá stavba je porušena puklinami s frekvencí 5-10/m. Horniny mimo poruchová pásma jsou suché. Pevnosti hornin v prostém tlaku se pohybují v intervalu 70 až 90 MPa. Horniny lze charakterizovat jako obtížně rozpojitelné a vysoce abrazivní. V celém úseku byly zastíženy pouze jednoduché tektonické poruchy (poklesy). Podíly hornin v raženém překopu jsou uvedeny v tab. 1. Vlastnímu ražení předcházela náročná přípravná etapa, která zahrnovala dopravu částí demontovaného stroje jámou, vybudování montážní a startovací komory a montáž stroje.

Druhé nasazení tunelovacího stroje (obr. 1) bylo realizováno v letech 1986 – 1987 z východního překopu základního závodu Dolu ČSA za poruchou Olše směrem na nerealizovanou jámu Dětmárovice - vtažná a výdušná jáma, jako severní a severovýchodní překop v novém poli. Ražba byla zahájena ve staničení 1040 m a bylo vyraženo celkem 2070 m překopu. Ražba byla prováděna až ke Stonavské poruše. Ta byla ověřena průzkumným vrtem v předpolí stroje. Ražení probíhalo v tektonicky zakleslé kře mezi poruchami Olší a Stonavskou, ve které se dosud nedobývalo. Ražba probíhala ve spodní části doubravských vrstev s výrazně převažujícími prachovci a jílovci. Přesto, že ražba procházela i poruchovými pásmy (tab. 1), jednalo se vesměs o malé poklesy s amplitudou několika metrů bez výraznějšího vlivu na průběh ražby. Horniny mimo poruchová pásma byly suché. Pevnosti hornin v prostém tlaku se pohybují v intervalu 70 až 90 MPa. Jsou to horniny obtížně rozpojitelné a vysoce abrazivní. Podíly hornin v raženém překopu jsou uvedeny v tab. 1. Vrstvy jsou uloženy subhorizontálně (cca do 7°), ukloněny k severu ve směru ražení. Ražení bylo ukončeno ve staničení 3110 m, a to 20 m před mohutným poruchovým pásmem Stonavské poruchy.

Třetí nasazení v délce 2539 m v období 1988 – 1990 bylo provedeno z centrálního závodu Darkov 4, a to 3. severním překopem na závod 9. květen a bylo ukončeno v demontážní komoře na ochozu jámy SuSto 1 (obr. 2). Ražba probíhala až do narážení poruchy Anna na 3. severním překopu v sedlových vrstvách (karvinské souvrství), dále pak až do ukončení ražby ve svrchních porubských vrstvách (ostravské souvrství). Ražba v sedlových vrstvách v bloku mezi suško-stonavským poruchovým pásmem a poruchou Anna charakterizuje vysoký podíl masivních pískovců (jemnozrnné až střednozrnné pískovce s polohami až slepenců) a současně mocné sloje provážené prachovci v podloží nebo místně i v nadloží slojí. Úklon vrstev byl do 10° k SZ. Horniny mimo poruchová pásma byly suché. Pevnosti nejhodnějších střednozrnných pískovců v prostém tlaku se pohybují v intervalu 40 až 140 MPa. Opět se jednalo o horniny velmi obtížně rozpojitelné a vysoce abrazivní. Druhá část ražby probíhala již ve svrchní části porubských vrstev. V této části dominují opět pevné prachovité pískovce s vložkami písčitéch prachovců a horizonty mořského i sladkovodního původu s jílovci a deskovitými jemnozrnnými pískovci a provázené málo mocnými slojkami. Při ražbě byly v průběhu ražby zastíženy větší tektonické poruchy, z nichž nejvýraznější byla porucha Dora v délce asi 10 m. Podíly hornin v raženém překopu jsou uvedeny v tab. 1.

This information suggests that it was in principle a so-called open-mode TBM without a shield, designated for the conditions of mostly stable rock. Adjustments due to requirements for deployment in mine conditions lied before all in installation of the device for assembling of circular steel support behind the cutterhead. Such device enabled assembling of frames of the six-segment circular support and its certain straining against the rock surface during assembling of the last segment. Other devices connected to conditions of the mine operation (ventilation, air-conditioning, dust-extraction, safety barriers) were placed on a long trailing gear, pulled behind the machine.

GEOLOGICAL EXPLORATION

The requirement for development of the geological structure in the mining conditions was determined according to course of the verified tectonics and geological profile in higher levels. Bores from surface (NP) as well as mining bores from higher levels were used in order to form a prognosis. 8 bores were used during the first deployment, 6 during the second and 9 during the third; that makes 23 bores in total with distances of app. 250 – 500 m. From comparison of the predicted geological situation with reality after realization of the excavation it was found that there had only been differences around faulting intersections. However, it proved that next to the geological structure, also additional tensions, coherent with impacts of mining activity in the adjacent rock massif, in vicinity of the excavated structure played a major role.

EXCAVATION CONDITIONS

Use of TBM in the Ostrava-Karvinná Coal District (it was realized between 1984 and 1990 as three independent excavations (Fig. 1):

1. deployment – the ČSA mine – connecting passage ČSA 1 – Jindřich (11th level)
2. deployment – the ČSA mine – northern and northeastern passage into the new field (11th level)
3. deployment – the Darkov mine – connecting passage Mír – 9th May (9th level)

All three excavations were realized within Carbonian sedimentary rocks in depths of 750 to 1000 m below the surface.

First deployment of the machine (1984 – 1985) was to excavate a connecting passage between the main facility ČSA 1 and facility Jindřich in length of 1818 m (fig. 1). The excavation proceeded in upper section of Poruby layers (Ostrava strata) between the fresh-water and salt-water horizon Otakar. This sequence is characterized by alternation of sandy siltstones, abundantly laminated by fine-grained sandstone, with vegetable pulp at layer areas as a prevailing type of rock (locally marked as "Otakar sandstones"). Rocks are disjoining in plates. Layer structure is faulted by fissures with frequency of 5 to 10 per meter. Rocks outside the faulting zones are dry. Measured by simple compression, rock strength ranged between 70 and 90 MPa. Rocks can be characterized as hardly disjoinable and highly abrasive. Only simple tectonic faultings (settlements) were encountered in the entire sector. For fractions of rocks in the excavated passage see table 1.

A complicated preparatory phase preceded the own excavation and included transport of parts of the disassembled machine through the cut, construction of an assembling and starting chamber and assembling the machine.

Second deployment of the machine (fig. 1) was realized during the years 1986-1987 from eastern passage of the main facility of the ČSA mine behind the Olše faulting towards the never realized cut Dětmárovice - suction and exhaust shaft as a northern and northeastern passage in the new field. The excavation was started at point 1040 m and total 2070 m of passage were excavated. The excavation was realized all the way to the Stonavy faulting. This was verified by an exploratory bore ahead of the machine. Excavation proceeded in tectonically locked block between the Olše and Stonavy faults, which has not yet seen any mining activity. Excavation proceeded in lower section of the Doubravy layers with significantly prevailing siltstones and claystones. Despite the fact that the excavation also passed through faulting zones (table 1), it experienced only rather low settlements with an amplitude of several meters without any serious impact on course of the excavation. Rocks outside the faulting zones were dry. Measured by simple compression, rock strength ranged between 70 and 90 MPa. Rocks mostly hardly disjoinable and highly abrasive. For fractions of rocks in the excavated passage see table 1. Layers are deposited sub-horizontally (within app. 7°), dipping to north in direction of the excavation. Excavation was terminated at point 2110 m, 20 m in front of the heavy faulting zone of Stonavy faulting.

Third deployment in length of 2539 m between 1988 and 1990 was realized from the central main facility Darkov 4 through the third northern passage to the facility 9th May and was terminated in disassembling chamber at gallery of the SuSto 1 by-pass (fig. 2). Excavation proceeded up to encounter with the Anna faulting in the third northern passage in Sedlové layers (Karvinná strata), further up to termination of the excavation in upper Poruby layers (Ostrava strata). Excavation between Sedlové layers in a block of Suško-Stonavy faulting zone to the Anna faulting is characterized by a high fraction of massive sandstones (fine-grained to medium-grained sandstones with layers of conglomerates) and simultaneously by a thick streak with siltstones in the underlay and locally also in the overburden. Layers were dipping 10° to northwest. Rocks outside the faulting zones were dry. Measured by simple compression, rock strength of the prevailing medium-grained sandstones ranged between 40 and 140 MPa. Rocks were again mostly hardly disjo-

Tab. 1 Charakteristika prostředí jednotlivých ražeb

Table 1 Characteristics of the environment of individual excavations

Nasazení stroje Machine Deployment	Stratigrafie Stratigraphy	Hloubka od povrchu /m/ Depth from surface /m/	Celková délka ražení /m/ Total length of excavation /m/
1	Nejvyšší část porubských vrstev Highest section of the Poruby layers	930	1818,5
1	Spodní část doubravských vrstev Lower section of the Doubravy layers	930	2071
1	Nejvyšší část vrstev porubských a spodní část vrstev sedlových Highest section of the Poruby layers and lower section of the Sedlové layers	742	2539
Celkem Total			6482,5 m

Nasazení stroje Machine Deployment	Podíl hornin v % / délky ražení v jednotlivých nasazeních PPRS Fractions of rocks (%) out of length of individual deployment of FFHM			
	Pískovce a slepence Sandstones and conglomerates	Prachovce a jílovce Siltstones and claystones	Uhelné sloje Coal streaks	Tektonická poruchová pásma Tectonically faulted zones
1	40,27	58,16	1,94	0,61
2	21,71	65,3	10,24	2,66
3	78,64	16,76	1,65	2,95

DOSAŽENÉ VÝKONY A POSTUPY

Výkony, dosahované v období prvního nasazení stroje, byly značně nevyrovnané. V období zkušební provozu se projevoval vliv ne zkušenosti osádky, po celou dobu ražby pak působily negativně některé technické vlivy, spojené jednak s konstrukcí a poruchami návěsu stroje (který byl realizován u nás) a jednak s mnohdy nedostatečnou kapacitou navazující dopravy rubaniny (přisun a odsun vozů). Rozhodující vliv neměly jen původní geologické podmínky. V průběhu ražení docházelo v úsecích s vysokou koncentrací napětí (např. v oblasti průmětů hran nevyrubaných pilířů v nadloží) k porušování hornin a ke značným nadvýlomům v oblasti vrtací hlavy stroje, které bylo nutno pracně vyplňovat a případně zpevňovat (obr. 3). Rovněž konvergence okrajů díla v těchto úsecích, které dosahovaly ve vzdálenosti 100 m za čelbou až 30 - 40 cm a způsobovaly deformaci ocelové výtuzi, omezovaly průjezdný profil návěsu. Tyto projevy vedly k nutnosti použít v dalších ražbách velmi těžkou ocelovou výtuz z válcovaného profilu 36 - 44 kg/m (při průchodu poruch Dora a Stonavská). Průměrný postup v období 1. nasazení tak činil 7,64 m/den, v období zkušební provozu v roce 1984 pak jen 5,71 m /den. Průměrný denní postup v období druhého nasazení činil 8,93 m/den. V dobrých podmínkách byl běžně dosahován denní postup 11 - 12 m. Měsíční postupy dosahovaly většinou 120 - 270 m. Při třetím nasazení tyto výkony už nebyly překročeny především vzhledem k horším geologickým podmínkám (poruchová pásma, mocné sloje a hrany výrubů v nadloží).

Je nutno konstatovat, že reálné výkony a postupy nedosáhly předpokládaných hodnot a to rovněž přispělo k rychlému ukončení provozu stroje v roce 1990.

VLIV GEOLOGICKÉ STAVBY A HORNICKÉ ČINNOSTI NA PRŮBĚH RAŽBY

Zkušenosti s nasazením tunelovacího stroje v hloubce kolem 1000 m prokázaly, že základním parametrem, který ovlivňuje dosažené výkony stroje, je stabilita výrubu v blízkost čelby. Vedle vlastní geologické stavby, zahrnující přítomnost tektonických poruch a výskyt málo pevných hornin, se výrazně projevil oblastí se zvýšeným napětím, vyvolaným předchozí hornickou činností. Typický případ z prvního nasazení stroje je znázorněn na obr. 3. Zde mimo tvorbu nadvýlomů docházelo i k tenké slupkovitému odprýskávání horniny (slepence, pískovce, písčité prachovce) po obvodu vyvrátaného díla, jako důsledek rychlého odlehčení horniny ražením. Za zmínku stojí velká vzdálenost pilířů v nadloží (až 260 m nad profilem raženého díla). V těchto úsecích docházelo k rychlému porušování hornin v blízkosti ražby a jejich posunu do

inable and highly abrasive. Second phase of the excavation proceeded already in upper section of the Poruby layers. This section was again dominated by solid silty sandstones with inlets of sandy siltstones and horizons of both fresh-water and salt-water origin with claystones and plate-like fine-grained sandstones, accompanied by thin streaks. Larger tectonic faults were encountered during the course of excavation, the most significant of which was the app. 10 m long Dora faulting. For shares of rocks in the excavated passage see table 1.

ACHIEVED OUTPUTS AND ADVANCES

Outputs achieved during the first machine deployment were largely unbalanced. The period of testing operation suffered from the lack of experience of the crew, the entire course of excavation was then hindered by certain technical aspects, connected with framework and defects of the trailing gear (constructed in here) and frequently insufficient capacity of the connecting transport of muck (arrivals and departures of vehicles). Not only the geological conditions played a major role. The course of excavation experienced rock faulting in sections with high concentration of stress (for instance in the area of edge intersections of residual pillars, in the overburden) and large overbreaks in the area of the cutterhead, which had to be filled and eventually reinforced (fig. 3). Also the convergences of edges of the structure in these sections, which reached 100 m behind the face even 30 to 40 cm, reduced the clearance for the trailing gear. These elements led to the necessity to use a very heavy steel support from rolled profile of 36-44 kg/m in the following excavations (during passage through the faultings Dora and Stonavy). Average daily advance during the first deployment reached 7.64 m, during the testing operation in 1984 then only 5.71 m. Average daily advance during the second deployment reached 8.93 m. Favorable conditions commonly enabled a daily advance of 11-12 m. Monthly advances usually reached 120-170 m.

These outputs were not exceeded during the third deployment, especially regarding the worse geological conditions (faulting zones, thick streaks and cut edges in the overburden).

It is necessary to point out that real outputs and advances did not reach the estimated values, which contributed to sudden termination of operation of the machine in 1990.

IMPACT OF GEOLOGICAL STRUCTURE AND MINING ACTIVITY ON THE COURSE OF EXCAVATION

Experience with deployment of the tunnel boring machine in depth of about 1000 m proved that the fundamental parameter with impact on achieved outputs of the machine lies in stability of the slope at the face. Beside the geological structure, including the occurrence of tectonic faults and lowly solid

profilu raženého díla. Vzniklé nadvýlomy musely být zajišťovány a vyplňovány velmi pracnými a pomalými způsoby.

Ve zhoršujících se geologických podmínkách (především nadvýlomy a závaly spojené s přechodem tektonických poruch a mocných slojí a oblastí průmětu hran nevýrubů výše uložených slojí), které místně provázely ražení TBM, musely být použity doprovodné technologie k zajištění stability díla:

- svorníky pro zesilování výztuže za čelbou raženého díla,
- rychle tuhnoucí pytlovaná betonová směs, tzv. "balbeton" pro zesílení boků v místě rozepření stroje a zakládání nadvýlomů v místě zvýšených přídatných napětí v důsledku tlaku ponechaných nadložních pilířů,
- aplikace injektáže hornin cemento-popílkovou směsí v předpolí ražby překopu v poruchových pásmech.

Likvidace nadvýlomů prováděná pytlovaným betonem případně i betonovými dlaždicemi, stříkaným nebo čerpaným betonem popř. kombinací těchto způsobů, byla náročná na čas a pronikavě snižovala postup i v souvislosti s tím, že konstrukce vlastního stroje nebyla pro takové činnosti uzpůsobena. Ze získaných zkušeností vyplynulo, že ani vysoké pevnosti, abrazivnosti hornin a daný tektonický stupeň porušení masivu nebyly hlavní překážkou pro plnoprofilové rozpojování. Ukázalo se však, že kritickými úseky byly především partie se zvýšeným napětím pod hranami výrubů v nadložních slojích. Nevýhodou bylo, že tyto oblasti nebylo možno předem rozlišit prováděným vrtným průzkumem. U přechodů mocných tektonických poruch, jejichž poloha byla z předchozího geologického průzkumu známa, bylo použito především zpevňujících injektáží v předpolí postupu tunelovacího stroje a vlastní průběh ražby pak již nebyl narušen.

Ve srovnání s realizací komunikačních tunelů ražených na plný profil vrtáním byla v daném případě v OKR provedena stejnou technologií unikátní ražba ve velkých hloubkách (750 a 930 m). Na rozdíl od klasických tunelů, kde probíhá ražení v hornicky neovlivněném masivu a řeší se problémy jen přechodu tektonických pásem nebo poloh hornin a vysokou pevností, zde došlo při prvním a třetím nasazení k ražení v hornicky ovlivněném masivu se všemi průvodními jevy. Toto ovlivnění vyvolalo snížení rychlosti postupu raženého díla a vyžádalo si uplatnění sanačních technologií a tím i zvýšené náklady.

rocks, other significant impact came from the areas with higher stress, caused by previous mining activity. For typical example of the first machine deployment see fig. 3. On top of formation of overbreaks, there were also trends to rock bursting (thin flakes of conglomerates, sandstones, sandy siltstones) around the entire bored structure as a result of too quick relieving of the rock stress by the excavation. Worth mentioning is a large spacing of pillars in the overburden (up to 260 m above profile of the excavated structure). These sections experienced fast faulting of the rock close to the excavation site and their movement into profile of the excavated structure. Occurred overbreaks had to be secured and backfilled using very complicated and slow techniques.

Deteriorating geological conditions (namely overbreaks and cave-ins connected with passages through fault zones, thick streaks and areas of edge intersections of higher located unmined streaks), which locally accompanied the excavation using TBM, required the use of additional technologies in order to secure stability of the structure:

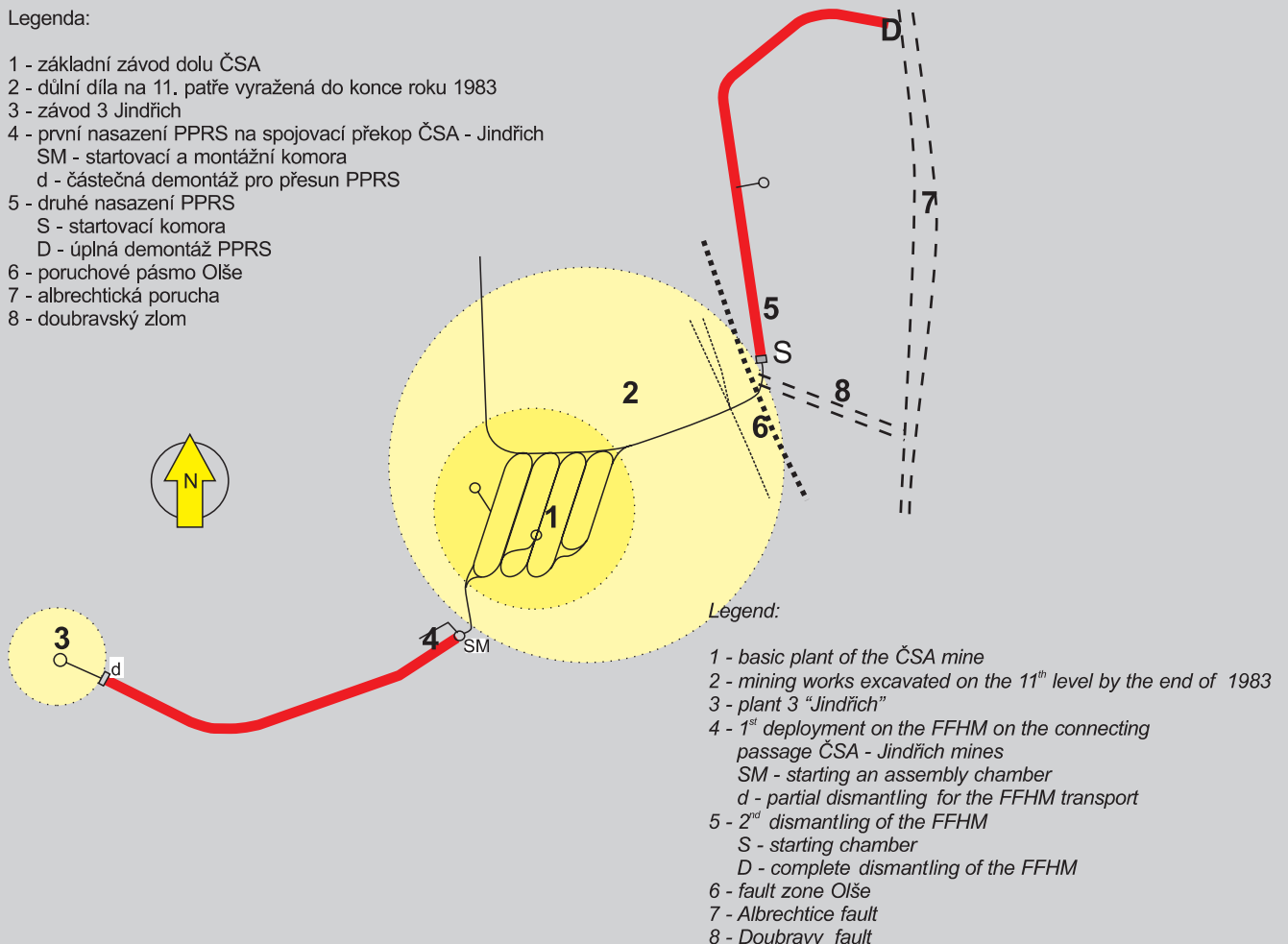
- bolts for strengthening of the support behind the face of the excavated works,
- fast-setting pre-bagged concrete mixture for strengthening of the sides in place of the machine gripping, and backfilling of overbreaks in places of higher additional stresses caused by preserved overburden pillars,
- application of rock grouting using a cement-cinder mixture prior to excavation of passage through fault zones.

Liquidation of overbreaks, realized using pre-bagged concrete and even concrete slabs, shotcrete, pumped concrete or eventually combination of these, required a lot of time and rapidly reduced the advance also with regards to the fact that the structure of the machine was not designed for such activities.

Gained experience showed that not even high strengths, rock abrasiveness or given tectonic level of massif faulting were a major obstacle for a full-profile excavation. At the same time it was proved that critical sections were those with higher stresses below the edges of the stope in overburden streaks. There was a disadvantage in the inability to tell these sections beforehand using a boring exploration. Passages through wide tectonic faults, whose position had been known from previous geological exploration, were secured using reinforcing grouting ahead of the tunnel boring machine, and the course of the excavation was then uninterrupted.

Legenda:

- 1 - základní závod dolu ČSA
- 2 - důlní díla na 11. patře vyražená do konce roku 1983
- 3 - závod 3 Jindřich
- 4 - první nasazení PPRS na spojovací překop ČSA - Jindřich
SM - startovací a montážní komora
d - částečná demontáž pro přesun PPRS
- 5 - druhé nasazení PPRS
S - startovací komora
D - úplná demontáž PPRS
- 6 - poruchové pásmo Olše
- 7 - albrechtická porucha
- 8 - doubravský zlom



Legend:

- 1 - basic plant of the ČSA mine
- 2 - mining works excavated on the 11th level by the end of 1983
- 3 - plant 3 "Jindřich"
- 4 - 1st deployment on the FFHM on the connecting passage ČSA - Jindřich mines
SM - starting an assembly chamber
d - partial dismantling for the FFHM transport
- 5 - 2nd dismantling of the FFHM
S - starting chamber
D - complete dismantling of the FFHM
- 6 - fault zone Olše
- 7 - Albrechtice fault
- 8 - Doubravy fault

Obr. 1 Schéma 1. a 2. nasazení tunelovacího stroje na dole ČSA

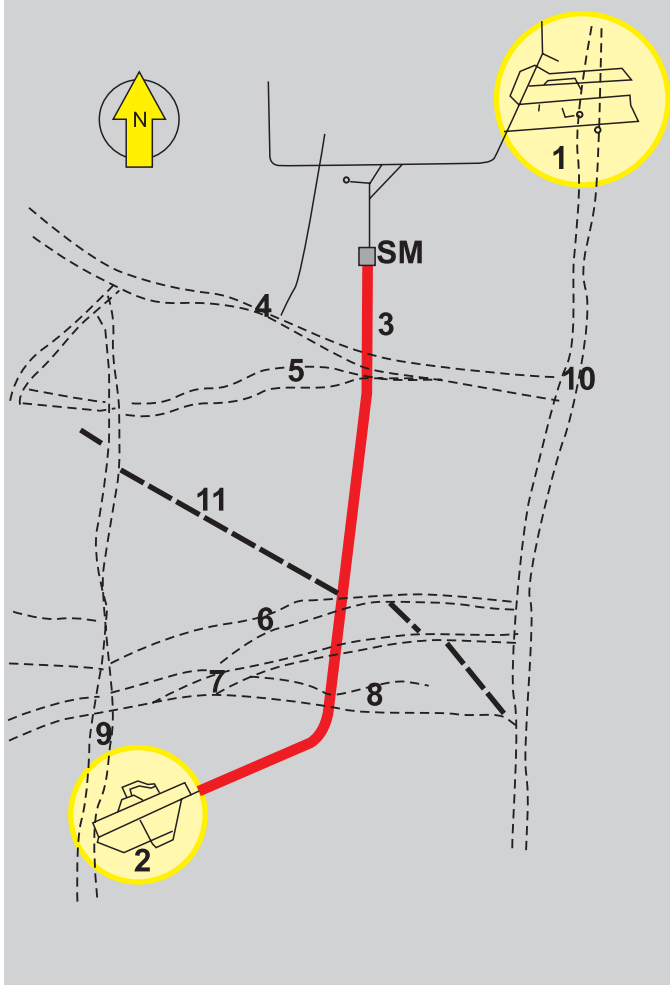
Fig. 1 1st and 2nd deployment of the tunnel boring machine in the ČSA mine

Legenda:

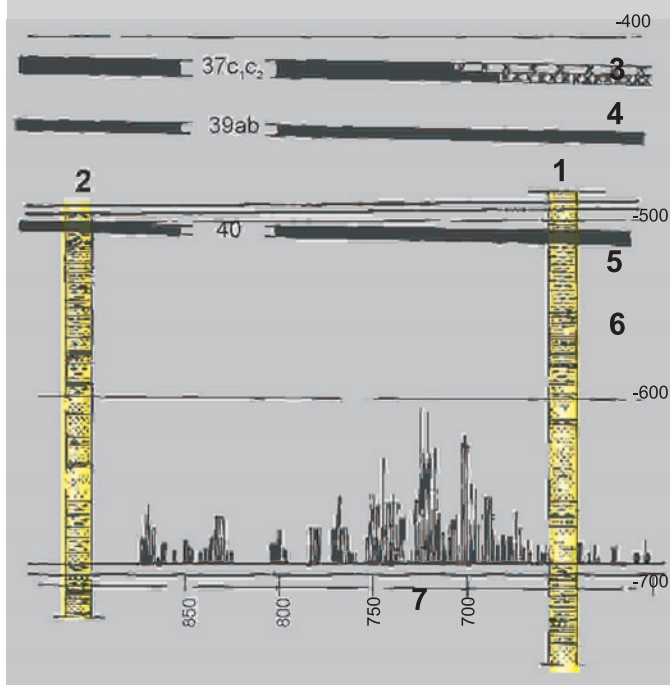
- 1 - Důl Darkov
- 2 - Závod 9. květen
SM - startovací a montážní komora PPRS
- 3 - trasa třetího nasazení
- 4 - poruchové pásmo DORA
- 5 - Sušskostonavská porucha
- 6 - porucha ANNA
- 7 - porucha ALŽBĚTA
- 8 - poruchy KATEŘINA
- 9 - 1. severojižní porucha
- 10 - Albrechtická porucha
- 11 - sloj číslo 40. PROKOP - báze sedlových vrstev

Legend:

- 1 - Darkov mines
- 2 - 9. květen Plant
SM - starting and assembly chamber for FFHM
- 3 - route of the 3rd deployment
- 4 - DORA fault
- 5 - Sušskostonavy fault
- 6 - ANNA fault
- 7 - ALŽBĚTA fault
- 8 - KATEŘINA fault
- 9 - 1st northsouth fault
- 10 - Albrechtice fault
- 11 - seam number 40 "PROKOP" - the base of anticlinal layers



Obr. 2 Schéma 3. nasazení tunelovacího stroje na dole Darkov
Fig. 2 3rd deployment of the TBM at the Darkov mine



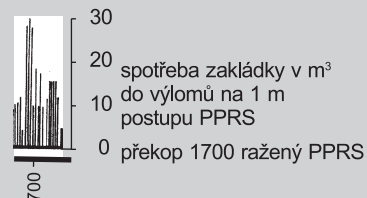
Legenda:

- 1 - průzkumný vrt 90-76
- 2 - průzkumný vrt C10-82
- 3 - část sloje 37c, c₂ vyrubaná v roce

- pískovec
- prachovec
- jílovec



- 4 - sloj 39ab netěžená k roku 1983
- 5 - sloj 40 Prokop netěžená, báze sedlových vrstev
- 6 - porubské vrstvy
- 7 - metráž vyražená PPRS na překopu 1700



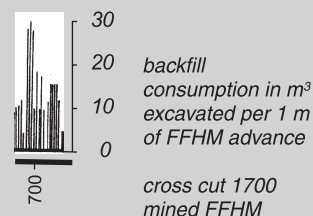
Legend:

- 1 - exploratory drill hole 90-76
- 2 - exploratory drill hole C10-82
- 3 - part of seam 37c, c₂ mined

- sandstone
- siltstone
- mudstone



- 4 - seam 39ab unmined till 1983
- 5 - seam 40 Prokop unmined, base of anticlinal layers
- 6 - Porubské layers
- 7 - lenght mined by FFHM on cross cut 1700



Obr. 3 Nadvýlomů při ražbě v 1. nasazení
Fig. 3 Overbreaks during the 1st deployment

ZÁVĚRY

Nasazení tunelovacího stroje v důlních podmínkách představovalo výraznou technickou inovaci a zcela novou kvalitu v oblasti ražení důlních děl, srovnatelnou s využíváním dobývacích komplexů s posuvnou hydraulickou výztuží v oblasti dobývání. Takto vyražené spojovací překopy vzhledem ke svým rozměrům a charakteru stěn (nízké větrné odpory) dokonale plnily svoji funkci jak v dopravě, tak ve větrání (obr. 4). Zároveň tato technologie předjímala následující vývoj, vyznačující se transformací organizací důlní výstavby na firmy zaměřené na podzemní stavitelství a tunelářství.

Získané zkušenosti prokázaly, že geologický a geotechnický průzkum ražených tras, vycházející z důlních vrtů, v zásadě přináší dostatečné informace, pokud jde o geologickou stavbu masivu, výskyt poruch a slojí apod.

Ukázalo se, že pro výkon tunelovacího stroje nejsou limitními parametry vlastnosti karbonských hornin, ale přechod úseků se zvýšeným přídatným napětím pod hranami výrubů slojí i ve vyšším nadloží, charakter střídání méně pevných a pevnějších hornin v raženém profilu (především výskyt mocných uhelných slojí) a přechod delších úseků tektonických poruch.

Vzhledem k široké škále geologických a geotechnických podmínek hlubinného dolu se prokázalo, že zvolený stroj byl málo přizpůsobivý zejména z hlediska realizace doplňkových stabilizačních technologií (kotvení, injektáže) v předpolí ražby a v blízkosti čelby. V podmínkách větších hloubek se použití konstrukce stroje, který to umožňuje (ať se štítovým pláštěm, nebo bez něj), jeví jako nutnost.

Použití tunelovacího stroje v podmínkách hlubinného dolu je spojeno s dodatečnými nákladnými činnostmi, jako je demontáž rozměrných částí stroje, jejich doprava jámou a následná montáž, výstavba montážních komor, které nezanedbatelně zvyšují celkové náklady. Rovněž sladění nároků ražby TBM především na dopravu rubaniny s důlním provozem a jeho možnostmi je velmi obtížné a zpravidla přináší problémy. To vše se projevilo v nižším výkonu tunelovacího stroje a tím v nepříznivých ekonomických výsledcích.

When comparing with realization of communication tunnels excavated by full-profile boring, in the given case of the OKD a unique excavation using the same technology was carried out in large depths (750 and 930 m). Unlike conventional tunnels, where the excavation proceeds in a massif not affected by mining activity and problems are only being solved when passages through tectonic faults or rock layers with higher abrasiveness are encountered, in this case the first and third deployment experienced excavation in a massif affected by mining activity with all of the described elements. Such impact caused reduction in advance of the excavating works as well as required the application of remedial techniques and thus increased costs.

CONCLUSION

Deployment of the tunnel boring machine in mine conditions introduced a significant technical innovation and a brand new quality in the field of excavation of large mining structures, comparable with the use of mining complexes with advancing hydraulic support in the field of mining. Such mined connecting passages, with regards to their dimensions and character of walls (low air flow resistance), perfectly fulfilled their task both in terms of transport and ventilation (fig. 4). At the same time, such technology preceded the following development, marked by transformation of mining organizations into companies focused on underground engineering and tunneling.

Gained experience proved that geological and geotechnical exploration of mined routes based on mining bores in principle brings sufficient information on geological structure of the massif, occurrence of faults, streaks etc.

It was discovered that output of the tunnel boring machine does not have its limiting parameters in the attributes of Carbonian rocks, but in passages through sections with higher additional stress below edges of streak stopes even in higher overburden, in character of alternation of less and more solid rocks in the excavated profile (before all the occurrence of thick coal streaks) and in passages of longer sections through tectonic faults.



Obr. 4 Vyražený překop

Fig. 4 Completed excavation of the connecting passage

Začátkem devadesátých let došlo k výrazným změnám priorit v černouhelném hornictví. Po útlumu těžby v OKR, a tím i útlumu otvírky a přípravy dolů v jižní části OKR zanikly i požadavky na urychlenou otvírku dlouhými důlními díly na Dole Frenštát. Po ukončení razicích prací na 3. nasazení byl 25. 5. 1990 stroj demontován a dopraven na povrch.

Jako symbol zašlé slávy je dnes vrtací hlava stroje součástí expozice důlních strojů Hornického muzea OKD (obr. 5).

LITERATURA / REFERENCES

Kašpárek Z., Mácha F.: Nasazení plnoprofilového razicího stroje v OKR Uhlí 1/1988 s. 27 - 36

Dvořák D.: Geotechnické podmínky pro ražení plnoprofilovým razicím strojem v OKR

Technickoekonomický zpravodaj VOKD 2/1983 s. 8 - 12

Autoři děkují Grantové agentuře České republiky za podporu řešení projektu č. 105/02/0500, v jehož rámci byl příspěvek zpracován.

With regards to a wide range of geological and geotechnical conditions of a deep mine it was proved that the selected machine was insufficiently adaptable especially from the viewpoint of realization of additional stabilizing technologies (anchoring, grouting) ahead of and around the face. Conditions of a deep mine consider it essential to use a machine that enables this (be that with a shield or without).

The use of tunnel boring machine in conditions of a deep mine is connected with additional costly activities such as disassembling of large parts of the machine, their transport through the stope and subsequent assembling, construction of assembling chambers, all of which remarkably increase total costs. Also the coordination of requirements of the TBM for transport of mined rock with the mining operation and its capabilities is very complicated and commonly brings problems. All that had its effect in lower output of the tunnel boring machine and consequently in unfavorable economic results.

Beginning of the nineties experienced significant changes in priorities of the black coal mining. Along with attenuation of mining activity in the OKD and thus also attenuation in opening and preparations of mines in the southern OKD section, requirements for fast opening of the long mining works at the Frenštát mine vanished. Following termination of excavation works on the third deployment, the machine was disassembled and brought to surface on May 25, 1990. As a symbol of the old glory days, its cutterhead is today part of an exposition of mining machines in the OKD Museum of the mining industry (Fig. 5).



Obr. 5 Vrtací hlava stroje v Hornickém muzeu v Ostravě-Petřkovicích
Fig. 5 Cutterhead of TBM in the Museum of Mining in Ostrava-Petřkovicce