

TECHNOLOGIE ŠTÍTOVÁNÍ POMOCÍ PLNĚ MECHANIZOVANÉHO ŠTÍTU TAUBER

SHIELD DRIVING TECHNOLOGY USING THE TAUBER TUNNEL DIGGING MACHINE

IGOR FRYČ

HISTORIE TECHNOLOGIE ŠTÍTOVÁNÍ U SPOLEČNOSTI INGSTAV BRNO

Dlouhodobá i krátkodobá historie firmy Ingstav Brno byla nedílně spjata s rozvojem speciálních technologií, které se v dnešní době skrývají pod všeobjímajícím názvem „bezvýkopové technologie“. Pojem mikrotunelování byl před 15 lety ještě zcela neznámý. Spektrum prováděných bezvýkopových prací bylo velmi široké a zahrnovalo klasické štolování, protlačování a nověji pak horizontální řízené vrtání. Jednoznačně nejvýznamnější místo v nabídce Ingstavu však představovalo štítování, které tvořilo nosný výrobní program a masivně se využívalo na stavbách zejména na Moravě a na Slovensku.

Prvním impulzem pro rozvoj bezvýkopových technologií bylo importování dvou razicích štítů profilu DN 2000 mm z bývalého SSSR, a to v roce 1962. Byla to ideově jednoduchá zařízení prostá veškeré mechanizace s výjimkou tlačných agregátů (pístnic) po obvodu štítu. Obezídka sestávala z malých šestibokých tvárnic z prostého betonu s velkým množstvím spár. Tehdy vznikaly první manuály (technologické předpisy) pro ražbu nemechanizovanými razicími štíty. Přestože se pro tyto štíty nabízelo hojné využití, brzy se ukázalo, že kvalitativně nespĺňovaly požadavky budoucích uživatelů. Časem se zpřísnily požadavky na vodotěsnost štol, a proto bylo v letech 1974 – 1976 v rámci bývalého VVZ Ingstavu Brno vyvinuto nové ostění ze železobetonových segmentů. Jednalo se o kónické segmenty (6 ks na jeden prstenec), které byly vybaveny spojem na péro a polodrážku. Štíty byly tehdy dále vybaveny nově vyvinutými erektoři, kladečskými vozíky či hydraulickým sklopným pažením čelby.

Vývoj pokračoval i v osmdesátých letech, kdy vznikaly první razicí štítovací komplexy (RŠK) v profilech DN 2560 a 3050 mm. Započalo se i s vývojem štítu profilu DN 3600 mm. RŠK již byly vybaveny pákovými erektoři, těžebními zařízeními v čelbě, hydrogenerátory ve štítě, transportéry rubaniny z gumových pásů. Vodovodná doprava byla řešena akulokomotivami. Produktivita práce se razantně zvyšovala a nově vybavené štíty dosahovaly měsíčních výkonů v rozmezí 100 – 120 bm na rozdíl od starých nemechanizovaných typů, kde se průměrný výkon pohyboval kolem 50 – 60 bm měsíčně.

Naopak neúspěchem skončil pokus o vývoj frézy na výložníku pro rozpojování skalních hornin vyšších tříd těžitelnosti.

Pozitivním kvalitativním vývojem prošla rovněž úprava definitivního ostění, resp. sekundárního ostění kanalizačního sběrače pomocí keramických a sklolaminátových segmentů.

V roce 1986 již Ingstav disponoval 29 ks razicích štítů, které v průměru rok co rok vyrazily 6,5 km štol po celém území tehdejšího Československa.

U bývalého závodu specializovaných prací č. 16, pozdějšího nositele názvu Ingstav Brno (v rámci delimitace z roku 1991), byly také rozvíjeny technologie protlačování železobetonových trub v profilech DN 1200, 1700 a 2200 mm, rovněž vyvinuté a postupně zdokonalované bývalým vědeckovýzkumným závodem (VVZ). Pro protlaky byly vyvinuty říditelné předštítky, které umožňovaly relativně přesně provádět protlaky na vzdálenost 60 m.

Novátorsky byla zkombinována technologie protlačování a štítování, kdy upravený razicí štít nahradil klasický předštítka a zabezpečil

HISTORY OF THE SHIELD DRIVING TECHNOLOGY IN INGSTAV BRNO

The long-term and short-term history of the company Ingstav Brno has been inseparably connected with the development of the special technologies that are today covered by a common term “trenchless technologies”. The term “microtunnelling” was totally unknown 15 years ago. The variety of the trenchless work was very wide. It comprised conventional tunnel driving, jacking and later also horizontal directional drilling. Regarding Ingstav's offer, the most important technology was shield driving. It formed the main programme, and was widely utilised, primarily on construction sites in Moravia and Slovakia.

The first impulse for the development of trenchless technologies was the import of two driving shields DN 2000 mm from the USSR in 1962. This equipment was very simple, without any mechanisation excepting hydraulic thrust cylinders around the circumference of the shield. The tunnel lining consisted of small hexagonal blocks made of unreinforced concrete, with lots of joints. This was the time when the first manuals (specifications) for excavation with non-mechanised shields originated. Despite the fact that opportunities to utilise those shields were abundant, it was soon proven that they did not meet qualitative requirements of the future users. In the course of time requirements for watertight properties of tunnels became more stringent; therefore a new lining system consisting of reinforced concrete segments was developed in the former VVZ Ingstav Brno (scientific research) plant. The segments were conical (6 pieces in one ring), with tongue and half-groove joints. The shields were equipped with newly developed segment erectors, installation cars or hydraulic collapsible face sheeting.

The development continued also in the eighties, when the first driving shield complexes (DSCs) originated, with profiles DN 2560 and 3050 mm. Also the development of a DN 3600 mm DSC started. The DSCs were already equipped with lever-type erectors, excavation mechanisms at the face, hydrogenerators in the shield, and rubber belt conveyors. Horizontal transportation was solved by battery-operated locomotives. Work productivity increased significantly, and the newly equipped shields reached monthly advances within 100 – 120 m, as opposed to the old non-mechanised types with an average advance rate varying from 50 to 60 m per month.

On the other hand, an attempt to develop a cutter boom machine for breaking rock of higher excavation classes failed.

Another instance of the positive qualitative development was the final lining of sewers with ceramic and glassfibre reinforced plastic segments.

In 1986, Ingstav already owned 29 driving shields, which performed in average an excavation of 6.5 km of tunnels in the then Czechoslovakia every year.

The former specialised operations plant No. 16, later called Ingstav Brno (in the framework of a delimitation in 1991), also developed technologies for the jacking of reinforced concrete pipes with profiles DN 1200, 1700 and 2200 mm, which were also developed and gradually improved by the former scientific-research plant (VVZ). Steerable pre-shields were developed for the pipe jacking purposes, which allowed relatively precise jacking up to a distance of 60 m.

lepší řízení protlaku. Délky protlačovaných úseků se zvýšily na 100 bm. V případě, že již nebylo možné pokračovat v protlačování, mohl razicí štít pokračovat za pomoci segmentového ostění. Poslední razicí štít RŠK byl vyroben v roce 1992.

Bohužel vlivem delimitací a privatizace došlo k zániku již dříve zmiňovaného vědecko-výzkumného závodu, a tím k zastavení jakéhokoliv dalšího vývoje. To způsobilo problémy v aplikaci nových technologií a projevilo se stagnací technologie štítování, která tak přestala splňovat současná přísná kritéria na jakost výroby.

SOUDOBÉ POSTAVENÍ ŠTÍTOVÁNÍ U SPOLEČNOSTI INGSTAV BRNO

Po politováníhodné odmlce v historii firmy se snaží v současné době Ingstav Brno, jako součást největší ryze české stavební společnosti TCHAS, na předešlé působení a tradici technologie štítování navázat.

Možnost vlastního vývoje razicích nebo mikrotunelářských zařízení se stala uzavřenou kapitolou. Společnost nedisponuje takovými zdroji, aby si mohla dovolit nastartovat vznik samostatného vývojového oddělení. Navíc návratnost takto vynaložených prostředků nemůže být nijak zaručena a výsledek vývoje by mohl být diskutabilní vzhledem k nedostatku kvalifikovaných a znalých strojních inženýrů. Proto jsme dospěli k závěru, že není a nebude vhodné jít cestou vynalézání vynalezeného a šli cestou zahraniční kooperace.

Ingstav Brno přistoupil k úzké obchodní spolupráci s německým partnerem, firmou TAUBER, která dosáhla značného pokroku ve vývoji obdobných razicích štítů a dovedla jejich technické vybavení na velmi vysokou úroveň, která splňuje kvalitativní požadavky současných investorů. Technický popis štítu bude uveden níže.

SOUČASNÁ TECHNICKÁ A TECHNOLOGICKÁ ÚROVEŇ ŠTÍTOVÁNÍ

Razicí štíty

Oproti vývoji, který byl popsán výše, nedoznaly současné razicí štíty žádných konstrukčních vylepšení nebo změn. Naopak lze říci, že díky absenci strojních odborníků, kteří buď odešli do důchodu, nebo si našli lukrativnější zaměstnání, jde vývoj opačným směrem. Původní strojní zařízení nemá kdo opravit, a proto jsou často demontována. Staré štíty jsou používány na náhradní díly nebo se odvázejí jako šrot.

Na čelbách převažuje manuální práce, což vzhledem k zatím relativně nízké ceně lidské práce může být dočasně ekonomicky výhodné. Tento stav však dlouho trvat nemůže.

OSTĚNÍ ŠTÍTOVANÝCH ŠTOL

U současného systému ostění štítovaných štol je zajištění dokonalé vodotěsnosti naprostou iluzí. I dílčí vylepšení (nové technologicky odlišné formy pro výrobu segmentů) znamenají pouze lepší pohledovost segmentů, ale uceleně vůbec neřeší problém vodotěsnosti.

V důsledku tohoto nedostatku se pak přistupovalo a nadále přistupuje k ustálené praxi, která spočívá v nákladném vystrojování štítovaných štol sklolaminátovým nebo jiným potrubím za současného vyplnění vzniknuvšího mezikruží popílkocementovou směsí. Technicky lze tento postup označit za správný a takto budované dílo zabezpečuje dlouhodobou životnost.

Segmentové ostění štoly pak opravdu plní pouze funkci dočasného primárního ostění, které má zabezpečit statickou funkci po dobu výstavby. V tomto světle se pak jeví požadavky na tvarovou přesnost a pohledovost ostění jako zbytečné a neopodstatněné. Bohužel si tento fakt, z důvodu absolutního nepochopení problematiky, neuvědomují někteří účastníci výstavby a setrvávají na pozici, že segmentové ostění musí splňovat požadavky na pohledovost betonu, bezpodmínečnou tvarovou přesnost a ovalitu. Kdybychom se ztožnili s těmito názory, pak by bylo možné také zpochybňovat kvalitu důlní výztuže (Heitzmany, pažnice Union), protože je rezavá.

Závěrem této kapitoly by autor článku chtěl připomenout, že asi před 5 lety na stránkách tohoto časopisu publikoval článek, který v jedné kapitole doporučoval a předvídal skvělou budoucnost

The jacking technology was combined with the shield driving in an innovative manner; a modified driving shield replaced the conventional pre-shield, and allowed better steering of the pipejack. The lengths of the jacked sections grew to 100 m. In the case that the pipe jacking could not continue, the driving shield could continue using segmental lining. The last driving shield DSC was produced in 1992.

Unfortunately, the above-mentioned scientific-research plant was abolished due to delimitations and privatisation; therefore all further development was suspended. The result was the inability to apply new technologies properly and the suspension of further improving the shield driving technology, which ceased to meet the current stringent production quality criteria.

CONTEMPORARY POSITION OF SHIELD DRIVING IN INGSTAV BRNO

Ingstav Brno, after a regrettable pause in company's history, as part of the largest purely Czech construction company TCHAS, is trying to continue the previous activities and tradition of the shield driving technology.

The possibility of its own development of driving and microtunnelling equipment has become a closed story. The company does not have such sources that would allow it to establish an independent development department. In addition, the return on such an investment cannot be guaranteed, and the development result could be disputable owing to the lack of competent and knowledgeable mechanical engineers. Therefore we have arrived at a conclusion that it is not and will not be suitable for us to invent already invented things, and decided to utilise foreign co-operation.

Ingstav Brno has established close business co-operation with a German partner, the TAUBER company, which has made significant progress in the development of similar driving shields, and brought their equipment to very high technical level that meets qualitative requirements of today's investors. The technical description of the Tauber's tunnel digging machine can be found below.

CONTEMPORARY TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL LEVEL OF SHIELD DRIVING

Driving shields

Compared with the above-mentioned development, current driving shields have not been affected by any structural improvement or change. In fact, we can say that the development is heading the opposite direction due to the absence of mechanical engineering professionals, who have either retired or found more lucrative jobs. There is nobody available to repair the original equipment, and therefore it must be frequently disassembled. Old shields are used as a source of spare parts or they are disposed of in scrap-yards.

Manual work prevails at headings, which can be temporarily economically advantageous owing to the relatively low cost of labour. This condition, however, cannot last long.



Obr. 1 Razicí štítovací komplex TAUBER

Fig. 1 The TAUBER tunnel digging machine



Obr. 2 Zařízení pro rozpojování zemin a hornin třídy těžitelnosti 2 – 5
Fig. 2 Ground disintegration equipment for excavation classes 2 – 5

výrobě železobetonových segmentů za pomoci drátkobetonů. Na stejném místě, po vlastních zkušenostech a zkušenostech jiných, autor prohlašuje, že se jednalo o omyl a slovy klasika konstatuje, že „tudy cesta nevede“.

MECHANIZOVANÝ ŠTÍT FIRMY TAUBER Popis strojního zařízení

Firma TAUBER disponuje razicími štíty v profilové řadě DN 1000, 1300, 1500, 1600, 2000 a 3000 mm, kdy hodnota DN neznámá profil vlastního štítu, ale vnitřní profil segmentového ostění. V České republice byl zatím vždy nasazen štít v profilu DN 2000 mm.

Fungování štítů TAUBER je principiálně zcela shodné s typovou řadou štítů Ingstav (obr. 1) a i z tohoto důvodu se navázání spolupráce jeví jako oboustranně výhodné, protože personál obou firem disponuje obdobnými zkušenostmi. Posádku štítu tvoří pět pracovníků. Hlavní operátor ovládající štít z kokpitu umístěného bezprostředně u těžního zařízení, jeho zástupce obsluhující lokomotivu, dva pracovníci pro obslužný provoz v podzemí i na povrchu a jeřábník.

Rozpojování horniny v čelbě štítu zabezpečuje bagr na výložníku, který může být v případě potřeby (výskyt skalních hornin) nahrazen sbíjecím kladivem (obr. 2 a 3). Pomocí bagru se rozpojená zemina dostane na sklopný pásový dopravník a do těžní bedny umístěné na speciální lokomotivě s akumulátorovým pohonem. Velmi důležitým momentem je rozměr těžní bedny, jejíž objem představuje polovinu



Obr. 4 Lokomotiva a speciální vozík pro přepravu železobetonových segmentů a jejich montáž ve štolě
Fig. 4 The locomotive and RC segment transport and installation car



Obr. 3 Kladivo na výložníku pro rozpojování skalních hornin třídy těžitelnosti 6 – 7
Fig. 3 The impact breaker disintegrating rock within excavation classes 6 – 7

LINING OF SHIELD DRIVEN TUNNELS

Perfect waterproofing is an absolute illusion for the existing system of lining of shield driven tunnels. Even partial improvements (new, technologically different segment moulds) mean only improved visual perfection of the lining segments, but they do not solve the problem of waterproofing comprehensively.

As a result of this failure, a common practice has been adopted, costly glassfibre reinforced plastic or other pipes drawn into the shield driven tunnels, with the originated annulus filled with a cinder-cement mixture. In technical terms, this procedure can be considered as correct, and the structure built by this method is guaranteed a long life. The segmental lining of the tunnel acts as temporary primary lining only, whose task is to secure the structural function during the construction. In this light, requirements for geometrical accuracy and visual perfection of the lining are unnecessary and unjustified. Unfortunately, some parties of the construction process do not realise this fact because of an absolute lack of understanding of the problem. They insist that segmental lining must meet requirements for visual perfection of concrete and unconditional geometrical accuracy and ovality. Should we agree with those opinions, then the quality of colliery support (Heintzmann steel sets, UNION sheet-piles) could be cast doubt upon because of being rusty.

To conclude this paragraph, the author of this paper would like to note that about 5 years ago he published an article in this magazine that in one paragraph recommended and envisaged promising future of utilisation of steel fibre reinforcement in the production of precast concrete segments. At the same time, gathering it from his own and others' experience, the author states that it was a mistake and that this is not the proper way.

TAUBER'S TUNNEL DIGGING MACHINE Equipment description

The TAUBER company owns tunnel digging machines (TDMs) at a profile range of DN 1000, 1300, 1500, 1600, 2000 and 3000 mm, where the DN value does not mean the profile of the shield proper, but the internal diameter of the segmental lining. Only the DN 2000 mm TDM has been used in the Czech Republic.

The operation of the TAUBER TDMs is in principle identical with the production range of Ingstav's shields (see Fig. 1). This was another reason why the idea of establishing co-operation looked mutually advantageous because personnel of the two companies have similar experiences. The TDM operating crew consists of 5 persons; the main operator controlling the machine from the cockpit found immediately next to the excavator arm, his assistant operating the locomotive, two workers for operation services in the underground and on the surface, and one crane operator.



Obr. 5 Ostění štoly budované pomocí mechanizovaného štítu
Fig. 5 The gallery lining installed by the TDM

výrubu nutného pro osazení jednoho prstence primárního ostění. Jinými slovy, dvě jízdy s těžní bednou tvoří spolu s dopravou segmentů do štoly a jejich montáží ostění jeden pracovní cyklus.

Posun vlastního štítu zabezpečuje hydraulický agregát pomocí ocelového prstence spojeného se soustavou čtyř mohutných pístnic. Kromě posunu samozřejmě tento agregát umožňuje přesné směrové a výškové řízení štítu. Štít za sebou táhne koleje pro zajištění vodorovné dopravy ve štole, které svým tvarem kopírují ostění štítu a uvnitř těchto kolejnic jsou umístěna veškerá vedení (hydraulické hadice, hadice pro dopravu směsi kačírku a kabely elektroinstalace).

Svislou dopravu zajišťuje dvoulanový jeřáb, který umožňuje manipulaci s těžní bednou bez jakékoli nutnosti její obsluhy posádkou štítu. Pomocí jeřábu se pak spouští speciální vozík na dopravu železobetonových segmentů, který je naložen ještě na povrchu. Vozík má vlastní dopravník na posun jednotlivých segmentů a slouží zároveň pro jejich osazení ve štole (obr. 4).

Dalším technologicky důležitým prvkem je kontinuální vyplňování (zafoukávání) prostoru mezi ostěním štoly a zeminovým prostředím tříděnou frakcí štěrkopísku (tzv. kačírkem) tak, aby nedošlo k poklesům nadloží. Proces zafoukávání si řídí operátor, přímo z čelby štítu ovládá čerpadlo, které je spolu se sílem umístěné na povrchu. Vrstva kačírku se dostává za ostění ještě pod ochranou pláště štítu, a to po celém obvodu štítované štoly. Vrstva má tloušťku cca 6–8 cm, což odpovídá rozdílu mezi vnitřním profilem ocelového pláště štítu a vnějším průměrem ostění. Během ražby splňuje vrstva kačírku i drenážní funkci, tj. stahuje veškeré spodní vody mimo vlastní prostor štoly. Samozřejmě s výjimkou vydatných přítoků spodní vody do čelby, které se stahují pomocí čerpadla umístěného přímo ve spodku štítu. Po ukončení ražby dílčích úseků se tato vrstva kačírku zainjektuje jílocementovou výplňovou směsí.

PRIMÁRNÍ OSTĚNÍ ŠTOLY A ZAJIŠTĚNÍ JEHO VODOTĚSNOSTI

Železobetonové ostění, které používají štíty TAUBER, má vynikající tvarovou přesnost. Železobetonové segmenty jsou vyráběny ve speciálních formách, kdy v jedné formě jsou vyrobeny přímo tři segmenty, které jsou pak na stavbě společně zabudovány do jednoho prstence. To zaručuje naprostou přesnost ostění bez výrazných ozubů mezi jednotlivými věnci ostění (obr. 5).

Segmenty jsou vyráběny z betonu B45 (DIN 1045) a jejich povrchová úprava odpovídá charakteru pohledových betonů. Následně po jejich zabudování není nutná další úprava povrchu jako např. provedení pálené omítky, nástřik či aplikace speciálních štěrkových hmot typu VANDEX, SIKA, XYPEX apod.

Oproti klasické konstrukci ostění u starých štítovaných stol, kdy se jednotlivé prstence skládaly ze 6 segmentů, je výhodou výše popisovaného ostění skutečnost, že se skládá pouze ze 3 segmentů. To má za následek podstatně větší tvarovou přesnost a nedochází tak k dodatečným deformacím ostění („zplošťování“), které mohou vést v konečném důsledku ke zmenšení průtočného profilu.

The ground disintegration at the face is carried out by an excavator arm, which can be replaced with a breaker if necessary, when harder rock is encountered (see Fig. 2 and 3). The excavator loads the material on a collapsible belt conveyor, which transfers it to a skip placed on a special battery powered locomotive. The dimensions of the skip are very important. Its volume represents a half of the excavated volume required for the installation of one ring of the primary lining. Two trips with the skip, together with the transport of lining segments to the tunnel and their installation, form one working cycle.

A hydraulic unit ensures the movement of the TDM, through a steel ring connected with a set of four mighty piston rods. Apart from pushing the TDM, this unit allows precise steering of the machine to maintain the line and level. The TDM pulls rails behind for the horizontal transport in the tunnel. The geometry of the rails follows the skin of the shield. All service lines (hydraulic hoses, hoses conveying pea gravel, power cables) are led inside the rails.

Vertical transportation is ensured by a double-cable crane allowing the handling with the skip without any need for assistance by the TDM crew. The crane also lowers a special segment supply car, which is loaded before the lowering. The car is equipped with its own conveyor for shifting individual segments. It also serves to install the segments in the tunnel (see Fig. 4).

Another element important from the technological point of view is the system of continual filling of the annular gap between the rock cavity and the installed segments by injecting pea gravel to prevent the surface settlement. The process of injecting (blowing) is controlled by the operator. He controls the pump interconnected with a silo installed on the surface, directly from the front end of the TDM. The layer of pea gravel is placed behind the tunnel lining, still under the protection provided by the skin of the shield, filling the whole annulus. The thickness of this layer of 6–8 cm corresponds to the difference between the internal profile of the steel skin of the shield and the external profile of the tunnel lining. In the course of the excavation, this pea gravel layer also acts as drainage collecting and removing ground water from the tunnel. Of course, excepting intensive inflows of groundwater to the excavation face. These are removed by a pump installed directly at the bottom of the TDM. Once the excavation of partial sections has been completed, this pea gravel layer is grouted with clay-cement mortar.

PRIMARY LINING AND WATERPROOFING OF THE TUNNEL

The dimensional accuracy of the reinforced concrete lining used by TAUBER is excellent. The RC segments are produced in special moulds. Three segments are cast in one mould, to be installed in the tunnel jointly, in one ring. This system guarantees a total accuracy of the lining, without explicit dents between individual rings (see Fig. 5). The RC segments are made of concrete B45 (DIN 1045), with architectural concrete finish. No subsequent finish treatment, such as cement painting, spraying or application of special compounds (VANDEX, SIKA, XYPEX etc.) is required. The advantage of this lining, compared to the conventional structure of linings in old shield driven tunnels where the rings consisted of 6 segments, is the fact that it comprises only 3 segments. This arrangement allows much higher dimensional accuracy, thus subsequent deformations of the lining (flattening) that can eventually cause a reduction of the flow profile do not occur.

The principal qualitative change and advantage of the TAUBER system is the possibility to guarantee fully watertight primary lining. The process of sealing of joints between the segments is divided into three phases. The first phase, bonding of the gasket (bituminous) to the segment groove, takes place on the surface, just before the segment is transported to the tunnel. The second phase of the sealing operation, the application of a special two-component sealing compound Fumaflex, is carried out immediately before the segment installation in the tunnel, under the protection by the driving shield. This sticky material sets within a 1/2 hour of the segment installation. The third phase consisting of the

Zásadní kvalitativní změnou a výhodou systému TAUBER je skutečnost, že je možné garantovat v plně míře vodotěsnost již primárního ostění. Těsnění spar mezi jednotlivými segmenty je rozděleno do tří fází. První fáze spočívá v nalepení těsnicího pásku (na bázi bitumenu) do drážky segmentu ještě na povrchu těsně před zabudováním segmentu do štoly. Druhou fází těsnění je aplikace speciální dvousložkové těsnicí hmoty Fumaflex bezprostředně před osazením segmentu pod ochranou razicího štítu přímo ve štole. Tato vazká hmota zatuhne do 1/2 hodiny po zabudování segmentu. Třetí fází je vlastní vyspárování, které probíhá po provedení těsnící injektáže. Hmoty, které se používají pro vyplnění spar, jsou na bázi krystalických cementů, které prorůstají do struktury betonových dílců.

Zcela dokonalou variantou ostění je použití polymerbetonových segmentů, které budou mít budoucnost až v okamžiku, kdy by bylo možné realizovat jejich výrobu v České republice.

RYCHLOST A PŘESNOST RAŽBY

Výraznou předností tohoto štítu je vysoká produktivita, kdy při dobré organizaci práce je možné dosahovat průměrného postup 8–10 m za desetihodinovou směnu. Ojedinelý výkon není při dobrých geologických podmínkách ani 14 m za směnu.

V porovnání s ražbou nemechanizovaným štítem nebo klasickou ražbou prováděnou hornickým způsobem se tak jedná o výkon čtyřnásobně vyšší.

Dokonalý systém vodorovné dopravy vytěženého materiálu a segmentů ostění štoly pak umožňuje efektivně razit i v případě délky ražených úseků větších než 200 m bez výraznějšího dopadu na produktivitu práce.

Štít je řízen laserem, který je umístěn ve startovací šachtě. Vlastní měření se odehrává na jednoduchém principu přímo v čele razicího štítu za absence složité (často poruchové) elektroniky. Dosahovaná přesnost ražby je $\pm 1-2$ cm, a to jak směrově, tak výškově.

POROVNÁNÍ S JINÝM TECHNOLOGIEMI

Ve výše uvedeném textu je technologie ražby mechanizovaným štítem vesměs porovnávána s běžnou praxí ražby nemechanizovaným štítem, kde výhody mechanizovaného štítu jsou zcela zřejmé.

Je nutné zmínit i plnohodnotnou variantní možnost ražby plnoprofilovými razicími stroji (renomovaní výrobci Iseki, Herrenknecht). Zajisté se jedná o vyspělé plně automatizované technologie protlačování železobetonových trub za pomoci tlačné stolice v startovací šachtě a plnoprofilového razicího zařízení v čele protlaku. Stroje jsou řízeny vysoce sofistikovanými zařízeními a dosahují špičkových výkonů a produktivity.

Tato razicí zařízení mají však problém v tom, že jsou citlivá na změny geologie a geologická rozhraní. V případě výskytu jiných zemin či hornin, než na jaké je vybrána vrtná hlava razicího stroje, se postup ražby okamžitě komplikuje a mnohdy je třeba hloubit záchranné šachty či realizovat jiná opatření. Tento fakt je nutné brát v potaz v případě, že ražba probíhá na geologickém rozhraní (např. výběžky skalního podloží, výskyt překážek antropogenního charakteru – betonové základy, staré zdivo apod.). V případě nasazení mechanizovaného štítu s otevřenou čelbou lze tyto překážky bez větších potíží překonat např. výměnou těžního elementu, ručním rozpojením pneumatickými kladivy (v případě menší překážky) nebo použitím trhacích prací malého rozsahu.

Když se oprostíme od technických parametrů, které mohou často vyznít ve prospěch bentonitových či jiných plnoprofilových štítů, pak lze konstatovat, že podstatnou výhodou popisovaných razicího štítů TAUBER jsou výrazně nižší náklady na vyrazení běžného metru štoly. A o peníze, jak víme všichni, jde až v první řadě.

Rovněž ekonomické srovnání kmenové stoky provedené mechanizovaným štítem, kdy spodní část je vystrojena kameninovým obkladem, vychází příznivěji, nežli kmenová stoka vyražená nemechanizovaným štítem, do kterého je pak zataženo sklolaminátové potrubí.

Závěrem lze obecně konstatovat, že ekonomická výhodnost mechanizovaného štítu spočívá v naplnění následujícího závěru: Ražené dílo je neekonomičtější v případě, kdy rozdíl mezi plochou raženého výrubu a výslednou užžitnou plochou, resp. budoucím profilem díla je co nejmenší.

ING. IGOR FRYČ, Ingstav Brno, a. s.,
e-mail: fryc@ingstav.cz

jointing takes place when the sealing grouting has been completed. The materials used for the filling of the joints are based on crystalline cements, which interpenetrate the structure of the concrete segments.

An absolutely perfect variant of the lining is the utilisation of polymer concrete segments. These segments will, however, become advantageous only when the production starts in the Czech Republic.

EXCAVATION SPEED AND ACCURACY

A significant feature of this shield is the high productivity allowing, when the work is well organised, an average advance rate of 8 – 10 m per shift (10 hours). A performance of 14 m per shift is not rare in good geology.

Compared to the non-mechanised excavation or conventional excavation using mining methods, the output is four times higher.

The perfect system of horizontal haulage of muck and the lining segments allows efficient driving even tunnel sections longer than 200 m with negligible impact on the work productivity.

The TDM guidance is by a laser installed in the launching shaft. The measurement is based on a simple principle; it is carried out directly at the front end of the shield, in absence of complicated (often failure-prone) electronics. The excavation accuracy in line and level of $\pm 1 - 2$ cm is achieved.

COMPARISON WITH OTHER TECHNOLOGIES

The above-mentioned text compares the tunnel driving technology using a mechanised shield (tunnel digging machine) mostly with the common practice of the application of a non-mechanised shield. The advantages are obvious.

It is necessary also to mention the equivalent variant of the excavation using full-face tunnel boring machines (TBMs – prestigious manufacturers Iseki, Herrenknecht). No doubt that these are the top technologies of fully automatised jacking of RC pipes using a jacking unit in a launching shaft and a cutterhead at the front end of the pipejack. The machines are controlled by highly sophisticated systems, and achieve the highest outputs and productivity.

A disadvantage of those driving machines, however, is their sensitivity to changes in geology and geological interfaces. The excavation progress immediately becomes complicated when ground or rock different from that that the cutterhead was selected for is encountered. It is often necessary to sink rescue shafts or carry out other measures. This fact must be taken into consideration in the case that the excavation operations pass through a geological interface (e.g. bedrock spurs, occurrence of obstacles of anthropogeneous origin – concrete foundations, old masonry etc.). An open-face mechanised shield is able to cope with such obstacles without serious problems, e.g. by changing the excavation element, manual excavation using pneumatic breakers (if the obstacle is not big) or application of the small-scale drill-and-blast technique.

If we disregard technical parameters, which can often favour slurry TBMs, EPBMs or other full-face shields, we can state that a significant advantage of the above-mentioned TAUBER tunnel digging machines are much lower costs of excavation of a linear meter of the tunnel.

Also the results of an economic comparison of a trunk sewer carried out by a mechanised shield (with the bottom covered with earthenware tiles) are more favourable than those calculated for a trunk sewer tunnel driven by a non-mechanised shield with glassfibre reinforced plastic pipes drawn in.

To conclude, it is possible to generalise that the mechanised shield is economically convenient because it satisfies the following criterion: The smaller the difference between the excavated cross section area and the resulting useful area (or the future profile of the tunnel), the more economic the mined structure.

ING. IGOR FRYČ, Ingstav Brno, a. s.,
e-mail: fryc@ingstav.cz